Modélisation de la végétation holocène du Nord-Ouest de la France : reconstruction de la chronologie et de l'évolution du couvert végétal du Bassin parisien et du Massif armoricain

Rémi David

▶ **To cite this version:**

Rémi David. Modélisation de la végétation holocène du Nord-Ouest de la France : reconstruction de la chronologie et de l'évolution du couvert végétal du Bassin parisien et du Massif armoricain. Paléontologie. Université de Rennes, 2014. Français. NNT : 2014REN1S018 . tel-01060260

HAL Id: tel-01060260

https://theses.hal.science/tel-01060260

Submitted on 3 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNÉE 2014

THÈSE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1
sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne

pour le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1

Mention : Archéologie et Archéométrie

Ecole doctorale Sciences de la Matière

présentée par

Rémi DAVID

Préparée à l'Unité Mixte de Recherche 6566
Centre de Recherche en Archéologie, Archéométrie, Histoire
UFR Sciences et Propriétés de la Matière

Modélisation de la végétation holocène du Nord-Ouest de la France :

Reconstruction de la chronologie et de l'évolution du couvert végétal du Bassin parisien et du Massif armoricain

Thèse soutenue à Rennes le 04 avril 2014

devant le jury composé de :

Marie-José Gaillard
Professeure, Université de Kalmar / *rapporteur*

Barbara Wohlfhart
Professeure, Université de Stockholm / *rapporteur*

Philippe Lanos
Directeur de recherche, CNRS / *examinateur*

Florence Mazier
Chargée de recherche, CNRS / *examinateur*

Cyril Marcigny
Ingénieur de recherche, INRAP Grand-ouest / *examinateur*

Dominique Marguerie
Directeur de recherche, CNRS / *directeur de thèse*

Chantal Leroyer
Ingénieure de recherche, MCC / co-*directeur de thèse*

à Alice,

à mes parents.

REMERCIEMENTS

Si cette thèse a pu voir le jour, c'est grâce au concours des nombreuses personnes qui m'ont aiguillé et accompagné pendant ces quatre années de labeur. A l'heure de clore ce travail, je tiens donc à remercier toutes celles et ceux qui ont contribué à sa réalisation, pour le temps qu'ils m'ont consacré, pour leurs enseignements, leurs précieux conseils, leur enthousiasme et leur soutien.

Monsieur Dominique Marguerie, mon directeur de thèse, pour avoir accepté de m'encadrer tout au long de cette thèse. Je le remercie pour son accueil et son contact toujours chaleureux, pour nos discussions scientifiques qui m'ont permis d'orienter ma démarche, pour ses remarques et commentaires toujours constructifs.

Madame Chantal Leroyer, ma directrice de thèse, pour son encadrement rigoureux et sa présence à mes côtés pendant ces longues années. Je lui suis tout d'abord profondément reconnaissant pour ses enseignements scientifiques, et notamment pour m'avoir initié à différents aspects de la palynologie. Je la remercie également pour sa pédagogie, en particulier pour m'avoir ouvert aux divers horizons de la recherche. Ainsi, je lui sais gré de m'avoir encouragé à présenter mes travaux lors de colloques et séminaires, de m'avoir mis le pied à l'étrier pour la rédaction d'articles, d'avoir toujours répondu présente à mes sollicitations innombrables et, par là-même, de m'avoir donné le goût du travail en équipe. Enfin, d'un point de vue personnel, pour sa proximité, sa simplicité, ses encouragements et son soutien indéfectible, je lui exprime toute ma gratitude.

Mesdames Marie-José Gaillard, professeure à l'Université de Kalmar, et Barbara Wohlfarth, professeure à l'Université de Stockholm, qui ont accepté de juger mon manuscrit en tant que rapporteurs. Soyez assurées de ma reconnaissance respectueuse.

Madame Florence Mazier, chargée de recherche au CNRS, Monsieur Cyril Marcigny, ingénieur de recherche à l'INRAP Grand-Ouest, et Monsieur Philippe Lanos, directeur de recherche au CNRS pour l'honneur qu'ils me font d'être membres de mon jury et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Je tiens également à mentionner Vincent Bernard, qui faisait à l'origine partie du comité de direction de ma thèse. L'évolution de mon sujet m'a éloigné de la dendrochronologie en m'orientant peu à peu vers d'autres voies. Je le remercie tout de même vivement de m'avoir fait découvrir sa discipline, mais également de nous faire si souvent profiter de son humour à toute épreuve.

Je repense bien sûr à Florence Mazier, pour le temps qu'elle a consacré à me former à la modélisation du couvert végétal, et pour m'avoir accompagné tout au long de mon parcours. Merci de m'avoir accueilli à Toulouse à plusieurs reprises (à grand renfort de Comté), pour les maintes discussions que nous avons pu engager sur toutes sortes de sujets, scientifiques ou non. Qu'elle reçoive toute ma gratitude pour sa gentillesse, son dévouement, ainsi que son soutien moral qui

était le bienvenu à la fin de cette thèse. Puissent ces échanges n'être que le début d'une longue collaboration.

Je ne saurais oublier « les Philippe(s) », Philippe Lanos et Philippe Dufresne, qui m'ont formé à la modélisation bayésienne et aux modèles d'âge. Je les remercie vivement de m'avoir suivi tout au long de ma thèse, et surtout pour le temps considérable qu'ils ont consacré à développer les logiciels qui m'ont permis de traiter mes thèmes de recherche. Je leurs suis extrêmement reconnaissant de l'intérêt constant qu'ils ont porté à mon travail, mais aussi des passionnantes discussions qui ont étayé notre collaboration au sujet, en vrac, des « avantages comparatifs de la moyenne », de l'épineux problème de la « représentation graphique en statistique », du « fonctionnement bayésien du cerveau humain », et j'en passe...

Mes pensées vont également à Marie-José Gaillard, grâce à qui j'ai pu participer aux workshops du programme LANDCLIM, d'une grande richesse tant scientifique que culturelle. Ces groupes de travail m'ont en effet permis de rencontrer et d'échanger avec de nombreux chercheurs et étudiants étrangers qui m'ont ouvert à leur culture, mais aussi de poser le pied en Scandinavie et en Lettonie, où je n'aurais probablement pas eu la chance d'aller sinon.

Un grand merci à Jean-Charles, qui en début de thèse a su m'introduire dans ce monde dont je ne connaissais pas les codes. Je tiens à le remercier pour ses conseils précieux, ses avis tranchés et pour sa camaraderie.

À Stéphanie, Yoann, Florian et Agustín, avec qui j'ai partagé mes différents bureaux successifs pendant toutes ces années. Merci pour leur savoir-vivre, leur humour, leur bonne humeur, leur convivialité, bref pour tous ces moments passés ensemble autour d'un thé, d'un café ou d'un maté, qui ont égayé nos journées de travail. Qu'ils reçoivent toutes mes amitiés.

À tous les membres du laboratoire de Rennes, les doctorants et tous les autres, pour leur sympathie et pour tous ces moments à parler de tout, de rien, et de la thèse évidemment. La liste est longue et je ne mentionnerai pas de noms par peur d'oublier certains d'entre vous… Mais sachez que je me suis senti bien accueilli dans ce laboratoire, où la tâche est agréable et l'ambiance chaleureuse.

À mes parents, qui attendent encore le retour du fils prodigue, merci de m'avoir encouragé et soutenu durant ces longues années d'études, de m'avoir laissé faire mes propres choix, où qu'ils me mènent.

Enfin, bien sûr, à celle qui m'apporte tous les jours son soutien sans faille, me redonne la motivation pour aller de l'avant et sans qui je n'aurais probablement pas su trouver les ressources pour achever cette thèse, Alice, un grand merci.

Sommaire

Sommaire 9
Introduction 13
PREMIERE PARTIE : Contexte de l'étude 19
1 - Contexte naturel du nord-ouest de la France 20
1.1 - Contexte géologique 20
1.1.1 - Massif armoricain 20
1.1.2 - Bassin parisien 21
1.2 - Géographie et hydrologie 23
1.2.1 - Massif Armoricain 23
1.2.2 - Bassin parisien 24
1.3 - Contexte climatique 25
1.4 - Contexte pédologique 28
1.4.1 - Massif Armoricain 28
1.4.2 - Bassin parisien 28
1.5 - Végétation actuelle 28
1.5.1 - Divisions phytogéographiques 29
1.5.2 - Séries de végétation 30
2 - Contexte archéologique du nord-ouest de la France 33
2.1 - Mésolithique 33
2.2 - Néolithique 35
2.2.1 - Néolithique ancien 35
2.2.2 - Néolithique moyen 38
2.2.2.1 - Néolithique moyen I 38
2.2.2.2 - Néolithique moyen II 39
2.2.3 - Néolithique récent 41
2.2.4 - Néolithique final 42
2.3 - Âge du Bronze 45
3 - Données disponibles 48
3.1 - Massif armoricain 48
3.1.1 - Historique des études palynologiques 48
3.1.2 - Données sélectionnées 48

3.1.3 - Zonation pollinique 49
3.1.4 - Acquisition du matériel d'étude 50
3.1.5 - Particularités des milieux de dépôt 51
3.2 - Bassin parisien 52
3.2.1 - Historique des études palynologiques 52
3.2.2 - Données sélectionnées 53
3.2.3 - Zonation pollinique 53
3.2.4 - Acquisition du matériel d'étude 54
3.2.5 - Particularités des milieux de dépôt 54
DEUXIEME PARTIE : Evolution du couvert végétal du Nord-Ouest de la France 57
1 - Evolution du couvert végétal du Bassin Parisien 58
1.1 - Chronologie des séquences polliniques du Bassin parisien 58
1.1.1 - Constraining the age of Holocene pollen zones of the Paris basin with Bayesian probability methods 59
Abstract 59
Introduction 60
I - Material 62
II - Methods 66
III - Results 70
IV - Discussion 74
Conclusion 78
1.1.2 - Modèles d'âge des séquences polliniques du Bassin parisien 80
1.2 - Modélisation de la végétation du Bassin parisien 86
1.2.1 - The Holocene vegetation cover of the Paris Basin: facing problems of basin size, deposition mode and reconstruction scale 86
Abstract 86
Introduction 87
I - Materials and methods 88
II - Past regional vegetation of the Paris Basin: results 99
III - Discussion 109
Conclusion 113
1.3 - Modifications du couvert végétal estimé et signal archéologique 115
1.3.1 - Environnement et anthropisation du milieu durant le Néolithique dans le Bassin parisien : l'apport des données polliniques et de la modélisation du couvert végétal 115
Introduction 115
I - Méthodologie 116

II - Les résultats 121
III - Confrontation et synthèse 132
Conclusions 135
1.3.2 - Environnement et anthropisation du milieu durant l'âge du Bronze dans le Bassin parisien : l'apport des données polliniques et de la modélisation du couvert végétal 137
Résumé 137
Abstract 138
Introduction 138
I - Les études palynologiques 140
II – La modélisation 147
III - Confrontation et discussion 154
Conclusion 156
2 - Evolution du couvert végétal du Massif armoricain 157
2.1. Chronologie des séquences polliniques du Massif armoricain 157
2.2 - Modélisation de la végétation du Massif armoricain 164
2.2.1 - The Holocene vegetation cover of the Armorican Massif: regional and sub-regional reconstruction scales 164
Abstract 164
Introduction 165
I - Material and methods 165
II - Past regional vegetation of the Armorican Massif: results 172
III - Discussion 178
Conclusions 182
2.3 - Modifications du couvert végétal estimé et signal archéologique 183
TROISIEME PARTIE : Synthèse générale 185
1. Zones de Végétation Estimée Régionales 186
1.1. Histoire de la végétation du Bassin parisien à partir du couvert végétal estimé 190
1.2. Histoire de la végétation du Massif Armoricain à partir du couvert végétal estimé 193
2. Histoires comparées de la végétation estimée pour le Bassin parisien et pour le Massif armoricain 197
2.1. Principales similitudes et divergences entre les couvertures de végétation estimées pour le Bassin parisien et pour le Massif armoricain 197
2.2. Chronologies comparées de l'évolution du couvert végétal estimé pour le Bassin parisien et pour le Massif armoricain 199
3. Evolutions comparées des relations hommes/milieux en Bassin parisien et Massif armoricain 204
3.1. Description des relations hommes/milieux par périodes culturelles 204

3.1.1. Mésolithique 207
3.1.2. Néolithique ancien 208
3.1.3. Néolithique moyen 210
3.1.3. Néolithique récent 213
3.1.4. Néolithique final 214
3.1.5. Âge du Bronze 216
3.2. Comparaison des évolutions régionales de l'impact anthropique entre le début du Néolithique et la fin de l'âge du Bronze 219
Conclusion et perspectives 223
Références Bibliographiques 230
Sources 256
Table des illustrations 257
Liste des tables 260
Annexes 261

Introduction

Comprendre la complexité des relations entre nature et sociétés a toujours constitué un défi pour les recherches dans le domaine de l'environnement. A l'ère de la compilation de données dans nombre de disciplines et notamment en palynologie (European Pollen Database) (FYFE *et al.* 2009), la modélisation constitue l'une des options méthodologiques les plus attractives, parmi celles qui s'offrent aux environnementalistes, pour comprendre et traduire les évolutions du milieu naturel (HERVE & LALOË 2009). Elle permet en même temps de simuler des relations entre variables et de dégager des résultats qu'il serait difficile d'obtenir de manière purement discursive. Ces modèles reposent sur des hypothèses parfois contestables, mais qui aident à réduire la complexité du monde réel, sans nécessairement la rendre simpliste.

On assiste ainsi, depuis au moins une trentaine d'années, à une montée en puissance de ce type d'approches, fruit d'une volonté forte d'un certain nombre de chercheurs de renouveler leurs pratiques afin de tenter de répondre aux préoccupations du moment. En effet, le changement environnemental actuel, qu'il provienne ou non de l'effet des activités humaines sur l'écosystème, polarise des débats à la fois sociaux et sociétaux, faisant resurgir des thèmes profonds relatifs à l'organisation de nos sociétés. Dans ce contexte de remise en question des valeurs longtemps attachées au concept de progrès scientifique et technique, de doute sur la capacité de nos modes d'organisation politique à relever les défis qui se présentent à nous en ce début de troisième millénaire, il parait judicieux de tenter d'en savoir un peu plus sur la façon dont nos ancêtres avant nous ont interagit avec leur environnement, afin d'en tirer, si ce n'est des solutions, du moins des enseignements pour le futur.

Les travaux présentés dans cette thèse ont pour objet l'étude des variations survenues au cours de l'Holocène au sein de la végétation de deux régions du nord-ouest de la France, le Bassin parisien et le Massif armoricain, et leur interprétation en termes de relations entre les sociétés pré- et protohistoriques et leur milieu naturel. Cette étude prolonge ainsi les travaux réalisés par C. Leroyer et D. Marguerie sur des thématiques similaires.

Les deux aires géographiques ciblées, le Bassin parisien et le Massif armoricain, ont fait l'objet de recherches dans le domaine de la palynologie depuis le début du XX^{ème} siècle. On dispose donc d'un riche panel de séquences polliniques analysées, ainsi que de travaux de synthèse qui ont permis de dégager les grandes lignes de l'histoire de la végétation postglaciaire dans ces deux régions du grand quart nord-ouest de la France. Notre objectif ne sera donc pas de produire une nouvelle série de données s'ajoutant aux travaux précédents, mais plutôt de proposer une interprétation renouvelée à partir des données existantes, au travers de l'application des méthodes de modélisation les plus actuelles en matière de traitement du signal pollinique et de caractérisation de la chronologie des séquences. La confrontation des résultats ainsi obtenus en termes de reconstructions paléo-paysagères avec les enseignements tirés des travaux archéologiques menés en Bassin parisien et Massif armoricain, pourra alors nous permettre de brosser un tableau général des interactions entre les communautés humaines et leur environnement de la fin du Mésolithique à l'âge du Bronze.

Du fait du cadre assez large et nécessairement transdisciplinaire d'un tel type d'étude, les problématiques abordées sont assez diverses et recoupent plusieurs champs de recherche.

La première des interrogations suscitées par la description d'une évolution quelle qu'elle soit relève du cadre temporel des changements qui la composent. Ainsi, on peut logiquement commencer par se demander comment s'organisent chronologiquement les modifications d'assemblages polliniques observées dans les séquences sédimentaires ?

A ce sujet, deux méthodes se complètent en matière de palynologie. La première de ces méthodes, qui est aussi la plus ancienne, consiste en l'établissement de chronologies relatives basées sur les assemblages polliniques rencontrés le long d'un profil et retrouvés ensuite dans tout un groupe d'autres profils issus de points de sondages avoisinants. Cette méthode se base donc sur le concept de biostratigraphie, fondé par Alcide d'Orbigny (1802-1857), pour

déterminer le cadre temporel d'une série de séquences polliniques. La seconde méthode est relativement plus récente, puisqu'elle se base sur la mesure du rapport isotopique du carbone (ARNOLD & LIBBY 1949) au sein d'échantillons prélevés dans la séquence sédimentaire. La chronologie absolue ainsi obtenue pour les échantillons datés sert alors de cadre temporel à l'analyse du signal pollinique enregistré dans le profil, indépendamment de la teneur de ce signal. La datation ^{14}C constitue la méthode la plus courante pour établir une chronologie absolue pour des séquences sédimentaires organiques quaternaires mais de nombreuses autres techniques peuvent également être employées (dendrochronologie, comptage des varves, tephras, etc.). Dans notre étude, les deux approches, relative et absolue, sont utilisées, comparées et dans l'une des deux régions combinées. Nous nous basons pour cela sur un modèle statistique bayésien nommé RenDateModel (LANOS & DUFRESNE 2012) qui permet de mêler datations absolues et chronologies relatives, dans notre cas mesures radiocarbone et zonations polliniques.

Enfin, à partir des jalons temporels ainsi posés pour certaines profondeurs du profil pollinique, comment déterminer des âges pour les profondeurs des échantillons situés entre ces jalons ? L'interpolation entre ces points repères est généralement obtenue via la réalisation de modèles d'âges, c'est-à-dire de courbes figurant l'âge du sédiment en fonction de sa profondeur dans la carotte. Le calcul de ces modèles d'âges peut là encore relever de méthodes diverses. Si aucune de ces méthodes ne semble pouvoir fournir des résultats reflétant parfaitement la réalité du dépôt sédimentaire (TELFORD *et al.* 2004a), on peut tout de même tenter de s'en approcher en adaptant les différents paramètres entrant en jeu dans le calcul. Dans notre étude, différents programmes sont utilisés pour établir des modèles d'âge pour chacun des profils polliniques sélectionnés. En fonction des propriétés de calcul désirées, ce sont ainsi les programmes RenCurve v08/2011 et v03/2013 (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.) ou CLAM v1.0.2 (BLAAUW 2010) qui ont été employés. Le programme RenCurve, développé comme son nom l'indique à Rennes, a bénéficié de la batterie de tests réalisés au cours de cette thèse, à partir des données rassemblées pour le Bassin parisien et le Massif armoricain, qui ont amené à des améliorations du logiciel qui sont abordées dans notre étude.

Une fois la chronologie des séquences établie, la deuxième problématique abordée dans notre étude concerne la signification du signal pollinique lui-même. Quels enseignements peut-on tirer des enregistrements polliniques en termes de d'abondance de plantes dans les paléo-paysages ? Les proportions de pollen des différents taxons enregistrées dans les couches sédimentaires nous livrent-elles une image fidèle de la végétation de l'époque ? Comment la pluie pollinique restitue-t-elle les proportions des communautés végétales ?

Plusieurs aspects de la relation pollen-végétation tels que les différences inter-taxonomiques en matière de productivité pollinique et de dispersion du pollen, ainsi que la structure spatiale de la végétation environnant le point de sondage pollinique, ont fait l'objet de recherches depuis quelques dizaines d'années (PRENTICE 1985,1988, SUGITA 1993,1994). En effet, les taxons produisant du pollen en quantités plus abondantes et dont la dispersion est facilitée par une vitesse de chute relativement faible se retrouvent surreprésentés dans la pluie pollinique par rapport à leurs effectifs réels dans le couvert végétal. Inversement, les taxons combinant une productivité pollinique faible et une vitesse de chute élevée voient leurs proportions sous-représentées. Si ces faits étaient déjà connus des palynologues et intégrés de façon intuitive dans leurs interprétations du signal pollinique, la mise en place d'une formulation mathématique de ces avancées théoriques, le LRA (Landscape Reconstruction Algorithm) (SUGITA 2007a,b), a permis de passer au stade de la quantification des proportions de chaque taxon dans le couvert végétal. Les modèles REVEALS (Regional Estimates of VEgetation Abundance from Large Sites) (SUGITA 2007a) et LOVE (LOcal Vegetation Estimates) (SUGITA 2007b), dont la structure est basée sur le LRA, permettent de mettre en pratique ces théories aux échelles régionale et locale, respectivement. L'objectif de notre étude étant de produire des estimations du couvert végétal à l'échelle régionale, seul le modèle REVEALS est employé ici. Au travers de l'application de ce

modèle à des corpus de données non-idéaux (FYFE *et al.* 2013), c'est-à-dire à des séquences polliniques pouvant être issues de contextes ne correspondant pas au cadre initialement établi par Sugita (2007a) , notre étude s'intègre pleinement dans la démarche mise en place dans le cadre du programme LANDCLIM (LAND cover – CLIMate interactions in NW Europe during the Holocene) (GAILLARD *et al.* 2010). En effet, l'un des objectifs de ce programme international consiste à évaluer empiriquement, au cours d'une série d'études réalisées dans différents pays d'Europe puis à l'échelle du continent (Trondman *et al.* in prep.), la pertinence des résultats de modélisation du couvert végétal.

A partir des reconstructions du couvert végétal régional obtenues pour chacune des deux régions étudiées, de nouvelles questions se posent. Quelles divergences, mais aussi quelles convergences, au sein de ces reconstructions paysagères peuvent-elles être observées entre ces deux parties du grand quart nord-ouest de la France ? Quelle part de ces similitudes et/ou spécificités relèvent-elles de traits de végétation réels ? Quelle part découle en revanche des approches méthodologiques diverses employées pour chacune des zones ciblées et dont découleraient des propriétés différentes influençant alors les résultats des modèles ? Pour répondre à ces questions, les diagrammes de végétation estimée obtenus pour le Bassin parisien et le Massif armoricain sont analysés en terme d'histoires régionales de la végétation estimée. Ces dernières sont ensuite comparées entre elles afin de déterminer les grands points de convergence ainsi que les principales spécificités régionales. Ces observations sont discutées et analysées en fonction des données entrant en jeu dans chacun des cas et des possibles influences de la méthodologie employée.

Enfin, cette thèse ayant été réalisée au sein du laboratoire Archéosciences de Rennes, nous avons pu consacrer une partie de celle-ci à l'étude des relations entre les populations pré- et protohistoriques et leur milieu, au travers de l'analyse de l'évolution de l'impact anthropique sur la végétation du Bassin parisien et du Massif armoricain entre la fin du Mésolithique et l'âge du Bronze. Si les résultats de modélisation du couvert végétal pour ces deux régions constituent la base de nos conclusions, d'autres sources ont cependant été mises à contribution. La description des interactions entre les groupes humains et leur environnement est ainsi enrichie par les enseignements apportés par la recherche archéologique en termes de densités de sites, de nature des occupations, et de nature des activités anthropiques, permettant ainsi de profiter de la complémentarité des informations de ces deux disciplines.

L'organisation de ce mémoire rend compte de la démarche mise en place et des apports respectifs des différentes disciplines à notre travail de recherche.

Le premier chapitre est consacré au contexte de l'étude. Il rassemble d'abord les caractéristiques géographiques, géologiques, hydrographiques, climatiques, pédologiques et floristiques des deux aires d'étude. Puis le cadre archéologique des reconstructions végétales est présenté. Enfin, un point est fait sur les recherches antérieures, soit sur l'état des données disponibles dans chacune des régions lorsque nous avons abordé ces recherches. Ce travail s'adresse à des lecteurs de formations diverses : botanistes, archéologues, spécialistes de la datation, géomorphologues… Aussi nous sommes nous attachés à le rendre accessible à tous en développant ces chapitres de présentation.

Eut égard au format choisi pour la rédaction de cette thèse, basé sur la centralité des articles intégrés directement au mémoire, le choix a été fait de ne pas suivre le schéma d'organisation classique pour les chapitres suivants.

Le deuxième chapitre agrège ainsi l'ensemble des points méthodologiques mis à contribution ainsi que l'exposé détaillé des analyses ayant conduit à la détermination du couvert végétal dans chaque région. Ce chapitre vise essentiellement à poser les bases de la discussion qui est développée dans le chapitre suivant, en présentant les tests et les choix effectués pour reconstruire la chronologie des séquences polliniques, puis le couvert végétal de chacune de nos aires d'étude. Certaines parties correspondent à des articles écrits en anglais, dans l'objectif de les soumettre à publication dans des revues internationales, d'autres à des articles rédigés en français dont l'un est publié et l'autre sera soumis prochainement.

Le troisième chapitre propose une synthèse générale des résultats obtenus. L'évolution holocène de la végétation estimée est retracée dans chacune des deux régions. Les convergences et divergences observées sont soulignées et discutées en regard des méthodologies employées dans chacun des cas. Enfin l'impact humain sur le couvert végétal régional est analysé et une caractérisation des relations entrenues entre les sociétés humaines et leur environnement entre la fin du Mésolithique et la fin de l'âge du Bronze est proposée.

Avant propos

Note sur la numérotation des parties et des figures, tableaux, annexes :

Afin d'éviter une multiplication de chiffres successifs, le modèle de numérotation des parties et sous-parties du corps du texte n'a pas été conservé à l'intérieur des articles. Là numérotation y est donc propre à chacun d'entre eux et indépendante du reste de la thèse.

En revanche, la numérotation des figures, tableau et, annexes est continue du début à la fin de la thèse.

Note sur les différents types de chronologies employées :

Pour des raisons de commodité de lecture, la chronologie est exprimée en années calibrées « Before Christ/Anno Domini » (cal. BC/AD) dans l'ensemble du texte. Ce format a été choisi car il correspond à l'usage en vigueur pour le découpage chrono-culturel, permettant ainsi une confrontation plus aisée de nos résultats avec leur contexte archéologique.

PREMIERE PARTIE : Contexte de l'étude

1 - CONTEXTE NATUREL DU NORD-OUEST DE LA FRANCE

1.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

1.1.1 - MASSIF ARMORICAIN

Le Massif armoricain a une histoire géologique complexe qui commence il y a deux milliards d'années, bien avant l'ère Primaire, au Protérozoïque (LE CORRE *et al.* 1991).

Les roches les plus anciennes de France, des orthogneiss issus des granites de l'orogenèse Icartienne (2,2 à 1,8 milliards d'années), sont en effet visibles à l'affleurement sur une mince bande reliant la côte du Trégor (Moulin-de-la-Rive, Trébeurden, Port-Béni) à la pointe nord-ouest du Cotentin (cap de La Hague) en passant par les îles anglo-normandes (Jersey, Guernesey). L'orogenèse Pentévrienne (1,3 à 1milliards d'années) les a ensuite affectées, générant plissements et volcanisme.

Le cycle Cadomien intervient ensuite, en deux temps, à partir de la fin du Protérozoïque. La zone qui sera un jour le Massif Armoricain est alors située en bordure du supercontinent Gondwana, sous lequel une partie de la plaque océanique de l'océan Celtique va entrer en subduction. Ceci entraine, lors de la première phase orogénique (650 à 600 millions d'années), la formation d'une cordillère volcanique orientée est-ouest sur la partie nord, correspondant au domaine Domnonéen, associée à l'affaissement des terrains du centre Bretagne sous la forme d'un grand synclinal se terminant au sud par l'anticlinal de Cornouaille. Cet affaissement déclenche une invasion marine de la zone centrale et donc une sédimentation océanique au fond de la nouvelle mer Briovérienne. Ce sont ces sédiments marins qui, lors de la deuxième phase d'orogenèse Cadomienne (600 à 550 millions d'années) sont métamorphisés pour aboutir aux schistes briovériens, abondants en Domaine Centre Armoricain. Enfin, au Cambrien, des remontées magmatiques importantes finissent par affleurer sur la partie nord-est et rajeunissent ainsi la zone correspondant au Domaine Mancellien.

Entre cette orogenèse et la suivante, le synclinal centre armoricain subit les allées et venues de la mer, aboutissant à une alternance de dépôts schisteux (schistes rouges du bassin de Rennes) et gréseux (grès des falaises de Crozon) du Paléozoïque ou ère Primaire. Durant le Carbonifère et le début du Permien, la poursuite des contraintes en compression ayant abouti à la disparition de l'océan Celtique, les supercontinents de Laurasia et Gondwana entrent en collision, initiant une nouvelle orogenèse nommée cycle Hercynien ou Varisque (360 à 270 millions d'années). Elle interrompt la sédimentation marine en centre Bretagne et provoque une importante fracturation du massif (Cisaillements Nord et Sud Armoricains), facilitant ainsi une nouvelle fois des remontées de magma sous la forme de grands batholithes granitiques, particulièrement au niveau de l'anticlinal de Cornouaille mais aussi en domaines Mancellien et Ligérien.

A partir de l'ère Secondaire, le Massif Armoricain subit une érosion constante qui entraine sa totale pénéplanation et on ne dispose donc pas de sédiments pour la période Mésozoïque (ère secondaire). Le Cénozoïque est un peu mieux connu du fait de dépôts d'altérites mais aussi de zones de sédimentation marine limitées, comme le Bassin de Rennes à l'Oligocène et au Miocène. Les conséquences des orogenèses Pyrénéennes et Alpines ne se traduisent que par du rejeu de

failles et un bombement léger de l'ensemble de la région, accentuant ainsi l'érosion par les cours d'eau et conduisant au creusement de vallées. Les dépôts quaternaires consistent en sables rouges fluviatiles et autres étagements en terrasses rythmés par les grands cycles climatiques avec l'alternance de phases glaciaires et interglaciaires.

1.1.2 - BASSIN PARISIEN

Les terrains sédimentaires post-carbonifères du Bassin parisien s'appuient à l'ouest sur le Massif armoricain, au sud sur le Massif central, à l'est sur les Vosges et le Massif ardennais, et s'ouvrent au nord sur le Bassin de Flandre. L'organisation en auréoles des différentes couches (cf. Fig. 1) se traduit à l'affleurement par des sédiments de plus en plus anciens du centre vers l'extérieur, avec des bordures en cuestas au niveau des limites d'érosion (Pomerol, 1974). Cette disposition résulte de la subsidence du centre du bassin durant les ères Secondaire (Mésozoïque) et Tertiaire (Cénozoïque).

Il correspond au Secondaire à un golfe dans lequel s'accumulent des sédiments marins, d'influence plus ou moins continentale suivant le rythme des successions de transgressions et régressions ainsi que suivant la proximité des massifs anciens avoisinants. La nature de ces dépôts varie au cours des ères géologiques. Une sédimentation calcaire organique d'origine néritique a lieu en périodes biostasiques, soit d'érosion faible des continents due à un couvert végétal important, comme au Jurassique moyen (Dogger) et au Crétacé supérieur. Tandis que des sédiments sableux à argileux d'origine détritique ont plutôt tendance à se déposer en périodes rhéxistasiques, soit d'érosion forte des continents due à un couvert végétal faible, comme au Jurassique supérieur (Lias) et Crétacé inférieur.

Au Tertiaire, la sédimentation se perpétue durant le Paléogène mais la dimension du golfe, lors des périodes de transgression, s'est restreinte à sa partie plus centrale. L'émersion quasi-définitive du Bassin parisien à partir du Néogène interrompt ensuite la sédimentation, sauf à de rares occasions comme lors de la transgression Atlantique Miocène par le bassin de la Loire, et crée un basculement vers l'érosion des terrains tertiaires. Celle-ci est rendue possible par la mise en place d'un important réseau hydrographique qui va alors suivre les contours des zones d'alternance entre couches dures et couches meubles, créant ainsi des cuestas en auréoles constituées de calcaires grossiers plus résistants.

Enfin, le Quaternaire va également marquer le Bassin parisien de son empreinte au travers de dépôts superficiels de type alluvial (silts, limons), mais aussi éolien (lœss) ou de versant (solifluxion, cryoturbation), suite aux dégradations climatiques cycliques qui le caractérisent.

Depuis, l'homme a lui aussi participé à la morphogenèse du Bassin parisien en défrichant les terres et/ou en les mettant en culture, provoquant ainsi le colluvionnement et l'alluvionnement moderne des vallées fluviatiles.

La figure 1 illustre le contexte géologique du nord-ouest de la France.

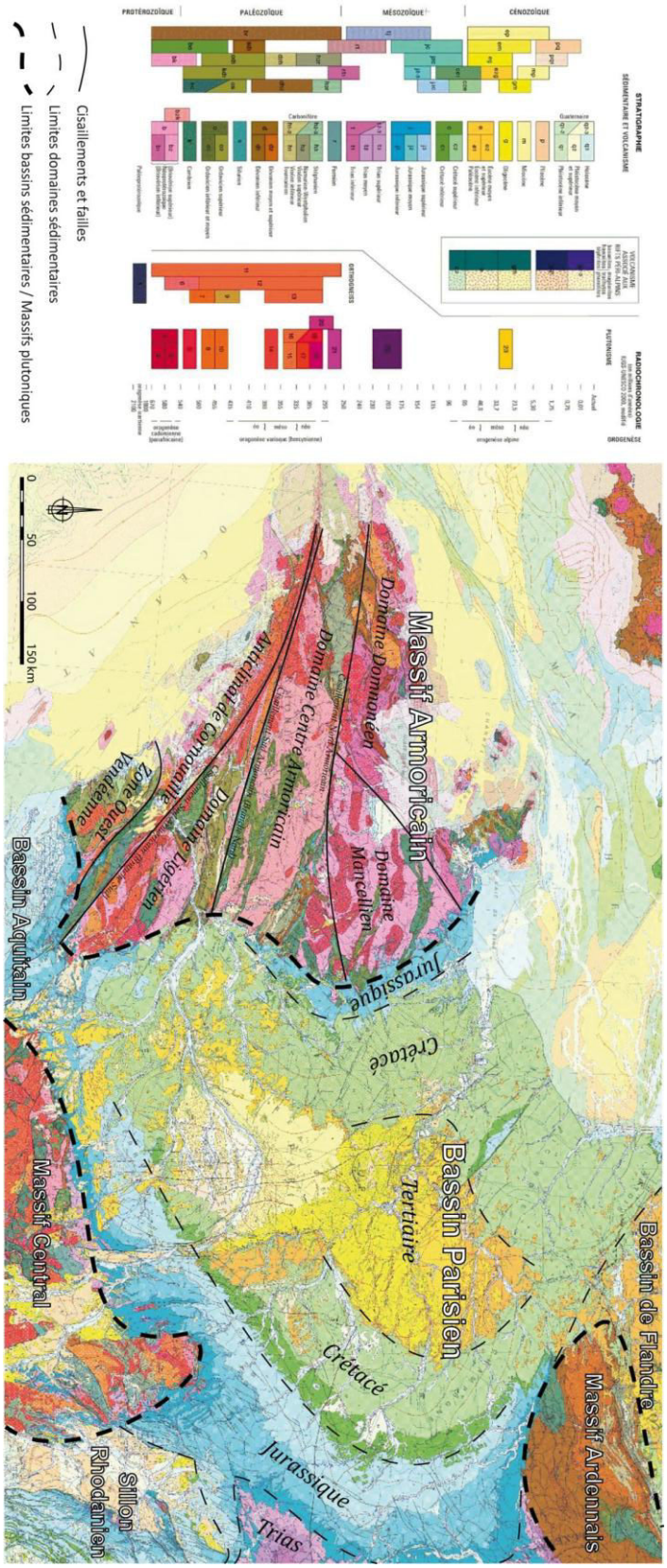


Fig. 1 : Carte géologique du Nord-Ouest de la France (Modifiée d'après BRGM)

1.2 - GEOGRAPHIE ET HYDROLOGIE

1.2.1 - MASSIF ARMORICAIN

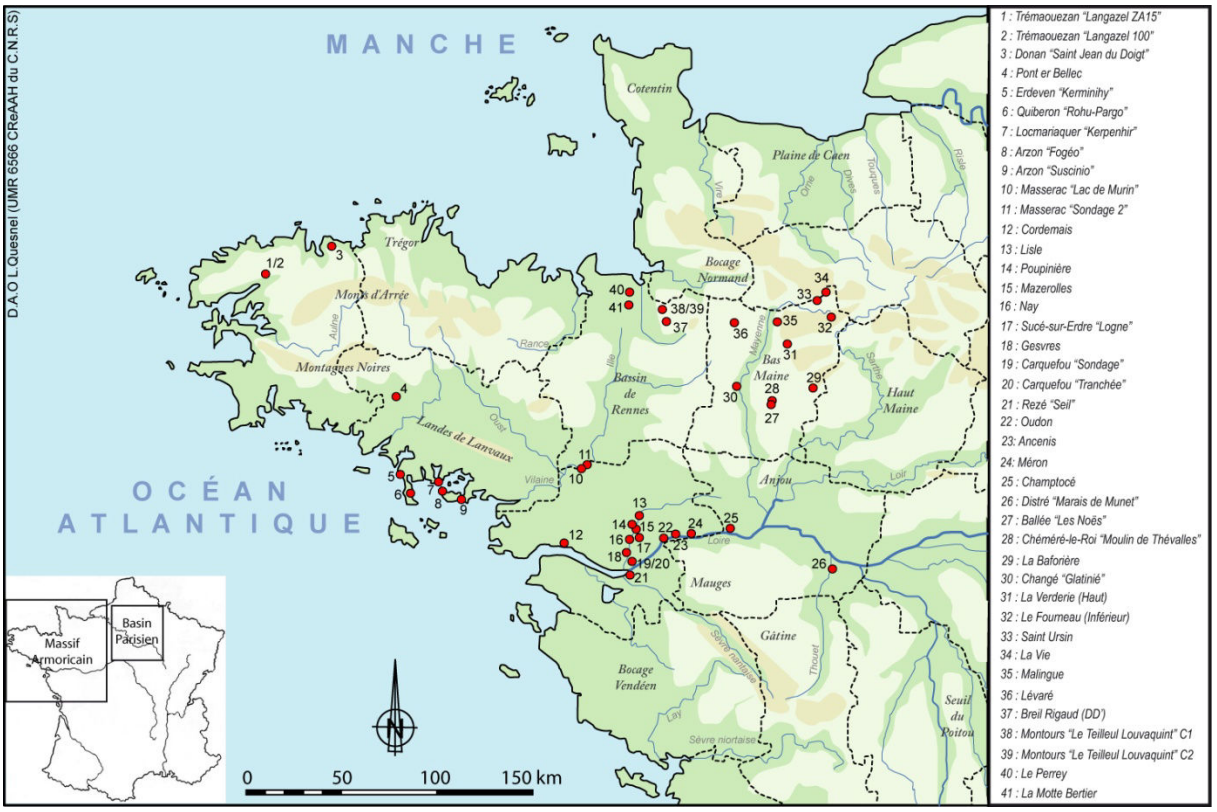


Fig. 2 : Relief, réseau hydrographique et régions naturelles du Massif Armoricain

Malgré sa formation originelle au cours de plusieurs orogenèses, le Massif Armoricain n'a plus guère aujourd'hui de massif que le nom, et ce sur la majeure partie de son étendue. Avec 104 mètres d'altitude moyenne, c'est l'un des massifs anciens les moins élevés et il ne dépasse qu'à peine les bassins avoisinants. Les vestiges de son relief passé sont cependant toujours visibles en certains points, notamment au Mont des Avaloirs en Mayenne dont le point culminant atteint 417 mètres d'altitude. On retrouve également des reliefs notables (environ 300 mètres) en Bretagne intérieure où les Monts d'Arrée et les Montagnes Noires enserrent la dépression schisteuse de Châteaulin et sont prolongées vers l'ouest respectivement par les collines du Méné et la ride granitique de Lanvaux (cf. Fig. 2).

En Bretagne septentrionale et occidentale, ce massif pénéplané ne présente toutefois pas un aspect monotone car de nombreux cours d'eau, malgré leurs dimensions souvent modestes, l'entaillent parfois profondément, créant de longues rias aussi appelées abers. Celles-ci permettent à la mer de s'enfoncer loin dans les terres à la faveur des marées hautes, donnant ainsi au littoral un aspect très découpé. La côte sud est en revanche moins vallonnée et souvent couverte d'importantes formations dunaires, ce qui ne l'empêche pas de présenter un trait de côte tout aussi chaotique.

Le principal axe fluvial structurant la région est la Loire qui s'écoule ici d'est en ouest, entre Anjou et Mauges, jusqu'à son vaste estuaire, en aval de la ville de Nantes en Loire-Atlantique. Les abords de ce fleuve évoluent au fil de ses déplacements latéraux assez récurrents et une plaine assez étendue s'étale de part et d'autre de son lit, ponctuée de nombreux marais et zones humides exploitées en prairies naturelles. La Mayenne s'écoule du Nord au sud en creusant une vallée relativement étroite jusqu'à sa confluence avec la Loire.

L'autre bassin d'importance dans la région est issu de l'action de la Vilaine et de son affluent l'Ille. Ces deux cours d'eau de dimension moyenne se rejoignent au cœur du bassin de Rennes avant de rejoindre l'Atlantique au sud-ouest.

1.2.2 - BASSIN PARISIEN

Le Bassin parisien, de par son histoire géologique, présente relativement peu de reliefs. La structuration du territoire est donc principalement le fait du réseau hydrographique qui est, quant à lui, plutôt bien développé. Il doit en effet drainer l'ensemble d'un vaste bassin versant (près de $80x10^3$ Km^2) organisé autour d'un fleuve principal long de 776 kilomètres, la Seine (cf. Fig. 3).

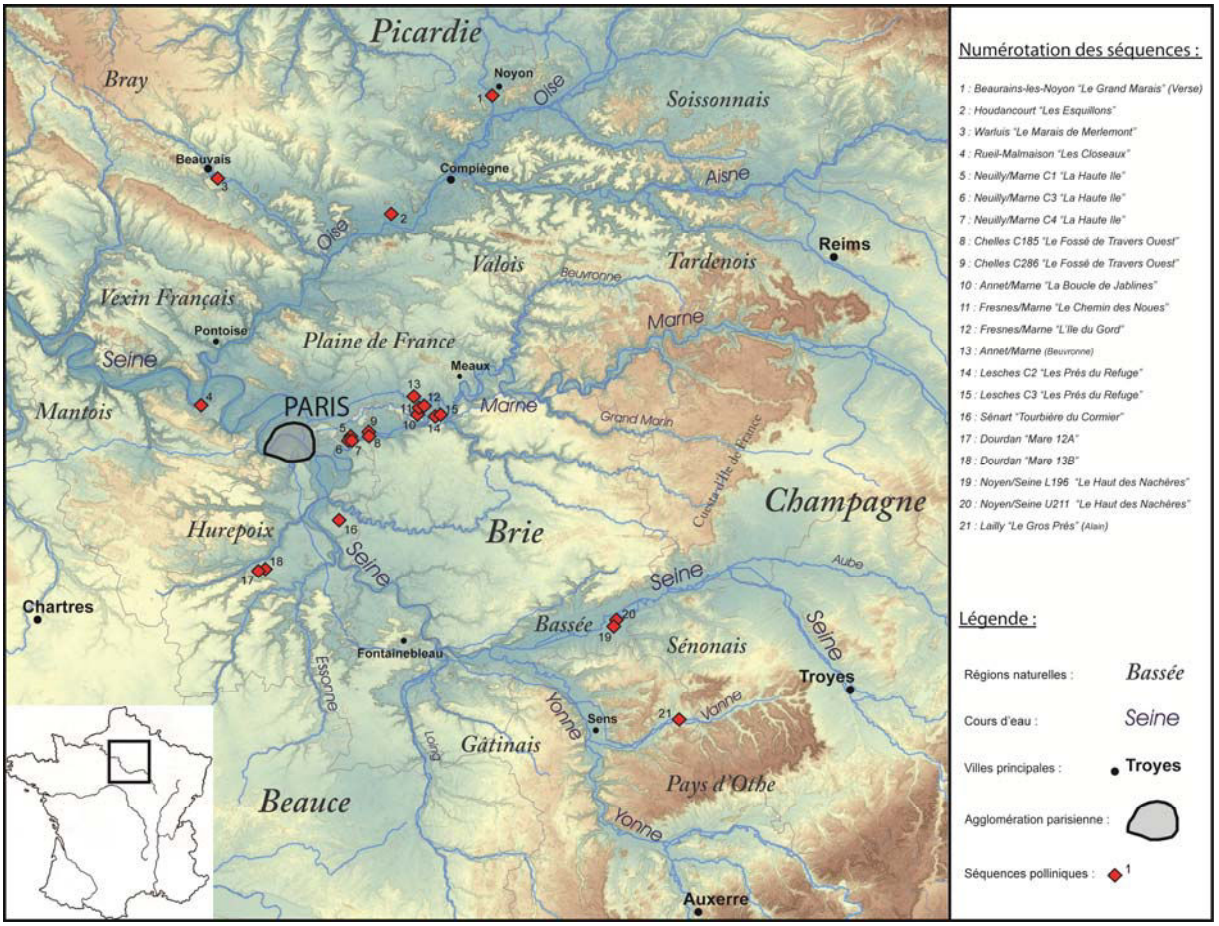


Fig. 3 : Relief, réseau hydrographique et régions naturelles du Bassin parisien

Elle s'écoule du sud-est au nord-ouest, depuis le plateau de Langres en Bourgogne, en traversant la ville de Troyes avant de s'enfoncer vers l'ouest dans une large dépression, la Bassée. Celle-ci contourne un léger relief (près de 250 mètres), la cuesta d'Ile-de-France qui sépare les terrains tertiaires de la Brie des terrains crétacés de la Champagne. Elle repique ensuite vers le nord-ouest et la ville de Paris en laissant la Beauce sur sa rive gauche. En aval de la capitale, elle se tord en de nombreux méandres, entre Mantois et Vexin français, jusqu'à son embouchure au Havre en Haute-Normandie.

Les principaux affluents de la Seine délimitent eux aussi différentes provinces. Au sud, le Gâtinais est entouré par le Loing à l'ouest et l'Yonne à l'est. Celle-ci le dissocie du relatif plateau du Pays d'Othe (élévation maximale de 300 mètres) ainsi que du Sénonais tandis que son affluent, la Vanne, établit la séparation entre ces deux derniers. L'un des principaux cours d'eau de la région, la Marne, coule d'est en ouest entre la Brie au sud et le Tardenois puis le Valois et enfin la Plaine de France au nord, juste avant sa confluence avec la Seine un peu en aval de Paris. L'Oise descend vers le sud-ouest depuis la Belgique, à travers la Picardie, en bordant le sud-est du pays de Bray après avoir longé le nord de la province du Soissonnais. L'Aisne enfin, marque la limite sud de cette dernière.

1.3 - CONTEXTE CLIMATIQUE

Le traitement par analyse multivariée des données météorologiques de Météo France couvrant la période 1971-2000 a permis de proposer une typologie générale des climats français (JOLY *et al.* 2010). Pour ce faire, analyse factorielle des correspondances (AFC) et classification hiérarchique ascendante (CHA) ont été couplées afin d'obtenir huit principaux types de climats pour l'ensemble du territoire. Seuls six d'entre eux sont représentés dans la partie nord-ouest du pays et seront donc détaillés ici. Les résultats de cette partition mathématique des données météorologiques ont été illustrés sous la forme d'une projection sur l'espace géographique concerné, afin de faire ressortir les termes d'un zonage climatique (cf. Fig. 4).

Type 1 : Climat de montagne

Malgré des altitudes modestes, ce type de climat est tout de même représenté dans le nord-ouest du pays sur les plateaux à l'est de la Champagne. Il regroupe les zones où les influences montagnarde et/ou semi-continentale sont prépondérantes. Ceci se traduit par des précipitations importantes, tant dans leur total cumulé sur l'année que dans le nombre de jours de pluie. La température moyenne est inférieure à 9,4°C. On compte en moyenne plus de 25 jours au cours desquels la température minimale descend en-dessous de -5°C et moins de 4 où elle dépasse les 30°C. De plus, la variabilité interannuelle des précipitations de juillet et des températures d'hiver et d'été est maximale.

Type 2 : Climat semi-continental et le climat des marges montagnardes

Il regroupe les zones en périphérie de celles du type 1 et s'étend donc suivant un arc-de-cercle légèrement décalé vers l'ouest par rapport au précédent soit un peu plus vers le cœur du Bassin parisien. Les températures sont moins froides, les précipitations légèrement plus faibles et moins fréquentes, mais la variabilité climatique demeure tout aussi élevée. Ce type se caractérise également par un faible rapport entre précipitations d'automne et d'été.

Type 3 : Climat océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord

C'est le type qui domine très nettement la majeure partie du Bassin parisien, avec une extension vers le sud soit la vallée moyenne de la Loire, et vers l'ouest jusqu'à la Sarthe. Malgré un caractère océanique plus affirmé, les températures restent assez intermédiaires avec environ

11°C en moyenne annuelle et entre 8 et 14 jours de température inférieure à -5°C. Les précipitations sont relativement faibles tout au long de l'année avec pas plus de 700 mm de cumul annuel, le minimum étant atteint en été. Les variations interannuelles de précipitations sont très faibles, tandis que la température peut au contraire varier notablement d'une année sur l'autre.

Type 4 : Climat océanique altéré

Il constitue une transition entre le climat océanique dégradé (type 3) caractéristique de la partie centrale du Bassin parisien et le climat océanique franc (type 5) plutôt réparti le long des côtes de l'Atlantique. Sa répartition à l'ouest du Bassin parisien apparait symétrique à celle des climats de type 1 et 2 qui s'étendent eux aussi en en arcs-de-cercles concentriques autour de ce dernier mais sur sa partie orientale. L'épaisseur de cette vaste zone tampon varie du nord au sud. Ainsi, s'il ne s'agit que d'une fine bande du Nord-Pas-de-Calais à la Normandie, elle va cependant en s'élargissant jusqu'à atteindre plus de 150 km de la Mayenne au Poitou. Avec 12,5°C en moyenne, la température annuelle est relativement élevée pour le secteur géographique considéré. On compte un faible nombre de jours froids (entre 4 et 8/an) et un nombre plus important de jours chauds (entre 15 et 23/an). L'amplitude thermique entre les mois de juillet et janvier est proche du minimum et la variabilité interannuelle moyenne. Le cumul annuel des précipitations est lui aussi moyen avec 800 à 900 mm qui tombent surtout l'hiver, l'été étant lui assez sec.

Type 5 : Climat océanique franc

Il occupe le mince liseré restant en bordure de la Mer du Nord mais s'étend sur près de l'ensemble de la Normandie, de la Bretagne et de la Vendée. C'est le climat qui présente l'amplitude thermique annuelle la plus faible avec moins de 13°C d'écart entre juillet et janvier et un nombre de jours froids (moins de -5°C) et chauds (plus de 30°C) minimum soit en moyenne 4 de chaque par an. Les températures annuelles sont moyennes et la variabilité interannuelle minimale. Les précipitations en revanche sont abondantes sur l'année avec un peu plus de 1000 mm. Si elles occurrent plus fréquemment en hiver, l'été lui aussi est pluvieux. L'ensemble des variables climatiques pour ce type évoquent un climat fortement tamponné et très stable. Néanmoins, les précipitations d'hiver peuvent tout de même varier fortement d'une année sur l'autre.

Type 6 : Climat méditerranéen altéré

Si son aire de répartition principale s'étend surtout sur les Alpes et les Préalpes, on en distingue toutefois quelques lambeaux dans la partie nord-ouest du pays sous la forme d'un étroit liseré à l'ouest, sur les littoraux de Vendée et Loire-Atlantique. La température moyenne annuelle est relativement plus élevée, avec moins de jours de froid (moins de -5°C) que dans tous les types précédents et un nombre de jours chauds (plus de 30°C) compris entre 15 et 23/an. De plus, l'été est répétitivement chaud et sec d'une année à l'autre avec une variabilité interannuelle des températures de juillet minimale pour la région. En revanche, l'automne et l'hiver assez humides et très variables d'une année à l'autre, entrainent un cumul de précipitations annuelles relativement moyen soit 800 à 950 mm.

Les analyses polliniques sollicitées dans cette thèse pour les reconstructions de couvert végétal proviennent essentiellement des zones dominées par le type 3 (océanique dégradé) pour le Bassin parisien et par les types 4 (océanique altéré) et 5 (océanique franc) pour le Massif Armoricain, le type 6 (méditerranéen altéré) étant très peu représenté. On obtient donc l'image d'un gradient climatique est-ouest avec une influence océanique maximale à la pointe de la Bretagne qui va aller en s'atténuant, et même s'estompant, au fur et à mesure de l'avancée à l'intérieur des terres, vers l'est et le Bassin parisien et la Champagne.

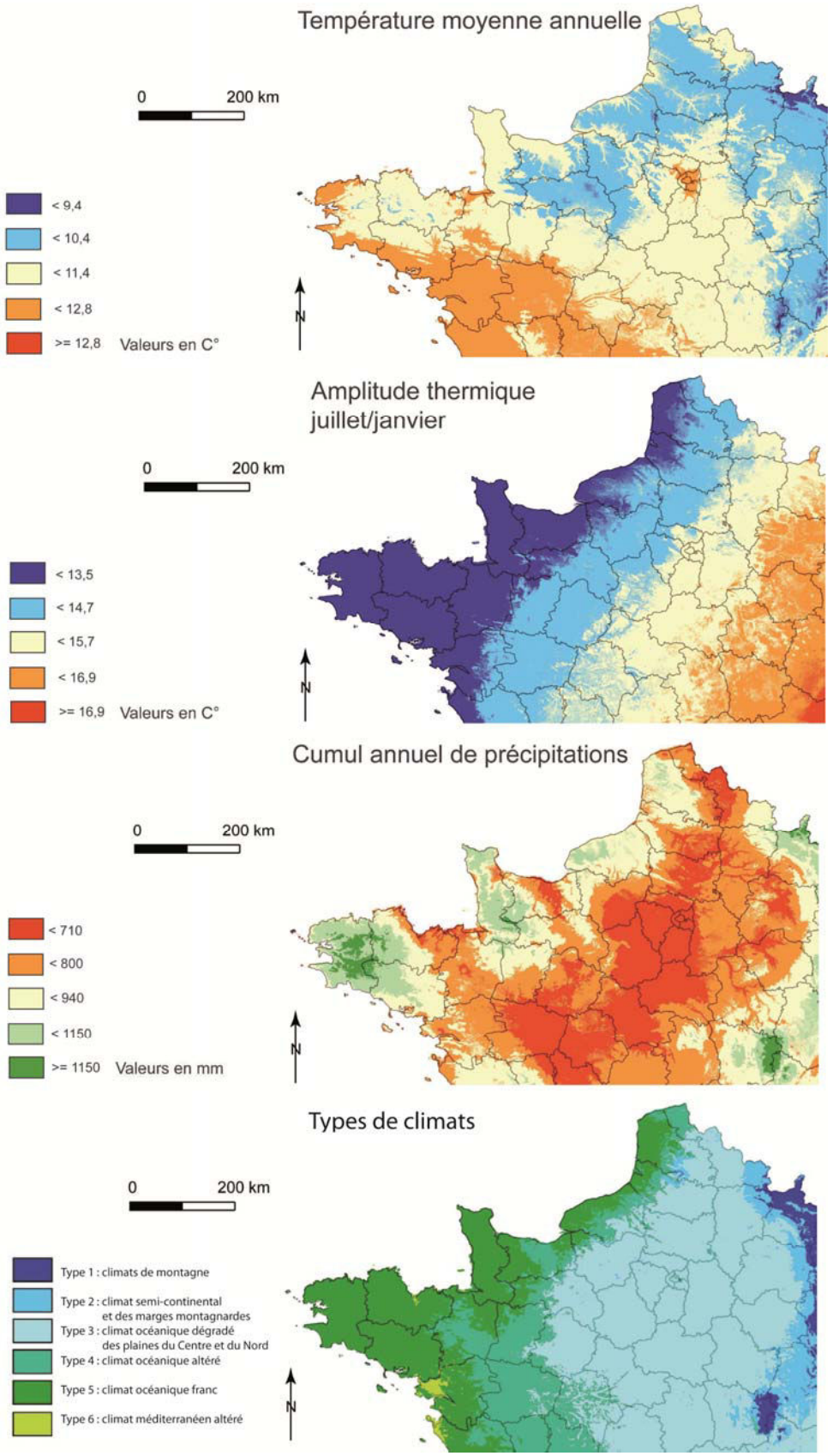


Fig. 4 : Répartition de différentes variables climatiques et des principaux types de climats pour le nord-ouest de la France (Modifié d'après Joly et al. 2010)

1.4 - CONTEXTE PEDOLOGIQUE

De ces contextes, géologique, climatique, anthropique, découle la composition des sols du Massif Armoricain et du Bassin parisien car des matériaux d'origine (granite, schiste, craie, sable, argile et limon) dépendent les types de sols qui se forment à l'interface avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère.

1.4.1 - MASSIF ARMORICAIN

Sur le Massif Armoricain, les substrats siliceux sont prépondérants et couplés à un climat humide avec une absence de températures estivales élevées qui limite l'action de la dégradation microbienne et génère une accumulation d'humus acide.

On rencontrera donc des sols bruns acides lessivés sur des substrats schisteux tendres avec des horizons supérieurs riches en matière organique.

Les sols podzoliques de la région, présents sur les granites et les grès des forêts claires, présentent eux aussi des teneurs élevées en matière organique. L'action de l'homme dans la destruction du couvert forestier depuis le Néolithique avec son remplacement par des landes régressives, associée à l'humidité du climat, concourt à la podzolisation progressive des sols armoricains. Cependant cette dynamique est ralentie par endroits du fait des incendies des landes et des boisements résineux qui sont remplacés par des essences enrichissantes comme l'ajonc.

Les zones de fonds de vallées voient se développer des sols hydromorphes du fait de la proximité des cours d'eau. Lorsque le niveau de la nappe est suffisant, on observe la formation de tourbières.

1.4.2 - BASSIN PARISIEN

Dans le Bassin parisien, des quatre principales natures de sédiments présentes (craie, sable, argile et limon) découlent différents types de sols.

Des rendzines sont issues de la mauvaise intégration de l'humus à un substrat calcaire tandis que des sols bruns calcaires se forment si le calcaire est plus mélangé.

Des podzols, ou du moins des sols bruns acides, résultent d'un lessivage intense sur substrat sableux.

Des sols hydromorphes se forment sur un substrat argileux qui génère un engorgement. Cependant, des sols bruns oligotrophes à mésotrophes peuvent tout de même s'y développer si le drainage est suffisant.

Enfin, des sols bruns, plus ou moins lessivés peuvent se former sur substrat limoneux.

1.5 - VEGETATION ACTUELLE

La Bretagne est à l'heure actuelle, la région la moins boisée de France avec un taux de boisement de seulement 10,4% contre 29,4% en moyenne sur l'ensemble du territoire national (cf. Fig. 5 : Carte_du couvert_forestier ; source : IFN 2011). Cet état de fait est dû à des siècles d'exploitation du milieu qui ont abouti à des défrichements très importants dans le but de

libérer de l'espace pour l'agriculture et l'élevage. Ce dernier domine la région avec l'utilisation des bovins pour la production laitière et la production hors-sol de porcins et de volaille. Cette activité pénalise la production de céréales de qualité du fait des épandages considérables d'effluents d'élevage, générateurs de pollution aux nitrates même s'ils sont administrativement encadrés, qui nuisent au développement des catégories supérieures telles que les blés améliorants. Les cultures sont donc diverses, céréales et/ou légumes, la polyculture étant majoritairement pratiquée. Une part de la production céréalière participe notamment de l'alimentation du bétail sous la forme de fourrage comme c'est le cas pour le maïs d'ensilage ou les tourteaux de colza. Néanmoins, la part des terrains consacrés aux activités agro-pastorales diminue régulièrement avec une perte allant de 0 à 10% entre 2000 et 2010 suivant les secteurs considérés (source : DRAAF Bretagne 2012).

Le milieu naturel du Bassin parisien a profondément été modifié par l'activité humaine, agricole puis industrielle et urbaine. L'agriculture a largement compté dans le développement économique de la région. Aujourd'hui, les cultures céréalières et industrielles (blé, maïs, orge, betterave...) reculent sans cesse devant l'urbanisation croissante. Celle-ci concerne la périphérie de la capitale mais aussi les abords des villes secondaires et même des villages où s'implantent les résidences secondaires. Les cultures céréalières sont repoussées vers des zones autrefois dévolues à l'élevage et à l'industrie laitière, comme certaines parties de la Brie et de la Champagne. Cet essor urbain induit un élargissement des réseaux de communications qui empiètent encore sur le milieu rural, générant un besoin accru de granulats extraits des vallées principales. Malgré tout, des forêts résiduelles, réparties entre les régions de grande culture, sont encore relativement sauvegardées dans l'Hurepoix, le massif de Fontainebleau, le Pays d'Othe et le long de la cuesta d'Ile-de-France. Le taux de boisement moyen de l'ensemble du Bassin parisien atteint ainsi 19,3%, plaçant cependant la région près de 10 points en dessous de la moyenne nationale (cf. Fig. 5 : Carte_du couvert_forestier ; source : IFN 2011).

1.5.1 - DIVISIONS PHYTOGEOGRAPHIQUES

Selon la nomenclature utilisée par Julve (1999), les différents types de végétation rencontrés à la surface du globe se répartissent sur le territoire en fonction du climat, de la nature des sols et de l'écologie des taxons concernés. Le jeu de l'ensemble de ces facteurs, comparé aux aires de répartitions des différents assemblages floristiques, permet de définir la phytosociologie des espèces composant la végétation de chaque zone (cf. Fig. 5 : Carte_phytogéographique). Cette classification prend la forme d'un emboitement hiérarchique, à la manière d'un classement systématique. Cinq niveaux le composent, cités ici par ordre d'importance décroissante, l'empire, le sous-empire, la région, le domaine et le secteur.

Dans la partie nord-ouest de la France, on rencontre uniquement des essences provenant de l'empire holarctique, celui-ci s'étendant sur toute la partie du globe située au nord du tropique du Cancer. Il est divisé en deux zones pour sa partie européenne. Le sous-empire téthyen regroupe tous les terrains du pourtour méditerranéen à climat tempéré chaud et dont l'altitude n'est pas suffisante pour passer en contexte tempéré mésotherme à froid. Par opposition, le sous-empire laurasien regroupe l'ensemble des autres territoires. Il est lui-même partagé en quatre régions : arctico-alpine (polaire et alpine), boréo-subalpine (tempérée froide et subalpine), médioeuropéenne (tempérée mésotherme, planitaire à montagnarde) et nevado-

illyrienne (zones d'altitude du pourtour méditerranéen). Seule la région médioeuropéenne concerne notre zone d'étude. Elle est subdivisée en deux domaines, atlantique et centro-européen, qui partagent le nord-ouest de la France en deux selon un axe nord-sud.

Le domaine atlantique en concerne la majeure partie et s'étend jusqu'aux Ardennes en redescendant le long de la limite entre Brie et Champagne et jusqu'au Morvan. Il comprend cinq secteurs qui recouvrent les zones de prélèvements polliniques de cette étude. Le secteur finistérien, le plus atlantique de tous, regroupe les assemblages planitaires, hyperatlantiques et mésothermes. Le secteur morbihano-cotentin s'en différencie par son coté atlantique moins marqué qui le défini comme planitiaire, atlantique et mésotherme. Le secteur vendéen est lui légèrement plus chaud avec un contexte planitiaire, atlantique et mésothermophile. A l'inverse, le secteur normand-picard est plus froid avec une définition planitiaire, atlantique, mésopsychrophile. Le secteur ligérien voit l'influence atlantique décroitre avec une végétation planitiaire, subatlantique, mésotherme.

L'autre domaine concernant notre zone d'étude est le domaine centro-européen qui regroupe des secteurs à caractère continental plus affirmé. Le seul qui recoupe notre zone d'étude est le secteur champenois qui s'étend comme son nom l'indique sur la Champagne dans la partie est du Bassin parisien. Il est défini par un contexte planitaire et précontinental.

1.5.2 - SERIES DE VEGETATION

Sur le Massif Armoricain, différentes séries de végétations sont représentées qui correspondent aux propriétés écologiques de chaque milieu (CORILLION 1971).

La série du chêne vert (*Quercus ilex*) est la seule à caractère latéméditerranéen. De ce fait on la retrouve principalement dans la partie méridionale de notre secteur d'étude, en Loire-Atlantique, Vendée et Morbihan où il peuple la presqu'île de Rhuys qui correspond à sa limite d'extension nord. En effet cette espèce thermoxérophile nécessite un minimum de 2000 heures d'ensoleillement annuel et 4 mois assez secs.

La série du chêne-tauzin (*Quercus pyrenaica*) témoigne d'une influence atlantique plus marquée, même s'il se rencontre principalement dans les haies du bocage sud-breton.

La série du chêne pédonculé (Quercus pedonculata) est elle aussi à dominante atlantique. C'est en effet elle qui représente la majorité des boisements sur le Massif Armoricain, bien que ceux-ci soient rarement purs car elle est généralement associée à d'autres espèces comme le chêne sessile et le hêtre (*Fagus sylvatica*), ou encore l'alisier (*Sorbus torminalis*), le bouleau (*Betula pubescens*) ou le charme (*Carpinus betulus*). On retrouve parfois le chêne pédonculé associé au chêne-tauzin, au châtaigner (*Castanea sativa*), au cerisier sauvage (*Prunus* sp.) et au poirier (*Pyrus* sp.) dans les haies du bocage.

La série du chêne sessile (*Quercus sessiliflora*) représente plutôt l'étage collinéen, se développant dans les zones plus sèches que la précédente, sur les collines et plateaux mieux drainés. Elle est associée au hêtre dans la partie occidentale de la Bretagne et davantage au charme, au tilleul (*Tilia* sp.) ou au châtaigner (*Castanea*) dans la partie orientale. Les landes sont composées d'essences de zones sèches comme la callune (*Calluna vulgaris*), la bruyère cendrée (*Erica cinerea*), l'ajonc d'Europe (*Ulex europaeus*) et le genêt à balais (*Cytisus scoparius*). La strate herbacée compte canches flexueuses (*Deschampsia flexuosa*), digitales pourpres (*Digitalis*

purpurea), séneçons (*Senecio silvaticus*), molinies bleues (*Molinia caerulea*) et houlques molles (*Holcus mollis*).

La série du hêtre (*Fagus sylvatica*) quant à elle se développe dans un contexte de type submontagnard. On la retrouve ainsi dans les zones les plus élevées et les plus pluvieuses du Massif avec des températures plus fraiches, telles les hauteurs de Normandie et du Maine ainsi qu'à l'ouest de la péninsule bretonne en association avec les chênes sessile et pédonculé.

Dans le Bassin parisien, on retrouve une bonne part de ces séries d'influences latéméditerranéenne, subatlantique et atlantique, auxquelles s'ajoutent les contextes médio-européen et de bord d'eau (BOURNERIAS *et al.* 1985, LAVERGNE 1965).

La série du chêne pubescent (*Quercus pubescens*) se développe dans les zones de type latéméditerranéen à subatlantique, telles certaines stations sèches du Mantois en terrasses de Seine. Elle se compose de pelouses xérophiles pour la strate herbacée et de landes à troènes (*Ligustrum vulgare*), prunellier (*Prunus spinosa*), genêt (*Genista tinctoria*), callune (*Calluna vulgaris*) et armoise (*Artemisia campestris*). Les boisements sont généralement clairs et hybridés de hêtre et de chênes pédonculé et sessile en Pays d'Othe et en Champagne crayeuse. On y trouve aussi l'alisier blanc (*Sorbus aria*), le bouleau verruqueux (*Betula verrucosa*) et le genévrier (*Juniperus communis*).

La série du chêne sessile (*Quercus sessiliflora*) ou rouvre (*Quercus robur*) marque un caractère local subatlantique à médio-européen. On la rencontre en Pays d'Othe et dans le Sénonais en association avec le charme, accompagnée de merisier (*Prunus avium*), tilleul et parfois d'érable (*Acer* sp.). On retrouve dans la strate arbustive l'alisier, l'alisier blanc et le troène auxquels s'ajoutent le noisetier (*Corylus avellana*) et l'aubépine (*Craetaegus*). La strate herbacée est principalement médio-européenne avec l'ortie jaune (*Lamium galeobdolon*), l'euphorbe des bois (*Euphorbia amygdaloides*) et le millet diffus (*Milium effusum*).

La série mixte des chênes sessile et pédonculé correspond aussi à un contexte subatlantique et médio-européen mais légèrement plus frais que le précédent. Elle est présente sur le plateau de Brie où les deux chênes sont accompagnés par le bouleau, le peuplier tremble (*Populus tremola*), le charme et un peu de tilleul. La strate arbustive est composée noisetier, bourdaine (*Frangula alnus*), saule cendré (*Salix cinerea*) et chèvrefeuille des bois (*Lonicera periclymenum*) avec une abondance de ronces (*Rubus fructicosus*). La strate herbacée comprend du muguet (*Convallaria majalis*), de l'anémone des bois (*Anemone nemorosa*), de l'euphorbe des bois et de la sauge des bois (Teucrium *scrorodonia*).

La série du chêne pédonculé s'étale sur l'ensemble du Bassin parisien dans les contextes atlantique et médio-européen. On différencie trois groupements. La chênaie acidophile où le chêne pédonculé voisine avec la bourdaine et le chèvrefeuille des bois pour la strate arbustive, et des ronces et espèces acidophiles pour la strate herbacée. La chênaie-charmaie mésophile a une apparence plus dense avec un taillis de charmes et noisetiers sous la futaie de chênes. Tilleuls, merisiers, frênes (*Fraxinus excelsior*) et hêtres sont également représentés. La chênaie-frênaie, enfin, se partage entre essences thermophiles et atlantiques. La strate arborée est enrichie par l'érable champêtre (*Acer campestre*), le tilleul, l'orme (*Ulmus* sp.), le merisier et le charme. La strate arbustive est dense et composée d'espèces généralement calcicoles.

La série du hêtre (*Fagus sylvatica*) conclue la catégorie des contextes atlantique et médio-européen. Peu présente dans la partie sud, on l'observe néanmoins en Pays d'Othe où il participe de la chênaie sessiliflore-hêtraie.

La série de l'aulne (*Alnus* sp.) est caractéristique des eaux et des bords d'eaux, soit sous la forme de forêts-galeries assez étroites, soit en occupant plus largement les zones alluvionnaires

du fond des vallées plus larges comme en Bassée. Peupliers (*Populus*), saules blancs (*Salix alba*), frênes et ormes champêtres complètent l'aulnaie-frênaie-ormaie. Le sureau noir (*Sambucus nigra*), la viorne obier (*Viburnum opulus*), le houblon (*Humulus sylvestris*), la cardère velue (*Dipsacus pilosus*) et le cirse des marais (*Cirsium palustre*) composent un sous-bois dense.

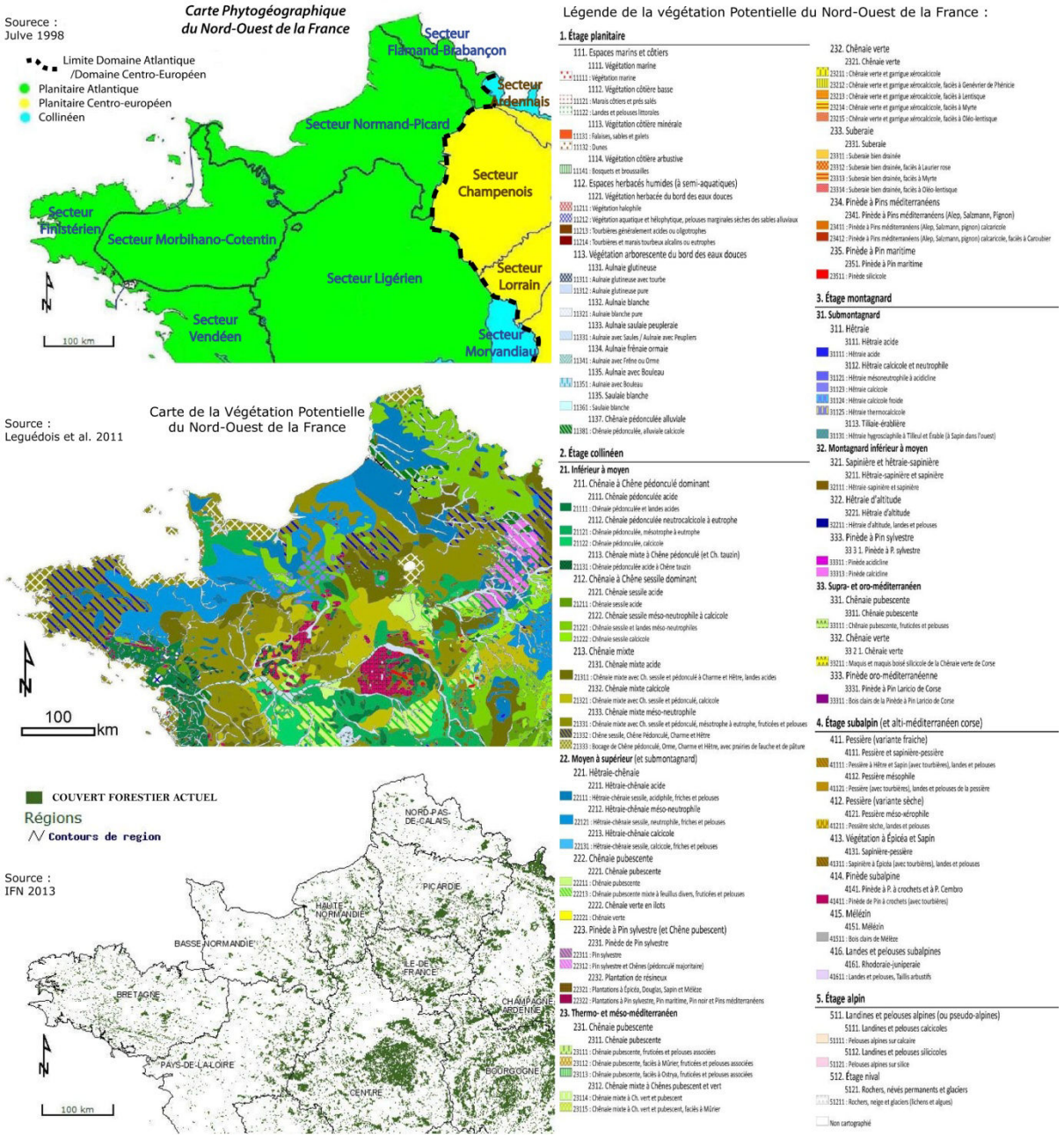


Fig. 5 : Phytogéographie, végétation potentielle, et couvert forestier actuel dans le nord-ouest de la France (Modifié d'après Julve 1998 ; Leguédois et al. 2011 ; IFN ; http://inventaire-forestier.ign.fr/carto/carto/afficherCarto/)

2 - CONTEXTE ARCHEOLOGIQUE DU NORD-OUEST DE LA FRANCE

2.1 - MESOLITHIQUE

Le tout premier Mésolithique de la Bretagne a été envisagé comme « une émersion très progressive des caractères typologiques et techniques du Mésolithique ancien depuis l'Azilien récent » (MARCHAND *et al.* 2004). Ce qui intervient ensuite demeure relativement confus, jusqu'à l'essor du groupe de Bertheaume entre la fin du IXème et le début du VIIIème millénaire avant notre ère, soit au passage d'un Mésolithique ancien à un Mésolithique moyen. Ce groupe nous est connu grâce à l'analyse d'une trentaine de sites, répartis exclusivement sur le département du Finistère. Les auteurs proposent une mobilité relativement importante des groupes humains de l'époque (COSTA & MARCHAND 2006), ou du moins un rapport positif des bénéfices par rapport au coût énergétique de l'approvisionnement en matière première, que ce coût provienne du déplacement des groupes eux-mêmes (approvisionnement direct) ou des échanges plus ou moins amicaux avec des tiers (approvisionnement indirect).

A partir du milieu du VIIème millénaire avant notre ère, le second Mésolithique ou Mésolithique récent et final de l'ouest de la France a été partagé, sur la base du mobilier lithique retrouvé, entre plusieurs entités couvrant des aires géographiques différentes. Quelques données seulement existent dans la Sarthe (BOUJOT *et al.* 1995, MARCHAND 1999). En revanche, de nombreux sites étudiés en Vendée ont permis de définir le Retzien, entité culturelle qui engloberait la Loire-Atlantique et la Vendée mais ne dépasserait pas le Marais poitevin au sud (ROZOY 1978). D'une manière générale, la côte atlantique a livré un bon nombre des gisements datant de cette période, certains sous la forme de gisements de surface tels les sites vendéens de la Pointe du Payré à Jard-sur-Mer et la Guitonnière à Beaufou (JOUSSAUME 1981, MARCHAND 2000a). Le site de La Gilardière à Pornic en Loire-Atlantique, l'un des sites majeurs pour cette culture, a été identifié sur un petit promontoire en sommet de falaise côtière (TESSIER 1984). Plus à l'ouest, le groupe culturel du Téviecien a été créé sur la base de l'étude des collections des iles de Téviec et Hoëdic (ROZOY 1978). On attribue aujourd'hui à ce groupe une aire de répartition couvrant la partie de la péninsule armoricaine allant du golfe du Morbihan au Finistère. Un peu plus tard, le cadre du Mésolithique breton a été renouvelé (KAYSER 1985) à partir des sites de Beg-an-Dorchenn à Ploemeur en Finistère et de Beg-er-Vil à Quiberon dans le Morbihan. Le site de la Pointe Saint-Gildas à Préfailles (Loire-Atlantique), connu et fréquenté depuis le XIXème siècle, a été daté entre la fin du VIIème et le début du VIème millénaire (DUPONT *et al.* 2007).

On constate dans l'ouest un attrait important pour le milieu littoral chez les populations de l'époque (DUPONT *et al.* 2010, GUTIERREZ-ZUGASTI *et al.* 2011). On suppose qu'elles avaient dû adopter un mode alimentaire en grande partie basé sur les produits marins (SCHULTING & RICHARDS 2001) qui s'est traduit par la création d'amas coquilliers à proximité immédiate des sites (DUPONT *et al.* 2007), comme c'est le cas notamment à Beg-er-Vil. Toutefois, d'autres types de ressources ont cependant pu être exploités au cours du reste de l'année et permettre une sédentarité relative. Ainsi, certains auteurs ont avancé l'hypothèse d'échanges entre populations qui, si elles conservent une certaine part de nomadisme à l'échelle d'un territoire usuel, n'en demeurent pas moins assez cloisonnées (MARCHAND 2007, MARCHAND & TSOBGOU AHOUPE 2007).

La prépondérance des sites côtiers dans le Mésolithique breton a par ailleurs été largement battue en brèche suite à d'importantes prospections de surface en Finistère à la fin des années 80 qui ont révélé de nombreux vestiges à l'intérieur des terres (GOULETQUER *et al.* 1996). Une tripartition a depuis été proposée (MARCHAND 1999) entre grandes occupations du littoral, occupations légères du littoral et grands sites de l'intérieur retrouvés à des distances de 15 à 20 km des côtes actuelles. Les premières se marquent par des accumulations de débris coquilliers associées à des structures pérennes. On envisage cependant une occupation d'assez courte durée pour ce type de sites. Les secondes ont été qualifiées de « stations logistiques » à fréquentation ponctuelle et limitée à un objectif précis, tandis que les dernières sont considérées comme des occupations plus longues et répétées s'étendant sur de vastes superficies et généralement situées à proximité de filons de roches complémentaires, induisant par là-même la question d'une certaine sédentarité.

Dans le Bassin parisien, de nombreux sites mésolithiques ont été découverts, présentant des milliers d'outils et d'armatures, essentiellement sur des affleurements sableux tertiaires et des massifs gréseux (HINOUT 1984, ROZOY 1991). A ceux-ci viennent s'ajouter les vestiges du site humide de Noyen-sur-Seine (MORDANT & MORDANT 1989) qui a conservé des restes organiques qui illustrent bien les activités qui étaient celles de ces populations. Ainsi, on peut dire que la pêche à l'anguille et au brochet était pratiquée à l'aide de nasses. La vannerie était donc pratiquée déjà à l'époque, à partir de brins d'osier torsadés, de troène ou de fibres de pin. Une pirogue monoxyle de six mètres de long, taillée dans un tronc de pin sylvestre, a même été retrouvée, attestant de la connaissance par les pêcheurs mésolithiques de la région de ce moyen de locomotion (MORDANT 1987). La chasse aux grands mammifères (cerfs, aurochs, sangliers) n'est cependant pas abandonnée, comme en atteste l'outillage en silex destiné aux activités de dépeçage et de travail des peaux, même si les armatures de flèches paraissent peu nombreuses. On suppose aussi les débuts d'une domestication des bovidés, des suidés, et du loup. Ces premiers occupants du fond de vallée à Noyen étaient donc totalement adaptés à un biotope riche et varié.

Tous ces vestiges ont permis de diviser géographiquement la région entre deux principales aires d'influence culturelle. Au nord de la Seine, le Tardenoisien semble prolonger les industries Ahrensbourgiennes et Tjongeriennes, tandis que le sud de la Seine est intégré au domaine Sauveterrien (HINOUT 1989, ROZOY 1995). Le Mésolithique du Bassin parisien a également été divisé chronologiquement (THEVENIN 1995), en trois étapes correspondant aux trois premières chronozones de l'Holocène, à savoir le Préboréal (10000-9000 BP), le Boréal (9000-8000 BP) et la première partie de l'Atlantique (8000-6500 BP), plus tard nommée Atlantique ancien (MANGERUD *et al.* 1974).

Une autre des informations marquantes qui ont pu être retirées de l'étude des productions lithiques de la période est l'indice de transferts techniques entre les derniers chasseurs-cueilleurs du Mésolithique final et les premiers agriculteurs issus du courant Néolithique danubien(MARCHAND 2000b,2003). Des transferts entre groupes mésolithiques et populations néolithiques, du courant cardial cette fois, ont également été proposés en contexte Mésolithique final sur le site des Essarts (MARCHAND & MANEN 2006). Deux hypothèses symétriques s'affrontent sur l'origine des armatures en question, l'une en attribuant la paternité aux groupes

de chasseurs-cueilleurs mésolithiques qui auraient ensuite transmis ce savoir-faire aux néo-arrivants du Cardial, l'autre proposant l'exact contraire avec une création par les agro-pasteurs du Cardial puis un transfert technique vers les représentants du Mésolithique poitevin.

2.2 - NEOLITHIQUE

Le Néolithique est défini par la naissance de nouvelles techniques d'exploitation des ressources du milieu qui vont faire passer l'humanité d'une économie de prédation à une économie de production. Il se marque ainsi par la domestication de nombreuses espèces animales, diverses selon les régions du globe, mais aussi de plantes à partir de souches sauvages naturellement présentes dans les différents biotopes. Le Néolithique qui atteindra les régions du Nord et de l'Ouest de la France est originaire du Proche-Orient.

Dans les années 1970, sa diffusion vers l'Europe de l'ouest a été considérée comme lente (1 km par an), progressive et linéaire à partir du noyau originel, sur la base d'études de génétique des populations (AMMERMAN & CAVALLI-SFORZA 1971). On estime actuellement qu'il s'est propagé de façon plutôt arythmique (RASSE 2008) et par le biais de deux courants majeurs.

D'un côté, le courant Cardial est associé au domaine méditerranéen et se propage, en l'espace de deux millénaires, depuis les premiers indices de « Néolithique acéramique » de Crête autour de 6800 avant notre ère jusqu'au littoral atlantique de la France vers 5000 BC (MAZURIE DE KEROUALIN 2001,2003).

De l'autre, le courant Rubané ou danubien se diffuse très rapidement mais à partir de 5600 avant notre ère depuis l'Europe centrale, à travers la vaste plaine d'Europe du nord, jusque dans le Bassin parisien qu'il occupera totalement seulement six siècles plus tard (DEMOULE 2007).

Le nord-ouest de la France constitue donc, dans la deuxième moitié du VIème millénaire, un creuset où vont aboutir des individus, des techniques, des idées, des cultures, issus de ces deux courants, et qui vont trouver sur place des populations mésolithiques autochtones.

2.2.1 - NEOLITHIQUE ANCIEN

Dans le Bassin parisien, les premiers signes de néolithisation sont le fait de populations rattachées au courant Rubané (DEMOULE 1984). Elles franchissent le Rhin vers le dernier tiers du VIème millénaire pour s'établir dans l'actuelle Alsace, sous la forme de villages tout à fait semblables à ceux qui caractérisent l'expansion de cette culture depuis l'Europe centrale, composés des maisons longues en terre et bois, toujours orientées est-ouest (DEMOULE 2007). La Lorraine constitue, avec la Champagne, l'étape suivante du processus qui continue ensuite vers le centre du Bassin parisien.

Les grandes vallées est-ouest comme la Marne, l'Aisne ou la Seine sont occupées en premier lieu et vont voir se développer la culture du Rubané Récent du Bassin Parisien (RRBP). S'il présente quelques caractères originaux, ce faciès récent du Rubané demeure sans conteste

apparenté au modèle de la vallée du Rhin (JEUNESSE 1995). Les villages, constitués de 5 à 6 maisons, sont systématiquement implantés le long des principaux cours d'eau sur des terres fertiles car riches en limons de débordement, délaissant les plateaux et emplacements sableux (DEMOULE & VAQUER 1989). L'agriculture se pratique par défrichements sur brulis et à l'herminette. L'amidonnier, l'engrain et le pois sont les trois plantes essentiellement cultivées (MARINVAL 1993). Bovins principalement, mais aussi moutons et porcs, semblent élevés essentiellement pour la viande car abattus jeunes (ARBOGAST 1993, POPLIN *et al.* 1986). La chasse n'est cependant pas négligée, comme en témoignent les nombreuses pointes de flèches retrouvées sur le site de Cuiry-lès-Chaudardes dans l'Aisne, et constitue un apport alimentaire de complément.

Une évolution ultérieure du Rubané du Bassin parisien a été dénommée VSG (Villeneuve-Saint-Germain), du nom d'un site proche de Soissons dans l'Aisne. Ses débuts sont datés de 4950-4900 avant notre ère environ (DUBOULOZ 2003) et sont en continuité directe avec la période précédente, même si l'on note un assouplissement du schéma danubien et une distribution géographique plus large (AUGEREAU & TRESSET 1992, ILETT *et al.* 1995, PRESTREAU & DUHAMEL 1991). Fait important, les villages ne sont plus uniquement établis en fonds de vallées principales mais gagnent dorénavant affluents et plateaux (DEMOULE & VAQUER 1989). Les quelques graines carbonisées retrouvées permettent de remarquer l'addition de l'orge à grain nu, des vesces et des lentilles aux plantes déjà cultivées par les agriculteurs du RRBP (MARINVAL 1993,1995). L'élevage d'animaux domestiques constitue toujours la base de l'alimentation carnée et la chasse demeure secondaire (TRESSET 1996).

Dans sa thèse visant, entre autres, à étudier la répartition spatiale des gisements archéologiques découverts dans une zone d'étude recouvrant toute la région d'interface entre Massif Armoricain et Bassin parisien, soit l'ensemble des régions de Basse-Normandie, Pays de la Loire (à l'exclusion de la Loire-Atlantique) et Poitou-Charentes, Kerdivel (2009) estime que cette première période du Néolithique se distingue par le faible nombre de gisements actuellement mis au jour. Une soixantaine d'entre eux a ainsi été recensée. Il comptabilise dans ce total l'intégralité des gisements, qu'ils soient de type « funéraire » ou de type « non funéraire ». Toutefois, pour illustrer la rareté des sites d'habitats découverts, il rapporte ce chiffre à la durée totale du Néolithique ancien pour obtenir un ratio d'un gisement « non funéraire » par période de 15 ans. Il souligne la grande disparité de leur distribution de part et d'autre de la Loire.

Au nord, les formes de l'occupation domestique du Néolithique ancien sont héritées du courant rubané avec des maisons rectangulaires et modulaires à architecture lourde qui ont essaimé depuis l'Europe centrale jusqu'à l'est du Bassin parisien (KERDIVEL 2009). Des architectures plus légères peuvent être utilisées pour les constructions annexes (CASSEN *et al.* 1998). Le site rubané le plus ancien de l'ouest de la France se situe au Lazzaro à Colombelles (Calvados) (GHESQUIERE *et al.* 2000). Il est attribué à la phase finale du Rubané, datée de 5100 à 4900 BC, ou au BVSG initial, daté 4950 à 4650 BC (DUBOULOZ 2003).

Ainsi, dans l'ouest de la France, une extension d'un BVSG « à cordons » (Blicquy- Villeneuve-Saint-Germain) a été proposée comme étant à l'origine de la colonisation progressive de la péninsule armoricaine entre 4900 et 4700 avant notre ère (MARCIGNY *et al.* 2010). Les sites se retrouvent principalement sur le littoral actuel (PAILLER *et al.* 2008), dans la baie du Mont-Saint-

Michel (GHESQUIERE *et al.* 2001), dans le sud du Finistère (NICOLAS *et al.* 2013, TINEVEZ *et al.* 2006), sur le littoral morbihannais (GUYODO 2001, HAMON 2003) ; mais aussi sur l'arc de contact entre les roches sédimentaires secondaires et tertiaires du Bassin parisien et les roches magmatiques du Massif Armoricain (KERDIVEL 2009). On en note néanmoins ponctuellement au cœur du Massif (11% des gisements) comme en Centre Bretagne avec les sites de Le Dillien et Bellevue (MARCHAND *et al.* 2006, PAILLER *et al.* 2008), dans la région de Rennes avec les sites du Haut Mée à Saint-Etienne-en-Coglès (CASSEN *et al.* 1998) et de Pluvignon à Betton (BLANCHET *et al.* 2007, PAILLER *et al.* 2008).

Cette répartition en semis lâche à l'intérieur des terres en direction de la péninsule bretonne pourrait, selon l'auteur, relever d'une « *prise de contact avec une entité géographique différente de ce dont les populations avaient l'habitude jusque là* » (KERDIVEL 2009). Des incursions ciblées ont par ailleurs pu être « *facilitées par des échanges de connaissances réciproques* » avec les populations autochtones des derniers chasseurs-cueilleurs du Mésolithique armoricain, dont la connaissance des matières lithiques du Massif a été soulignée (MARCHAND 1999, TSOBGOU AHOUPE 2007).

Dans la zone au sud de la Loire, les gisements attribués au Néolithique ancien sont nettement plus rares qu'au nord et seraient plutôt issus d'une extension du courant Cardial qui se serait développée en Centre-Ouest (BURNEZ 1976). Des doutes subsistant néanmoins sur cette attribution, les différents témoins de cette culture ont été rassemblés par certains auteurs sous le terme d'attente NACA pour « Néolithique Ancien Centre Atlantique » (LAPORTE & PICQ 2002), considéré moins affirmatif que le terme « Cardial Atlantique » utilisé par d'autres (ROUSSOT-LARROQUE *et al.* 1987).

Ces deux zones culturelles, réparties de part et d'autre de la Loire, n'ont cependant pas été imperméables l'une à l'autre. On retrouve notamment des points de convergence dans le mobilier céramique (LAPORTE 2005). De plus, la diffusion des bracelets de schistes semble ignorer cette frontière. Ces indices plaident pour l'existence de relations, ou du moins d'échanges matériels, entre ces deux populations. Enfin, si l'appellation générale de Néolithique ancien de l'ouest donne une image assez généralisatrice de cette période, certains auteurs ont souligné de franches ruptures en son sein même (MARCHAND 1999).

La répartition particulière des gisements, entre cœur du Massif apparaissant faiblement occupé d'une part et franges littorales et marge du Massif apparemment plus densément peuplés d'autre part, fait envisager pour ces populations un mode de vie à sédentarité courte avec mobilité logistique (KERDIVEL 2009). Ainsi, « *les populations privilégieraient des environnements favorables à la pratique agricole et riches en ressources lithiques de qualité, tout en s'autorisant des déplacements extensifs dans des terrains apparemment moins favorables, en se distribuant surtout sur le littoral et beaucoup plus ponctuellement au cœur du Massif Armoricain* ».

L'impact environnemental de ces groupes humains apparait alors comme vraisemblablement encore très faible et l'auteur souligne leur dépendance forte au milieu, de par l'observation d'une grande proximité des gisements aux cours d'eau (600m en moyenne). De vastes zones semblent pour l'instant inoccupées par ces populations agricoles (KERDIVEL 2009).

2.2.2 - NEOLITHIQUE MOYEN

2.2.2.1 - Néolithique moyen I

La première phase du Néolithique moyen correspond dans le Bassin parisien au développement à l'est de la culture de Rössen (CONSTANTIN 1989) et à l'ouest des cultures du Cerny, et du Chambon qui vont, soit s'étendre encore plus à l'ouest en direction du Massif Armoricain depuis leurs aires d'origine, soit influer sur les cultures locales.

La culture du Cerny a été définie dans le Bassin parisien (BAILLOUD 1979) puis divisée entre une phase ancienne, le Cerny-Videlles, et un Cerny-Barbuise (LOUBOUTIN & SIMONIN 1997). Elle s'y caractérise par un détachement par rapport aux canons du Rubané, notamment dans le domaine architectural où les grandes maisons rectangulaires sont abandonnées et remplacées par des structures plus légères (MORDANT 1992). L'apparition de constructions monumentales, tant dans la sphère domestique avec de grandes enceintes à vocation probablement défensive que dans la sphère funéraire avec les premiers mégalithes dans le centre du Bassin parisien, semble traduire un certain investissement collectif (DUBOULOZ *et al.* 1989) et possiblement une augmentation des tensions entre groupes humains. La majorité des sites sont implantés en limite d'aires écologiques variées et complémentaires permettant ainsi une meilleure exploitation des ressources de chaque milieu et l'occupation de nouveaux territoires (AUGEREAU & TRESSET 1992). L'utilisation du bétail évolue également, additionnant la pratique du trait et celle de la traite laitière à celle déjà connue de la simple consommation carnée. Les ressources cynégétiques ne sont pour autant pas délaissées, bien au contraire, puisque l'on note une recrudescence de la chasse de cerfs et d'animaux à fourrure (TRESSET 1993,1996). De nouveaux outils, telles faucilles, pioches, bêches et haches, font leur apparition, permettant là aussi d'exploiter des terrains plus diversifiés (DUBOULOZ *et al.* 1989).

Dans l'ouest de la France en revanche, les formes de l'habitat du Cerny semblent plutôt prolonger le Néolithique ancien avec des bâtiments à architecture lourde et de forme trapézoïdale, même si l'on observe toutefois un certain affranchissement vis-à-vis des normes rubanées (GHESQUIERE *et al.* 2003, GUYODO & MENS 2008). En parallèle, des structures isolées volontairement sont retrouvées, comme le four d'Hébécrevon dans la Manche (GHESQUIERE *et al.* 1999, KERDIVEL 2004). Une version plus méridionale de cette culture a été identifiée comme un Cerny-sud (CONSTANTIN 1990,1997). Encore plus à l'ouest, des tessons extraits sur le site de Pen Hoat Salaün à Pleuven en Finistère (NICOLAS *et al.* 2013) ont été présentés comme originaux par rapport au Cerny du Bassin parisien. Les auteurs situent plutôt ce site au passage du Néolithique ancien au Néolithique moyen, faisant transition entre un VSG finissant et un Castellic ancien.

La culture du Chambon a elle aussi été définie, au sud du Bassin parisien (BAILLOUD 1971). Elle est considérée comme l'héritière du VSG récent mais présente des similitudes avec le Cerny. La fréquence des gisements et le contraste créé par l'exubérance décorative de la céramique Chambon tendent à en faire une culture à part entière et pas seulement un faciès du Cerny (IRRIBARIA 2007).

La culture du Castellic est présente durant tout le Néolithique moyen entre Morbihan et Loire-Atlantique. Elle fut observée dès la fin du XIXème siècle lors de la fouille du site de Lann Vras à Carnac dans le Morbihan (GAILLARD 1892,1893) puis, plus tard, définie sur la base de son mobilier céramique (BAILLOUD 1975). Ses débuts, contemporains du Cerny (4600-4400 BC), le placent sur l'ensemble du Néolithique moyen.

A l'interface entre Bassin parisien et Massif Armoricain, le corpus de gisements découverts s'étoffe à partir du Néolithique moyen (indifférencié entre moyen I et moyen II), passant à 304 unités (KERDIVEL 2009). La progression par rapport aux 60 gisements du Néolithique ancien apparait donc très importante, avec une multiplication par 5 des effectifs (ancien : n=60 ; moyen : n=304). L'auteur nuance toutefois cette impression du fait de la surreprésentation des gisements « funéraires » dans le total avec près des deux tiers de l'ensemble (n=195). L'augmentation lui semble alors plus régulière lorsqu'il s'intéresse uniquement aux gisements « non funéraires », avec un doublement des effectifs depuis le Néolithique moyen (ancien : n=57 ; moyen : n=109). Il justifie cette faible part des « non funéraires » dans l'ensemble des gisements par la fugacité des restes d'habitat au Néolithique moyen II. En rapportant ce stock à la durée totale du Néolithique moyen, il obtient le ratio d'un gisement « non funéraire » par période de neuf ans.

2.2.2.2 - Néolithique moyen II

La seconde phase du Néolithique moyen tranche dans l'ouest avec le Néolithique moyen I par le passage à des formes plus ténues d'habitat, rapprochant donc les constructions de la région de celles précédemment observées en Bassin parisien. De ce fait, aucun plan de bâtiment n'a encore été reconnu dans la zone d'interface entre Bassin parisien et Massif Armoricain pour cette période (KERDIVEL 2009). On dénombre malgré tout quelques sites ceinturés dans la région mais ils présentent malheureusement très peu de mobilier datant. Les structures de combustion et les fosses composent la majeure partie des restes « non funéraires » pour cette période. Des épandages de mobilier peuvent aussi être rencontrés traduisant des occupations longues, ou du moins régulières (SCARRE 2001).

Le développement d'un mégalithisme/monumentalisme funéraire comble de nombreuses zones qui seraient vierges de gisements sinon (SCARRE 1983). Leur position haute en majorité (60% des dolmens à couloir, 70% des longs tumulus) semble traduire une autre forme d'occupation de l'espace (KERDIVEL 2009). Ainsi, ils pourraient faire office d'élément structurant du paysage, délimitant ou signalant le territoire d'un groupe humain (RENFREW 1976). Cette hypothèse fonctionne mieux avec les tumulus et dolmens à couloirs qu'avec les dolmens angevins dont la position topographique apparait moins importante .

La majeure partie des gisements recensés se répartissent le long de la marge est du massif armoricain en privilégiant clairement les substrats jurassiques propices aux cultures, tels les limons, les lœss et les sols silico-calcaires bien drainés et meubles (KERDIVEL 2009). Le rôle attractif de la mer est attesté par la concentration de dolmens à couloirs et de longs tumulus en zone littorale. Certains de ces monuments auraient été faits pour être vus depuis la mer, comme c'est le cas à Lorient (LOPEZ-ROMERO GONZALEZ DE LA ALEJA 2008). Cependant, l'analyse des

isotopes stables des ossements du dolmen de Conguel à Quiberon révèlent une alimentation très largement carnée et une faible consommation de ressources marines (SCHULTING 2005). En revanche, des indices de cultures sur brulis retrouvées sous le cairn d'Er Grah à Locmariaquer (GEBHARDT 1990) témoignent d'une pratique agricole adaptée à ces milieux littoraux. Quant aux installations au cœur du Massif Armoricain, elles sont considérées comme toujours ponctuelles et situées à proximité de ressources lithiques exploitables (KERDIVEL 2009).

En définitive, ces populations de l'ouest paraissent toujours relativement mobiles et leurs excursions dans le Massif Armoricain motivées par des raisons d'approvisionnement en matière première ou par des échanges importants (KERDIVEL 2009). L'auteur estime néanmoins que ces groupes humains, à mobilité logistique importante, sont « *ancrés dans un territoire favorable à une mise en culture, anthropisé ou en voie d'anthropisation* ». Ce territoire est marqué par des monuments mégalithiques dont la construction représente un investissement humain apparemment non négligeable qui plaide pour une certaine part de sédentarité, même si d'autres auteurs relativisent cet investissement en estimant que certains de ces monuments « *ne semblaient pas nécessiter un effort si important et pouvaient être construits pendant l'hiver par une vingtaine de personnes* » (JOUSSAUME *et al.* 2006) ou en discutant de la possibilité d'une construction sur le long terme qui n'impliquerait alors pas la nécessité d'une sédentarité (LAPORTE *et al.* 2002).

Tout comme les modes d'occupation du territoire, les cultures présentes durant cette deuxième partie du Néolithique moyen évoluent par rapport à celles qui ont marqué le Néolithique moyen I.

Dans l'ouest, la culture du Chasséen coïncide avec le phénomène mégalithique. De fait, ces monuments représentent alors l'essentiel de la documentation. Elle s'y développe entre 4400 et 3600 avant notre ère. On différencie un Chasséen septentrional en rive droite de la Loire d'un Chasséen d'Auzay en rive gauche (JOUSSAUME 1981).

Dans la partie nord, des influences réciproques sont probables entre Chasséen septentrional et Castellic récent (CHANCEREL & BILLARD 1991).

Au sud, le Chasséen d'Auzay est intégré dans un ensemble plus large nommé NMO pour Néolithique Moyen de l'Ouest. Le terme NMA pour Néolithique Moyen Armoricain est également proposé pour inclure la culture de Castellic à l'ensemble de ces cultures de l'ouest. L'influence du Chasséen septentrional est néanmoins perceptible dans le domaine ligérien (ROUSSEAU 2001).

En Bassin parisien, le Chasséen septentrional est présent dans la région de l'Oise et une partie de la vallée de la Seine (BLANCHET & MARTINEZ 1986, MARTINEZ & DAVID 1991). Il côtoie deux autres ensembles culturels. L'un, dans sa partie est, correspond à une tradition plus orientale nommée culture de Michelsberg qui s'étend sur une bonne partie de l'Allemagne et du Benelux. Il se développe notamment dans le bassin de l'Aisne (DUBOULOZ *et al.* 1986, LE BOLLOCH 1984). L'autre ensemble, dans la zone sud-est du Bassin parisien, relève du groupe de Noyen qui recueille à la fois les influences du Chasséen septentrional et celles du Michelsberg (HENOCQ-POCHINOT & MORDANT 1991, MORDANT 1984b). La vallée de la Marne se situe elle aussi à la confluence de ces deux influences.

D'une façon générale, l'ensemble de la région parisienne est marquée par la construction de nombreuses grandes enceintes, plus hétérogènes dans leurs formes, tailles et fonctions que celles du premier Néolithique moyen (BLANCHET 1989b, DUBOULOZ *et al.* 1991, MORDANT 1989).

Ces fortifications peuvent être implantées en position haute ou basse, le long des plaines alluviales ou sur les plateaux et constituent l'essentiel de l'information archéologique disponible pour la période. Cependant, les formes d'habitat restent difficiles à appréhender, du fait de la rareté des architectures mises au jour, même si l'une d'elles, de faible dimension, a été découverte à Paris-Bercy (LANCHON & MARQUIS 1992). Les vestiges funéraires eux aussi sont rares, ce qui contraste alors fortement avec les constructions mégalithiques de l'ouest de la France. Il semblerait que la fonction symbolique attachée à des monuments dédiés durant la période précédente soit passée dans le domaine domestique. En effet, on retrouve régulièrement des restes humains dans les fossés d'enceintes (DEBUT & MASSET 1991). Différents indices témoignent d'une concrétisation des mutations socio-économiques, déjà amorcées lors de la première partie du Néolithique moyen du Bassin parisien, qui aboutissent à une exploitation plus intense des terroirs. Ainsi, les nombreuses minières à silex illustrent une utilisation plus poussée de la ressource (AUGEREAU & HAMARD 1991).

2.2.3 - NEOLITHIQUE RECENT

Le Néolithique récent se marque dans le Bassin parisien par le recours fréquent à la sépulture collective (THEVENOT & PETREQUIN 1984). L'inhumation individuelle persiste cependant en parallèle mais l'utilisation de caveaux pouvant accueillir plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines, de dépouilles se généralise. Ceux-ci correspondent à des mégalithes ou à des hypogées et le bois semble souvent employé au détriment de la pierre (DUDAY & MASSET 1989). Ces monuments collectifs sont rattachés à la culture de Seine-Oise-Marne (SOM) qui se développe entre 3400 à 2800 avant notre ère. Elle a été définie en Bassin parisien sur la base de ce matériel funéraire (BAILLOUD 1979), ce qui a pu entrainer des ambiguïtés chronologiques du fait de la persistance de ces sépultures collectives au début du Néolithique final (MASSET 1995). Cependant, la distinction d'influences d'origines diverses selon les bassins a plus récemment entrainé une remise en question de l'homogénéité de cette culture (SALANOVA *et al.* 2011). Les fondations de l'habitat sont supposées peu profondes car aucun vestige n'a encore été mis à jour, ce qui semble en continuité avec la période précédente. Toutefois, on note une certaine rupture car les enceintes fortifiées sont pour la plupart abandonnées. L'ultime phase de cette culture voit l'apparition des premiers métaux sous l'impulsion du courant de l'Europe centrale (CAROZZA & MILLE 2007), d'abord sous la forme de menus objets en contexte funéraire considérés comme des biens à forte valeur symbolique.

Entre 3400-3300 et 3100 avant notre ère, d'importants changements interviennent sur le Massif armoricain et s'accompagnent de la construction d'éperons barrés sur la côte du Morbihan à la Vendée, architectures en élévation autour d'espaces d'habitat d'une superficie réduite, allant de 0,5 à 1,5 hectare (BLANCHARD 2012). Un rôle de surveillance et/ou de contrôle des axes fluviaux maritimes est proposé, associé à l'émergence probable d'un trafic important de biens, d'idées ou de personnes. La question se pose alors de savoir si la multiplication de ces sites était, ou pas, due à une plus forte concurrence entre groupes humains.

L'ancrage au sein de l'environnement apparait aussi plus important avec la construction de structures annexes comme les puits-citernes de Mondeville ou les pêcheries de Saint-Jean-le-

Thomas. Le marquage du territoire par des alignements de pierres dressées indique là aussi un contrôle plus affirmé du territoire.

Les groupes culturels présents dans l'ouest de la France au cours du Néolithique récent sont nombreux et divers durant le Néolithique récent. On n'en compte pas moins de six, répartis entre Charente, Poitou, Bretagne et la partie occidentale du Bassin parisien.

La culture de Matignons a été définie à Juillac-le-Coq en Charente (BURNEZ & CASE 1966). Elle s'étend de 3650 à 3400 avant notre ère et est caractérisée par la rareté du décor par rapport au Peu-Richardien. Il a été proposé de l'ancrer dans le Néolithique moyen II (CASSEN 1987) puis dans le Néolithique récent (BOUCHET & BURNEZ 1992). Finalement, l'homogénéité culturelle même de l'ensemble a été contestée (BURNEZ 2006).

La culture du Peu-Richardien a été définie à Thénac en Charente (ESCHASSERIAUX 1882). Elle se développe de 3500 à 2800 avant notre ère et se singularise par la réoccupation de monuments mégalithiques et l'inhumation en fossé d'enceinte (JOUSSAUME 1981). On distingue un Peu-Richardien continental d'un Peu-Richardien maritime (LAPORTE *et al.* 2009). Cette culture succède souvent à celle de Matignons, d'où l'emploi fréquent du terme « cycle Matignon/Peu-Richard ».

Le groupe du Marais poitevin a été individualisé sur la base d'un seul site, l'enceinte de Nieul-sur-l'Autize en Vendée (JOUSSAUME & PAUTREAU 1990). Il apparait à la fin du Matignons et parallèlement au Peu-Richard, groupes avec lesquels des contacts sont très probables.

La culture de Groh-Collé a été définie à Saint-Pierre-Quiberon en Morbihan (L'HELGOUACH 1962) mais son extension a plus tard été étendue au pays de Retz (GUYODO 2001).

Le style du Kerugou a d'abord été défini à Ploemeur en Finistère (L'HELGOUACH 1965) puis concrétisé sous la forme d'un groupe de Kerugou (GIOT *et al.* 1979). Sa présence est attestée jusqu'au sud de la Loire, à Machecoul en Loire-Atlantique. Il débuterait au court du Néolithique récent et se terminerait au Néolithique final aux alentours de 2500 avant notre ère (BLANCHARD 2012).

La culture de Seine-Oise-Marne (SOM) a eu une certaine influence sur l'ouest, même si son aire d'origine est plutôt centrée sur le Bassin parisien. Son unité a été mise à mal par des particularités locales, notamment en Touraine et Berry (AUGEREAU *et al.* 2007, BRUNET *et al.* 2004).

2.2.4 - NEOLITHIQUE FINAL

A partir de 2900 avant notre ère, des changements interviennent une nouvelle fois dans les sociétés de la fin du Néolithique. En Bassin parisien, ces modifications portent sur le développement d'inhumations individuelles sous tumulus et de la métallurgie du cuivre

(GUILAINE & ROUSSOT-LARROQUE 1989). Le terme de Chalcolithique est ainsi fréquemment employé pour qualifier cette période afin de mettre en exergue cette métallurgie naissante.

Le Groupe de Gord, défini à Compiègne dans l'Oise (BLANCHET 1984b), caractérise la charnière entre Néolithique récent et Néolithique final en Bassin parisien. Il s'étend sur la période allant de 2900 à 2500 avant notre ère et son aire de répartition recouvre la partie centrale du Bassin parisien.

A peu près à la même période, le groupe de Deûle-Escault occupe l'extrême nord de la France (SALANOVA *et al.* 2011).

Dans l'ouest, l'hétérogénéité culturelle pour cette période est aussi forte. Le Néolithique final est alors représenté par cinq groupes ou cultures dont une partie est originaire de régions voisines.

La culture du Quessoy a été définie pour rassembler le bagage céramique funéraire du nord et de l'est de la Bretagne sous une même appellation (L'HELGOUACH 1965).

La culture de Conguel a longtemps été considérée comme limitée au littoral morbihannais et même comme la possible œuvre d'un unique groupe de potiers (GIOT *et al.* 1979). Des tessons ont depuis été retrouvés à Pléchatel en Ille-et-Vilaine (TINEVEZ & NICOLAS 2004) et jusqu'en Bassin parisien (BRUNET *et al.* 2004). Elle a été datée par dendrochronologie sur le site de Pléchâtel autour de 2700 avant notre ère (TINEVEZ & NICOLAS 2004).

Le Groupe de Taizé (HEBRAS 1965) est présent en Vendée et Loire-Atlantique et rappellerait le style de Conguel ainsi que le Peu-Richardien ancien par certains aspects (CASSEN 1987,1989). Il couvrirait la période allant de 3200 à 2500 avant notre ère.

La culture de l'Artenacien (BAILLOUD & BURNEZ 1962) a d'abord été considérée comme appartenant au Bronze ancien puis vieillie sur la base de datations ^{14}C (GOMEZ DE SOTO 1973), on considère actuellement qu'elle s'étendrait de 3000 à 2100 avant notre ère. Pour certains auteurs, elle recouvrirait l'ensemble de la France (ROUSSOT-LARROQUE 1984), en assimilant par la même les autres groupes, mais certains caractères spécifiques semblent plutôt la limiter à un grand quart sud-ouest (LAPORTE 1996), s'étendant ainsi sur la façade Atlantique des Pyrénées à la Loire.

La toute fin du Néolithique final voit deux vastes évolutions paneuropéennes recouvrir les multiples aires culturelles précédentes.

Le phénomène Campaniforme tire son nom de la forme particulière de certains vases en cloche renversée ou calice, appelés aussi vases caliciformes. Il établit une sorte de transition sans rupture entre la fin du Néolithique et le début de l'âge du Bronze. Si les hypothèses d'une genèse aux Pays-Bas (BLANCHET 1989b) ou au Portugal (SALANOVA 2004) ont été avancées, il semble en tout cas qu'il aurait rayonné de la Péninsule ibérique jusqu'aux Îles britanniques et

aux Pays-Bas (BRIARD 1996). Il aurait même débordé au sud le cadre européen pour atteindre l'Afrique du nord (CAMPS & GIOT 1960). Toutefois, cette extension sur près de 3000 km de côtes atlantiques ne saurait être assimilée à des entités culturelles uniformes. Une certaine contemporanéité aurait été possible entre Campaniforme et Artenacien (LAPORTE 1996). Le phénomène Campaniforme couvrirait la période allant de 2600 à 2200 avant notre ère. On pense qu'il s'agirait d'un phénomène d'acculturation de populations par introduction du « set céramique campaniforme » sur fond de cultures autochtones du Néolithique final, plutôt que d'une culture distincte (STRAHM 2004). Une association entre l'expansion rapide de ce phénomène culturel et une introduction de la métallurgie a longtemps été supposée mais est aujourd'hui démentie. On estime en effet que la propagation des techniques d'exploitation de certains métaux (cuivre, étain) précède le Campaniforme de près d'un demi-millénaire (CAROZZA & MARCIGNY 2007). Cette culture couvre ainsi l'ensemble de l'ouest de la France mais n'est reconnue en Bassin parisien que par des vestiges fugaces et semble se cantonner aux grandes vallées une fois enfoncé un peu plus à l'intérieur des terres.

Le second mouvement d'ensemble à l'échelle du continent, appelé Groupe des Urnes à Décor Plastique (GUDP), se caractérise par une céramique de type « cordée » et non campaniforme (BLANCHET 1984a,1988). De par cette céramique décorée à la cordelette, il se rattache au complexe de l'est de la France (Lorraine, Alsace, Chalain dans le Jura). Il semble effectuer la transition entre Néolithique récent et Bronze ancien en parallèle du groupe Campaniforme. Pour le Bassin parisien, sa genèse pourrait résulter d'une transformation du Gord ou du SOM sous influence Campaniforme, principalement en Picardie où l'on retrouve la plupart des vestiges de cette culture pour la région.

Concernant la zone d'interface entre Massif Armoricain et Bassin parisien, la période couvrant le Néolithique récent et final a livré le maximum de gisements pour l'ensemble du Néolithique (n=631) et présente un rapport entre gisements « funéraires » (n=150) et « non funéraires » (n=481) plus équilibré qu'à la période précédente (KERDIVEL 2009). En rapportant le nombre de gisements « non funéraires »à la durée totale de ces deux phases du Néolithique, l'auteur obtient le ratio d'un par intervalle de trois ans. Afin de comparer ce ratio à ceux obtenus pour les périodes précédentes il les ramène à un même laps de temps de 30 ans ce qui donne 2 pour le Néolithique ancien, 3 pour le Néolithique moyen et 10 pour le Néolithique récent et final. Il constate donc une envolée du nombre de gisements « non funéraires » entre le début et la fin du Néolithique. Pour appuyer cette impression d'explosion des découvertes pour la fin du Néolithique, il compare les 10 kg de restes retrouvés sur le site Néolithique ancien des Ouchettes aux 1500 kg récupérés sur le site de la fin du Néolithique de Ponthezières.

L'auteur estime dès lors que cette très forte hausse doit vraisemblablement « *être en relation avec les effectifs de populations humaines qui ont produit ces vestiges* ». Il tempère néanmoins ce propos en rappelant les problèmes de chronologie affectant les vestiges de cette période et qui peuvent amener à considérer des restes du début de l'Âge du Bronze comme datant du Néolithique final. Il ajoute que cette augmentation est principalement due au grand nombre de gisements « non funéraires » provenant de la région Centre-Ouest et non pas de la Bretagne ou des Pays de Loire qui intéresseraient davantage notre étude. Il note également que cette croissance serait également plus régulière si l'on intégrait les gisements « funéraires » au décompte. Leur grand nombre pour la phase du Néolithique moyen compenserait le faible

effectif des gisements « non funéraires » caractérisés par leur caractère fugace durant cette période.

Enfin, il juge que l'expansion vers le cœur du Massif armoricain se poursuit, ce qui est indiqué par la densification des gisements dans ces espaces. Il constate donc une certaine homogénéisation des découvertes à l'échelle de la région et propose que cette expansion se soit faite par diffusion en « toile d'araignée » à partir des sites pionniers de la période précédente (KERDIVEL 2009).

2.3 - ÂGE DU BRONZE

Le Bronze ancien de l'ouest s'inscrit dans le cadre plus général d'un Bronze ancien Atlantique (2200-1650 BC), en contact avec un Bronze ancien méditerranéen au sud et un Bronze ancien d'Europe centrale à l'est (BRIARD 1996). Longtemps considéré comme un épi-campaniforme en filiation directe avec le phénomène campaniforme qui avait précédemment touché l'ensemble de la façade Atlantique, il semblerait aujourd'hui que le Bronze ancien Atlantique s'en démarque tout de même, de par l'exploitation de ressources naturelles, de l'ambre, du métal, de par l'échange de produits métalliques manufacturés et la présence d'objets de prestige symboliques de pouvoir, ainsi que par les connexions avec le monde méditerranéen. La parenté entre les cultures de toute cette vaste zone d'interface entre terre et mer, illustrée notamment par le phénomène des tombes « princières du Wessex et d'Armorique, suggère la possibilité de contacts facilités par des voies maritimes reliant Galice, Bretagne, Îles britanniques et Europe du nord (BRIARD 1996).

La production métallique croissante va de pair avec une ascension des élites et l'affirmation d'une hiérarchisation sociale de plus en plus marquée (MORDANT 2008). Ces petits potentats régnant dans le sud de l'Angleterre ou en Bretagne sont enterrés sous de volumineux tumulus accompagnés de riches parures d'ambre, d'or et de bronze ainsi que de leurs armes et parfois même d'un sceptre décoré. Les contacts avec le domaine méditerranéen transitaient probablement par ce que l'on nomme actuellement la trouée de Narbonne qui relie Méditerranée et Golfe de Gascogne via la vallée de l'Aude puis celle de la Garonne.

En Normandie, région relevant également du domaine Atlantique, après une longue occupation néolithique qui a vu la plupart des territoires disponibles être occupés et aménagés, la préparation de la terre dans les zones de population les plus denses a dû prendre les formes d'une agriculture post-forestière, essartage, écobuage, drainage, etc. (MAZOYER & ROUDART 1997). La mise en culture consiste donc davantage en un nettoyage des zones à cultiver que dans la conquête de nouveaux terrains sur la forêt. Le travail de labour s'effectue à l'aide de l'araire, dont les sillons rectilignes avec croisement à angle droit ont vraisemblablement conduit à la forme carrée ou rectangulaire des parcellaires retrouvés pour la période (MARCIGNY & GHESQUIERE 2008). Ce parcellaire constitue une des plus fondamentales innovations de l'âge du Bronze et s'accompagne de l'adoption de techniques nouvelles. Il peut-être délimité par des haies, des buttes ou des fossés. Ces derniers présentent par ailleurs l'avantage d'assurer un meilleur drainage des sols, rendu nécessaire par l'élimination des espèces fortement rétentrices

d'eau qui accroit le ruissellement et contribue à la remontée de la nappe phréatique. L'utilisation de l'araire, connu depuis la fin du Néolithique, ne permettant cependant pas une aération suffisante du sol, une main-d'œuvre importante devait être employée à l'arrière pour casser les mottes et mélanger les terres à l'aide de houes ou de bêches (CAROZZA *et al.* 2009). Ce partitionnement du territoire peut aussi être interprété comme un instrument de mesure, délimitant les zones réservées à la culture ou à la jachère dans le cadre de pratiques d'assolement, ou bien correspondant à une quantité de travail journalier (MENNESSIER-JOUANNET & BUCHSENSCHUTZ 1996). Des apports fertilisants ont aussi vraisemblablement concouru à éviter l'épuisement des terres cultivées. L'usage de fumures animales ou humaines n'était peut-être pas suffisant pour permettre un amendement satisfaisant de l'ensemble des surfaces exploitées. L'épandage de déchets végétaux ou d'herbes-engrais telles l'ortie ou la consoude, de varech en milieu littoral, ont pu permettre un renouvellement des éléments nutritifs, même si l'on manque d'indices archéologiques de ce type de pratiques. L'élevage à l'âge du Bronze dans l'ouest de la France est axé sur quatre espèces domestiquées : le bœuf, le porc, les caprinés (mouton/chèvre) et le cheval. Le cheval est d'ailleurs le seul, avec le chien, a avoir été élevé dans un rôle d'auxiliaire à l'homme et pas uniquement pour sa viande, sa laine ou son lait. On compte par exemple près de 5% de restes de cet animal sur le site de Mondeville en Normandie (CHANCEREL *et al.* 2006). La monte de cet animal, valorisante, est attestée par la présence de mors et de harnachement.

Au Bronze ancien-moyen, le groupe Manche-Mer du Nord (MMN) s'étend jusqu'au milieu du Bassin parisien (GOUGE & PEAKE 2005). Cette phase de l'âge du Bronze se marque par l'apparition de plans circulaires dans l'architecture domestique. Ces maisons rondes de cinq à huit mètres de diamètre, entourées de parois en torchis et surmontées d'une toiture conique, se retrouvent également de l'autre côté de la Manche en Angleterre mais également au Benelux. L'habitat associé y est caractérisé par des fermes isolées, des systèmes de parcellaires et des rites funéraires qui évoluent, à l'inverse de l'Armorique, de monuments dédiés à un individu privilégié vers des cimetières familiaux destinés à un plus grand nombre (CAROZZA *et al.* 2009). Ici, la rupture radicale avec le Néolithique final se fait attendre et le statut de zone non productrice des précieux métaux est perceptible de par la relative rareté des découvertes. Ces objets appartiennent globalement à la catégorie des armes et résultent d'échanges à longue distance avec les régions productrices telles la Bretagne, le sud de l'Angleterre et le nord des Alpes. Si la différenciation sociale parait moindre dans le Bassin parisien, ces échanges contribuent toutefois là aussi à l'émergence d'élites locales.

Au cours du Bronze moyen (1650-1350 BC), la production métallique s'amplifie avec la mise en place de productions en série de haches, bracelets, poignards et jambières (BRIARD 1989, MOHEN & OLIVIER 1989), à la fois dans les régions métallifères et dans celles dépourvues de ressources propres. Cette situation découle de l'augmentation de l'échange de matériaux bruts et du développement d'ateliers régionaux (MORDANT 2008). Cette extension de la production aux régions autrefois destinataires des objets métalliques n'élimine cependant pas les échanges entre les différents pôles culturels et l'Île-de-France, située au centre de ces circuits profite du dynamisme des zones Atlantique et Nord-Alpine.

L'âge du Bronze final (1350-800 BC) est une période contrastée avec des productions matérielles, des structures cultuelles et funéraires, des modes d'occupation du territoire et des densités de populations supposées qui diffèrent, parfois grandement, entre les différentes aires

culturelles et les différentes époques. En effet, dans la production métallique tout d'abord, les objets fabriqués dans le domaine Atlantique se distinguent clairement de ceux conçus en domaine continental de par leur composition chimique (VEBER *et al.* 2003). Cette différence peut s'expliquer par la répartition des sources d'étain et de plomb, l'aire Atlantique étant favorisée à cet égard par rapport à sa rivale. Un autre élément matériel symbolise bien la « frontière » entre ces deux entités culturelles. Il s'agit de la distribution géographique des hair-rings, anneaux dorés retrouvés en contexte funéraire dans la zone atlantique (BILLAND & TALON 2007), qui coupe le Bassin parisien en deux en créant un bloc nord-ouest appartenant pleinement au domaine Atlantique et un bloc sud-est plus largement influencé par les pôles nord-alpin et oriental. Cette limite correspondrait à l'extension vers l'ouest et le littoral de l'aire culturelle nord-alpine durant la deuxième moitié du Bronze final. Elle serait la conséquence d'une croissance démographique au sein de ces populations continentales qui aurait conduit à une surexploitation des plaines du nord des Alpes et entrainé un mouvement de colonisation vers l'ouest entre les XII^{ème} et XI^{ème} siècles avant notre ère, avant de rencontrer la résistance des communautés de la façade atlantique (GOUGE 2008). Cette avancée correspond en tout cas au développement de la culture RSFO (Rhin-Suisse-France Orientale) caractérisée par un style céramique aisément identifiable. Les structures de l'habitat semblent suivre une dynamique de concentration dans le domaine Atlantique et les premiers villages sont reconnus à Cahagnes dans le Calvados (JAHIER 2005), Malleville-sur-le-Bec dans l'Eure (MARE 2005), Choisy-au-Bac dans l'Oise (BLANCHET 1984a) et Osly-Courtil dans l'Aisne (LE GUEN *et al.* 2005). Des sites fortifiés peuvent également être associés, comme dans la vallée de l'Oise (BLANCHET 2001), à la présence d'installations métallurgiques à proximité de la zone « frontière ». En revanche, dans la zone RSFO, l'interrogation subsiste sur le mode d'habitat et l'hypothèse d'une pression sur la terre occasionnée par une densité croissante du peuplement ne peut pas en l'état être confirmée (GOUGE 2008).

Si l'impression d'une montée en puissance régulière et inéluctable semble ressortir de la description des découvertes archéologiques sur l'ensemble de l'âge du Bronze, il convient néanmoins de nuancer cette perception en ne perdant pas de vue que, dans l'ensemble mais aussi dans le détail, ces changements s'avèrent malgré tout arythmiques, a-synchroniques et multipolaires car résultant d'équilibres complexes s'exerçant à l'échelle d'entités culturelles fragiles et exposées à des crises (CAROZZA *et al.* 2009).

3 - DONNEES DISPONIBLES

3.1 - MASSIF ARMORICAIN

3.1.1 - HISTORIQUE DES ETUDES PALYNOLOGIQUES

Dans le Massif armoricain, les premières analyses polliniques ont été menées dans les années 1920-1930 lors des travaux de Erdtman (1924) et Dubois & Dubois (1933) sur des tourbières littorales finistériennes. Il faut ensuite attendre les années 1960 pour que de nouvelles études soient effectuées en Bretagne par Dubois & Sauvage (1963) sur des tourbières littorales et Van Zeist (1963) dans les Monts d'Arrée et les Montagnes noires.

Avec la publication en 1974 de ses résultats obtenus au cours des quinze années précédentes, essentiellement en Finistère mais aussi dans le marais de Dol-de-Bretagne, M.-T. Morzadec-Kerfourn livre une première synthèse accompagnée d'une somme d'informations importante (MORZADEC-KERFOURN 1974). Elle établit alors un cadre qui fera date pour les recherches paléoenvironnementales dans la région. Dans les années 1970, L. Visset et N. Planchais se sont intéressés aux tourbières de Basse-Loire et plus récemment, Voeltzel (1987) a étudié pendant sa thèse les formations de la plaine alluviale de l'estuaire de la Loire.

A début des années 1990, la thèse de D. Marguerie concernant l'évolution de la végétation armoricaine, à partir d'études polliniques et anthracologiques de zones humides et de sites archéologiques (MARGUERIE 1992), est venue enrichir le cadre breton. De même, toutes les thèses menées autour du passage du XX^{ème} au XXI^{ème} siècle sous la direction de L. Visset au laboratoire d'Ecologie et des Paléoenvironnements Atlantiques de Nantes, ont précisé notre perception des dynamiques de la végétation dans les secteurs de la Basse-Loire (CYPRIEN 2001, OUGUERRAM 2002) et de la Mayenne (BARBIER 1999).

Enfin, les analyses effectuées ces dernières années au sein du laboratoire Archéosciences de Rennes (AOUSTIN 2005, GAUDIN 2004, MARGUERIE 2009, OILLIC 2011) ont contribué à étoffer encore un peu plus le corpus de données armoricaines. Celui-ci continue actuellement à être alimenté et des thèses en cours (GANNE en cours, REINBOLD en cours), en plus de la présente, viendront bientôt améliorer notre connaissance de divers aspects de l'évolution des paysages en Bretagne.

3.1.2 - DONNEES SELECTIONNEES

Malheureusement, à partir de l'ensemble de ces travaux, bien peu nombreuses sont les séquences polliniques qui ont pu être intégrées à la démarche suivie dans cette thèse par rapport au nombre total de séquences existantes. En effet, notre méthode d'étude est conditionnée par un nombre minimal de trois datations absolues, non séparées par un/des hiatus entre les échantillons datés, permettant ainsi de proposer un modèle d'âge pour chaque profil. De fait, la quasi-totalité des sondages retenus ici proviennent d'études relativement

récentes (AOUSTIN 2005, BARBIER 1999, CYPRIEN 2001, MARGUERIE 1992,2009, OUGUERRAM 2002, VISSET *et al.* 2005, VISSET & BERNARD 2006). En revanche, celles issues des travaux anciens (VAN ZEIST 1963, VISSET 1979, VOELTZEL 1987), ainsi que des plus récents (GANNE en cours, OILLIC 2011, REINBOLD en cours), n'ont pas pu être utilisées, car les datations manquent encore à cette heure ou bien se retrouvent intercalées avec des hiatus.

3.1.3 - ZONATION POLLINIQUE

Vis-à-vis de la zonation des séquences polliniques, la méthodologie employée pour la plupart des séquences sélectionnées ici se résume en trois étapes, le processus pouvant d'ailleurs ne pas s'étendre à l'ensemble de ces trois étapes.

Dans un premier temps, les analystes établissent des Zones d'Assemblages Polliniques Locales (ZAPL) sur la base de chaque profil pollinique et valables uniquement pour ce profil. Selon Cushing (1963), celles-ci correspondent à « *une famille de sédiments distinguée des couches adjacentes par des différences importantes dans le contenu pollinique issu des plantes contemporaines du dépôt* ». Chez certains auteurs, cette étape peut avoir été effectuée par le truchement de tests statistiques réalisés sur ordinateur (variogrammes, arbres hiérarchiques), tels que ceux décrits par Marguerie (1992).

D. Voetzel crée plus tard un niveau supérieur qu'il qualifie du terme de « *phase écologique* » (VOELTZEL 1987). Il la défini comme résultant « *d'une variation significative apparaissant dans le tracé de la courbe d'au moins un taxon local* ». Elle peut ensuite être divisée en sous-phases, assez comparables alors aux ZAPL d'E.J. Cushing. Ces phases écologiques ne s'appliquent toujours qu'à la séquence pollinique étudiée et ne sont en aucun cas transposables à d'autres profils. Cette partition des diagrammes polliniques en phases et sous-phases écologiques a été reprise par l'ensemble des auteurs qui ont travaillé en Massif armoricain depuis (BARBIER 1999, CYPRIEN 2001, MARGUERIE 1992, OILLIC 2011, OUGUERRAM 2002).

Dans un troisième et dernier temps, les phases écologiques ainsi crées peuvent être, ou pas selon les cas, rattachées à des zonations de référence comme celle établie par Godwin (1940) pour la Grande-Bretagne qui a inspiré celle de Morzadec-Kerfourn (1974) puis celle de Visset (1979) pour la Bretagne. Ce dernier rattachement est cependant employé plus par facilité sémantique que par correspondance stricte avec les évènements décrits dans chacune des ces références car les auteurs précisent clairement que la chronologie des séquences reste avant tout basée sur les datations ^{14}C relatives à chacune d'entre elles.

Dans sa thèse, Oillic (2011) a fait le choix d'ajouter une étape supplémentaire entre les phases écologiques et le rattachement à un cadre général (MANGERUD *et al.* 1974). En effet, il rassemble les phases écologiques propres à chacune de ses séquences polliniques au sein de Zones d'Assemblages Polliniques Régionales (ZAPRs). Il estime alors que « *des assemblages polliniques semblables, enregistrés dans des dynamiques similaires, peuvent être considérés comme contemporains* » et que « *les variations observées dans l'ensemble de ces niveaux révèlent une évolution de l'environnement à une échelle plus large que celle du site* ». Lorsque les correspondances s'avèrent suffisantes entre plusieurs profils polliniques pour effectuer ce

rapprochement, tant au niveau des dynamiques de végétation que de la chronologie de ces dynamiques, les conditions sont pour lui remplies pour la création d'une ZAPR.

Cette nouvelle étape le rapproche ainsi de la méthode employée notamment par Ch. Leroyer en Bassin parisien, en lui permettant par là même de fusionner les deux approches, même si les dénominations employées diffèrent toujours.

3.1.4 - ACQUISITION DU MATERIEL D'ETUDE

La majeure partie des sondages polliniques du Massif armoricain utilisés dans cette thèse proviennent de tourbières continentales et quelques de tourbières maritimes ou de fonds de vallées. Une reconnaissance des épaisseurs sédimentaires et de leur stratigraphie en divers points du milieu de dépôt est préalablement effectuée à la tarière de pédologue afin de déterminer la position du sondage à effectuer.

Des sondes manuelles, tel le carottier soviétique de type « GIK » (BELOKUPITOV & BERESNEVITCH 1955), ont généralement été utilisées pour extraire le sédiment. Ce carottier est constitué d'un demi-cylindre de 45 cm de longueur pour 10 cm de diamètre. Il permet d'éviter le tassement des sédiments prélevés ainsi que toute contamination par des pollens de niveaux différents.

Lorsque l'épaisseur de sédiment s'avère faible ou bien que celui-ci est difficile d'accès, c'est un carottier manuel de plus petites dimensions (50 cm de longueur pour 5 cm de diamètre) qui est utilisé. A l'inverse, lorsque la profondeur à atteindre est plus importante (supérieure à 1,50 mètre), un système motorisé par un compresseur hydraulique, mis au point au Laboratoire d'écologie et des paléoenvironnements atlantiques de Nantes (VISSET & HAURAY 1980,1988), actionnant un treuil permettant d'enfoncer puis de retirer le carottier, a permis de pénétrer plus profondément dans le sol.

Quelque soit le modèle de carottier utilisé, lors d'un prélèvement par carottes successives (de 45 cm ou 90 cm), la pointe du carottier engendre une perturbation des vingt premiers centimètres du prélèvement suivant. Afin de limiter ces perturbations, deux sondages sont effectués en parallèle à peu de distance l'un de l'autre, permettant ainsi de réaliser des carottes en alternance à des profondeurs décalées.

Les séquences sédimentaires ainsi récoltées sont ensuite protégées dans des gaines de PVC et emballées sous film plastique.

Sur site archéologique, la démarche diffère du fait de la possibilité de prélever directement le sédiment sur des coupes fraichement dégagées et ravivées afin d'éliminer toute pollution par la pluie pollinique actuelle. L'échantillonnage peut se faire à vue en prenant en compte la stratigraphie directement visible en coupe. Le tout est ensuite conditionné sous film plastique.

Dans le cas de tourbières littorales, la compaction importante et les passées sableuses contraignent à l'emploi de tubes PVC de fort diamètre (10 cm), enfoncés dans le sédiment à coups de marteau à la faveur de la marée basse (MARGUERIE 1992).

3.1.5 - PARTICULARITES DES MILIEUX DE DEPOT

Les marais maritimes se forment en retrait des dunes littorales du fait du barrage que celles-ci génèrent pour les cours d'eau. Les dépressions d'arrière-dune constituent donc des milieux humides favorables à la constitution de tourbières plus ou moins halophiles suivant la salinité plus ou moins affirmée de la zone. Les contacts avec la mer n'ayant lieu que lors des très fortes marées, l'eau n'y est généralement que peu saumâtre.

Les tourbières fossiles des estrans du littoral armoricain résultent de l'immersion de ces anciens marais à sédimentation organique, parfois tourbeuse, suite à la remontée du niveau marin au cours de l'Holocène (MORZADEC-KERFOURN 1974). Une partie des sédiments argilo-tourbeux a pu résister à l'érosion marine et s'est retrouvée enfouie sous le sable des plages actuelles.

Il parait évident que les analyses polliniques de ces zones humides littorales sont influencées par la proximité du milieu marin et ce facteur doit être pris en compte dans les reconstitutions paysagères. Il n'en demeure pas moins que le pollen des secteurs avoisinants vient lui aussi se déposer à leur surface, fournissant ainsi une image de la végétation de la zone qui ne peut être négligée, particulièrement lorsque les zones humides propices aux dépôts organiques font défaut plus à l'intérieur du continent.

Les tourbières continentales ont besoin de deux facteurs pour se développer, une zone constamment inondée et une production de matière organique supérieure à la décomposition (MARGUERIE 1992). Pour cela, l'évapotranspiration doit être inférieure à l'alimentation en eau la circulation de celle-ci extrêmement ralentie, et le marais doit être colonisé par des végétaux hygrophiles comme les sphaignes (*Sphagnum*), de grands hélophytes (*Typha*, *Phragmites*) et la bruyère des marais (*Erica tetralix*). Dans le Massif armoricain, ces conditions sont souvent remplies du fait de l'humidité importante du climat et de l'imperméabilité du substrat géologique.

On différencie tourbières de bas-marais (topogènes) et tourbières de haut-marais (ombrogènes) de par leur position topographique, de laquelle résulte l'origine de leur apport hydrique. Les premières sont situées en fonds de vallées et voient les eaux de ruissellement leur procurer l'humidité suffisante. Les secondes se développent indépendamment de la topographie grâce aux eaux de pluie.

L'évolution naturelle d'une tourbière la conduit à son comblement par les couches successives de végétation non dégradée qui s'accumulent jusqu'à leur assèchement une fois dépassé le niveau de la nappe phréatique. Des espèces de moins en moins hydrophiles prennent alors le relais, finissant elles-mêmes par laisser la place à un taillis humide composé d'aulnes, de saules et de bouleaux, marquant ainsi la fin du cycle de tourbification et donc la mort de la tourbière.

L'homme peut venir perturber ce cycle en drainant ou en plantant des arbres à proximité immédiate des zones marécageuses ce qui entraine l'assèchement de la tourbière et donc sa fin, parfois même des incendies. A l'inverse, s'il extrait de la tourbe, il lui procure un nouveau départ en abaissant son niveau relatif par rapport à la nappe phréatique.

Qu'elles se forment en milieu littoral ou continental, les tourbières ont donc une évolution qui peut s'avérer mouvementée. Les perturbations peuvent être d'origine naturelle (transgressions, assèchements, incendies, érosion) ou anthropique (drainage, incendies, exploitation), il n'en résulte pas moins qu'elles se marquent parfois clairement dans les sondages par des hiatus sédimentaires ou, du moins, par des changements de types de dépôts (passées sableuses ou argileuses, couches carbonisées). Une fois cet aspect pris en compte, ces milieux présentent l'avantage de fournir des séquences généralement continues qui peuvent renseigner une bonne partie de l'Holocène. De plus, la présence de restes végétaux organiques permet de procéder relativement aisément à des datations ^{14}C.

3.2 - BASSIN PARISIEN

3.2.1 - HISTORIQUE DES ETUDES PALYNOLOGIQUES

Les premières analyses polliniques du Bassin parisien, au sens large, datent des années 1920-1930 avec les travaux précurseurs de Georges et Camille Dubois sur une tourbière de Lille tout d'abord (DUBOIS 1924) puis en région parisienne (DUBOIS & DUBOIS 1934,1937a,b). Ils posent alors les premiers jalons d'une histoire de la végétation du Bassin parisien en rattachant les phases forestières qu'ils observent aux périodes de Blytt et Sernander. Cependant, seuls les arbres sont pris en compte et la strate herbacée n'est pas décrite.

Après une interruption due à la seconde guerre mondiale, les études reprennent. Durant les années 1950-1960, des synthèses voient le jour concernant la « cuvette parisienne », les Ardennes, la Normandie, le Nord (DUBOIS & SAUVAGE 1960, DUBOIS 1964, ELHAÏ 1959,1960, JALUT 1966,1967, NILSSON 1960, SAUVAGE 1954). Elles se basent généralement sur une méthodologie consistant, en l'absence ou la quasi-absence de datations absolues, à attribuer à des zonations locales ou régionales des limites chronologiques correspondant à celles de zonations de référence, telles celles d'Iversen (1954) ou de Godwin (1956). Cependant, la distance géographique entre les lieux de définition de ces zonations de référence et le Bassin parisien amène souvent les auteurs à composer avec des divergences de flore, mais aussi de chronologie des changements de végétation.

Avec la multiplication des datations radiométriques à partir des années 1970, ce système commence à montrer ses limites et cède petit à petit la place à un nouveau paradigme dont la mise en place s'est faite progressivement. L'accent y est plutôt mis sur la définition d'un emboîtement hiérarchique d'assemblages polliniques locaux puis régionaux. La chronologie est autant que possible assurée par des datations ^{14}C, remplaçant ainsi le recours aux limites de référence. La synthèse publiée par Van Zeist & Van der Spoel-Walvius (1980a) sur l'ensemble du « Bassin de Paris » est emblématique du passage à cette nouvelle méthodologie, avec l'établissement d'une zonation régionale calée par vingt datations radiocarbone. Au cours des années 1990, les travaux de Leroyer (1995,1996a,b,1998) et Leroyer *et al.* (1997) ont largement contribué à préciser la zonation régionale du centre du Bassin parisien. Ils bénéficient de l'essor

de l'archéologie préventive qui a entrainé la réalisation d'une quantité importante de nouveaux sondages dans les paléochenaux de la région. Cette masse importante de données nouvelles a été synthétisée dans le cadre d'une histoire de la végétation du Bassin parisien dont la chronologie repose sur près de 200 datations ^{14}C (LEROYER 1997). Les travaux se poursuivent au cours des années 2000 avec les analyses de Boulen (2010,2011) dans l'Aisne et le Nord, et la continuation des recherches entreprises par Ch. Leroyer, généralement en collaboration avec G. Allenet de Ribemont en palynologie (LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006b), ainsi que d'autres spécialistes pour les approches transdisciplinaires (COUTARD *et al.* 2010, LE JEUNE *et al.* 2012, PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2002a, PASTRE *et al.* 2003).

3.2.2 - DONNEES SELECTIONNEES

Du fait du cadre géographique et de la méthodologie employée dans cette thèse, avec les contraintes en termes de datations qu'elle sous-tend, les travaux réalisés avant les années 1990 n'ont pas pu être intégrés à notre étude. C'est donc quasiment exclusivement sur la base des séquences polliniques rassemblées par Leroyer (1997) qu'a porté notre étude. Une large majorité d'entre elles a par ailleurs été exclue de nos reconstructions du fait d'un nombre insuffisant de datations de part et d'autre des hiatus mis en évidence. Les quelques autres profils polliniques utilisés sont issus de travaux qu'elle a réalisé depuis.

3.2.3 - ZONATION POLLINIQUE

La démarche employée dans la mise en place de la zonation pollinique du Bassin parisien comporte trois étapes (LEROYER 1997).

La première consiste en l'individualisation de Zones d'Assemblages Polliniques Locales (ZAPLs). Sur la base de travaux antérieurs (CUSHING 1963, HEDBERG 1976, WATTS 1970), elle définit celles-ci comme correspondant « *à un groupe d'échantillons qui se distingue des niveaux adjacents par des variations significatives (qualitatives ou quantitatives) d'au moins deux taxons majeurs d'un point de vue écologique ou dynamique* ». A l'intérieur d'une ZAPL, des « *sous-zones* » peuvent marquer des variations de plus faible amplitude. A ce niveau, zones et sous-zones n'ont encore qu'une portée limitée au seul profil pollinique pour lequel elles ont été établies.

Dans la seconde étape, les ZAPLs de plusieurs séquences polliniques sont confrontées entre elles dans le but d'évaluer la pertinence d'un regroupement sous la forme de Zones d'Assemblages Polliniques Régionales (ZAPRs). Ainsi, elle considère que lorsque « *des assemblages similaires sont rencontrés, on peut penser qu'ils ont une signification plus large que la seule évolution de la végétation en un point donné* ». La mise en place de ces ZAPRs valables pour tout le centre du Bassin parisien a dans certains cas nécessité d'établir préalablement des zones « *micro-régionales* », chacune d'elles demeurant relative au seul bassin alluvial d'un des affluents de la Seine.

Enfin, lors de la troisième étape, les ZAPRs du Bassin parisien sont rapportées aux chronozones du Tardi-et-Postglaciaire établies par Mangerud *et al.* (1974). Pour définir une chronologie des ZAPRs, elle distingue des « *dates directes* » obtenues sur la base de matériel extrait des profils polliniques eux-mêmes, et des « *dates indirectes* » obtenues sur « *des couches étudiées mais sur d'autres profils* » auxquelles elle accorde donc moins de crédit.

3.2.4 - ACQUISITION DU MATERIEL D'ETUDE

Sur le terrain, les prélèvements sédimentaires ont, pour une large majorité des profils polliniques sélectionnés, été effectués dans le cadre de travaux d'archéologie préventive liés à l'urbanisation ou aux extractions de matériaux. Une démarche pluridisciplinaire, nécessitant de nombreux entretiens et examens avec des géomorphologues et archéologues, a été mise en place systématiquement. Elle se traduit sur le terrain par un dégagement de longues coupes ou bien par la réalisation de transects de tarièrages mécaniques perpendiculairement à l'axe du cours d'eau. Cette reconnaissance du terrain sous plusieurs éclairages a ainsi permis de déterminer la géométrie des dépôts sédimentaires afin de cibler les formations à analyser.

Lorsque le rabattement de la nappe phréatique permettait l'accès aux sédiments, l'échantillonnage a été effectué sur des coupes dégagées par prélèvements successifs de blocs d'environ 20 cm de haut et l'équivalent de large sur 10 cm de profondeur. Ces blocs sont extraits le long d'une colonne de longueur variable, dépendante de l'épaisseur de la couche sédimentaire que l'on souhaite analyser.

Dans les cas ou l'accès direct aux sédiments n'était pas possible, la géométrie des dépôts a été envisagée par le biais de multiples tarièrages le long de transects afin de déterminer le nombre de carottages et les meilleurs points de prélèvement. Les sondages destinés à l'analyse pollinique ont ensuite été extraits avec une sondeuse sur chenilles de type Sédidrill 140, équipée d'un carottier à paroi mince (CPM) ou d'un carottier à piston stationnaire (CPS), jusqu'à ce que la nappe graveleuse alluviale, et parfois même le substrat, soit atteinte. Les sédiments sont ensuite conditionnés dans des tubes polyéthylène (PVC).

3.2.5 - PARTICULARITES DES MILIEUX DE DEPOT

Les séquences polliniques regroupées ici sont généralement issues de paléochenaux principaux et secondaires, ainsi que d'anciennes zones palustres développées en marge des paléoécoulements (PASTRE *et al.* 2002b).

Les cours d'eau principaux du Bassin parisien se caractérisent par le déplacement latéral de leur lit au fil du temps, du fait de leur écoulement en méandres. En effet, un fort débit provoque une sinuosité importante du lit du fait de l'érosion de la rive située sur la partie extérieure du méandre. Cette érosion est causée par la force centrifuge subie par l'eau lors du passage du virage formé par le méandre. Le courant à la corde étant moins rapide qu'à l'extérieur car la distance à parcourir y est moindre, le cours d'eau érode les berges extérieures et dépose des

sédiments sur la rive intérieure. Il creuse ainsi un nouveau chenal et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un phénomène d'avulsion se produise, c'est-à-dire que les deux extrémités de la boucle se rejoignent, recoupant ainsi le méandre. Un transect réalisé à partir de la rive intérieure d'un méandre permet donc de reconstituer l'histoire des dépôts sédimentaires au cours d'un cycle de méandrisation/avulsion, en déterminant les positions relatives des paléochenaux successifs constitués de couches sédimentaires d'époques différentes.

Si l'on observe l'évolution de la sédimentation en un point au cours du cycle, on constate que les dépôts sont organisés selon une séquence particulière qui tient à l'évolution de sa position par rapport au lit principal. Ainsi, à l'érosion initiale succède une première phase de dépôts sédimentaires grossiers, des galets aux sables fins en passant par les graviers et sables grossiers. Au fur et à mesure de la déconnection d'avec les apports alluviaux longitudinaux (CHAUSSE *et al.* 2008), ces milieux sont généralement d'abord remblayés par des argiles plus ou moins organiques puis par des tourbes. Ces dernières peuvent fonctionner un certain temps car ces zones restent souvent, aujourd'hui encore, alimentées par les aquifères fluviaux qui maintiennent des conditions humides propices à la conservation du pollen piégé dans ces dépôts. Pour finir, des nappes de limons de débordement résultant de crues ponctuelles peuvent venir recouvrir le tout.

Du fait de l'étalement horizontal des dépôts, on aboutit dans ces contextes particuliers à des séquences fractionnées qui, si on les réassemble bouts à bouts, permettent néanmoins de reconstituer tout ou partie de l'Holocène. Cependant, la probabilité de faire face à des hiatus sédimentaires reste grande au passage d'un paléochenal à l'autre et, dans une moindre mesure, à l'intérieur même d'une séquence. L'analyste pollinique doit donc demeurer très attentif à ce problème qui, cela dit, s'avère récurrent dans la plupart des milieux de dépôt continentaux, et même parfois océaniques.

Les cours d'eau secondaires sont quant à eux caractérisés par un mode de sédimentation plus commun. En effet, leur débit moindre n'entraine pas, ou peu, de divagation du lit et la succession des couches s'observe donc, plus classiquement, sur la verticale (PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2002a, PASTRE *et al.* 2003). Un unique carottage permet donc de renseigner l'ensemble de la période de déposition du matériel. Toutefois, ces contextes ont l'inconvénient de ne présenter qu'un taux de sédimentation généralement faible, ne permettant donc pas d'observer les évolutions de l'environnement avec une bonne résolution temporelle, contrairement aux séquences certes fractionnées mais également plus dilatées des cours d'eau principaux.

Trois profils polliniques utilisés ici proviennent de mardelles. Ces mares intra-forestières de dimensions très modestes (à peine quelques mètres de diamètre) et dont l'origine de la formation semble anthropique (ETIENNE *et al.* 2010, ETIENNE 2011, ETIENNE *et al.* 2011, ETIENNE *et al.* 2013) fonctionnent sur le plan de la dynamique sédimentaire de la même façon que des tourbières continentales classiques.

DEUXIEME PARTIE : Evolution du couvert végétal du Nord-Ouest de la France

1 - EVOLUTION DU COUVERT VEGETAL DU BASSIN PARISIEN

1.1 - CHRONOLOGIE DES SEQUENCES POLLINIQUES DU BASSIN PARISIEN

Le cadre chronologique de la zonation pollinique du Bassin parisien a été établi par Leroyer (1997) et Leroyer (2006b) sur la base de près de deux cents datations radiocarbone, complétées par des données chronologiques issues de multiples approches (datations radiocarbone, datations dendrochronologiques, corrélation avec le mobilier archéologique retrouvé dans des couches sédimentaires liées aux analyses polliniques). Dans ces travaux, la fixation de bornes temporelles absolues pour les palynozones successives du Tardiglaciaire et de l'Holocène est obtenue par une méthode courante de compilation et examen critique des données. Clairement argumentées, les valeurs ainsi obtenues pour les limites de Zones d'Assemblage Pollinique Régionales (ZAPRs) n'en demeurent pas moins le résultat d'une évaluation subjective de l'auteur à partir des informations dont il dispose. De plus, ces bornes sont dépourvues d'une marge d'erreur qui permettrait d'estimer la plage d'incertitude associée avec chaque transition entre deux palynozones. Bien que sous-entendues, ces marges d'erreurs ne peuvent ainsi pas être comparées entre les différentes transitions. Les bornes chronologiques des périodes les plus anciennes et les moins bien datées apparaissent alors, à tort, tout aussi précises que celles plus récentes et mieux datées.

C'est dans le but de répondre à ces différents problèmes d'ordre chronologique que nous avons réalisé une analyse statistique des données radiocarbone renseignant l'histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène du Bassin parisien. L'établissement d'un modèle hiérarchique Bayésien incluant l'ensemble des datations ^{14}C disponibles pour notre zone d'étude nous a permis de redéfinir un cadre chronologique absolu pour ces palynozones.

La méthode employée, les résultats obtenus, leur portée et leur cohérence globale sont décrits en 1.1.1.

Les valeurs ainsi obtenues ont ensuite été utilisées pour réaliser des modèles d'âge propres à chaque séquence pollinique intégrée à la modélisation du couvert végétal. Les modèles d'âges ont été calculés au travers de différents programmes, RenCurve v08/2011 (LANOS 2004) et CLAM v1.0.2 (BLAAUW 2010), en fonction du nombre de datations disponibles pour chaque profil pollinique. Ces programmes permettent d'interpoler entre les profondeurs datées afin d'obtenir une date, et son incertitude associée, pour chaque profondeur correspondant à une analyse pollinique. Les hypothèses associées avec les différents modes d'interpolation sont cependant différentes selon le programme et le type d'interpolation utilisée. Les choix effectués par rapport à la construction des modèles d'âge et leurs conséquences sur la chronologie des séquences polliniques du Bassin parisien sont détaillés en 1.1.2.

Constraining the age of Holocene pollen zones of the Paris basin with Bayesian probability methods

David Rémi, Leroyer Chantal, Lanos Philippe, Dufresne Philippe, Allenet de Ribemont Gisèle

(Article à soumettre)

Abstract

The geographical and temporal scales of vegetational changes, summarized within pollen zones, are key informations for paleoenvironmental studies. Numerous methods have been developed since decades which allowed to assess the spatial and temporal ranges of pollen features observed within sedimentary sequences. Here, we introduce a new approach which enables us to chronologically constrain the transitions between the Holocene pollen zones from the central-eastern Paris Basin. Different kinds of chronological data are grouped within a Bayesian hierarchical model implemented with the RenDateModel software (LANOS & DUFRESNE 2012). Prior informations, from both absolute (radiocarbon measurements) and relative (stratigraphical relationships and pollen zones) chronological data, were combined in order to obtain posterior distributions related to the ages of the different hierarchical levels of the model (individual dates, Facts, Phases, transitions between Phases).

Thus, estimated ages for each transition between successive Regional Pollen Assemblage Zones (RPAZs) are provided and their durations vary from 187 to 407 years during the Holocene with a mean of 290 years. Only 10.4% of the radiocarbon measurements are considered as outliers regarding to the prior assumptions, which means that 89.6% of the radiocarbon measurements fit with the pollen stratigraphy. Finally, we can reasonably conclude that the prior assumption that the strictly successive chronological ordering of the pollen samples, through their characteristic regional assemblages within the vegetation history of the central-eastern Paris Basin, does not mismatch with the available radiocarbon data.

Introduction

The concept of pollen zone dates from the early twentieth century and has undergone significant changes over the last century. In 1841, J. Streenstrup was the first to apply the principle of biostratigraphy on macro-fossils from Danish bogs, in order to establish subdivisions within the postglacial period. Later, Blytt (1876) introduced the terms Boreal, Atlantic, Subboreal and Subatlantic for describing plant communities of the Norwegian contemporary flora. Then, Sernander (1889,1894) (1889, 1894) reemployed this nomenclature, but in a rather stratigraphical sense than geographical, in order to name the major periods of the Holocene that he correlated to large variations in climate since the last glacial period. Pollen zones performed by von Post (1916,1925) will be followed by many other palynologists, especially in Scandinavia, such as Jessen (1935,1938) in Denmark, Nilsson (1935) in Sweden or Faegri (1935,1940) in Norway. Thus, relying on the assumption that pollen features observed within different areas corresponded to synchronous events, pollen analysts began to correlate pollen zones from different regions between them. Then, the majority of the palynologists adopted this methodology and established correlations between pollen zones observed within more and more distant regions from the Scandinavian starting area (FIRBAS 1949,1954, GODWIN 1956). The direct use of the Blytt and Sernander's terms, instead of numbered regional pollen zones, led to an increased confusion. From the 1970s, criticisms rose up against what became a combination of biostratigraphical, chronostratigraphical and climatostratigraphical classifications. Based on the data synthesis of a large number of European radiocarbon datings related to these disciplines, Mangerud *et al.* (1974) proposed an overall continental framework for the Holocene by establishing successive chronozones, distinct from the multiple regional biostratigraphical or climatostratigraphical zones. However, the development of radiocarbon datings in palaeoenvironmental studies led an increasing number of palynologists, as Huntley and Birks (1983), to question the theory of synchronous migrations and expansions of different plant taxa within distinct regions of the continent.

Thus, the issue of determining the geographical and temporal scales of these vegetational changes have been the subject of an increasing interest.

In order to determine and constrain their absolute chronologies, different methods have been employed. Many authors used quantitative methods based on dating informations collected from numerous sites within more or less extended areas. Thus, the simplest way to study these chronologies appeared to be the compilation of all available radiocarbon measurements concerning the pollen features supposed to be associated with past vegetation changes (SMITH & PILCHER 1973). Another method consists in summing the Probability Density Functions (PDFs), associated with the dates and their uncertainties, in order to identify resulting modes which are supposed to correspond to transition periods (GAJEWSKI *et al.* 2006, HOEK 1997, VIAU *et al.* 2002). Summing only the PDFs of dates related to a single pollen feature can also be a slightly different option (PARKER *et al.* 2002) and Bayesian softwares such as Oxcal (BRONK RAMSEY 2008,2009) can provide new insights on the chronological limits of such events.

In spite of these different quantitative methods, some authors preferred to compare carefully selected sequences, generally well dated by means of multiple dating proxies, and thus considered as reference cores. Radiocarbon measurements are still the most common source of chronological information encountered in that type of studies. Thus, the establishment of age-

depth models for high-resolution dated cores can provide relatively precise time intervals to all the depths of the sedimentary sequences. Then, it allows estimating the range of the age of previously non-dated Local Pollen Assemblage Zones (LPAZs) within a single pollen diagram (WOHLFARTH *et al.* 2006) or of different pollen features within multiple cores (PARNELL *et al.* 2008). Additional chronological information may come from varve counting (LITT *et al.* 2001, WOHLFARTH 1996) which gives precise durations of the time intervals between successive events. Finally, statistical processes can be employed to assess the degree of synchroneity between supposedly simultaneous events recorded by different proxies within different locations (BLAAUW *et al.* 2009, PARNELL *et al.* 2008).

If the establishment of such chronologies does not appear to be an obvious task, the accurate determination of the geographical scale of the areas where these chronologies are relevant is also often problematic. Thus, if Viau *et al.* (2002) identified "changes in vegetation communities across all of North America" and Gajewski *et al.* (2006) argued that "major transitions in the vegetation, as recorded in the pollen diagrams, appear synchronous across the European continent" and also "synchronous with those identified in north America", such long-distance correlations are questioned by other authors (BLAAUW *et al.* 2009) or simply denied concerning some pollen features (PARNELL *et al.* 2008). At the lower scale of a European country, or of a few neighbouring countries, the synchronisation of events still depends on the event studied. Parker *et al.* (2002) and Smith and Pilcher (1973) both considered the Elm decline as synchronous across the British Isles but the last authors deemed diachronous the other vegetation changes recorded in pollen diagrams for the same area. Litt *et al.* (2001) found that "biotic and abiotic parameters respond abruptly and quasi-synchronously, within the errors of the different chronologies, during the Younger Dryas/Preboreal transition" from western Germany to eastern Poland. Wohlfarth (1996) explained the delay concerning this same transition within pollen diagrams between Polish and German lakes in one hand and a Swiss lake in the other hand by a difference in "how a pollen zone boundary is defined". The smaller scale of a few hundred kilometres wide, like the Netherlands (HOEK 1997) or of the southern Sweden (WOHLFARTH *et al.* 2006) seems to be considered as a relevant area for estimating regional vegetation development. Nevertheless, Smith and Pilcher (1973) warned against the "dangers of using ^{14}C dates from different sites" due to "the differences in date of similar features within a relatively small area" illustrated by the difference between dates obtained for the *Alnus* rational limits at two sites located 6 km apart. They finally proposed to "define the limits of a region in which the history of the vegetation has been uniform" by the "examination of a number of ^{14}C dated diagrams from an area".

In this study, we aim to statistically constrain the chronology of the transitions between Regional Pollen Assemblage Zones (RPAZs) from the central-eastern Paris Basin area, by means of Bayesian probability methods.

We firstly describe the palynological dataset and the vegetation history of the study area. Then, we detail the chronological dataset and the Bayesian framework used to define the transition periods between RPAZs. Finally, we present the results obtained through this methodology and then discuss them in spite of their associated uncertainties and of comparable results from the literature.

I - Material

A) Pollen-analytical studies

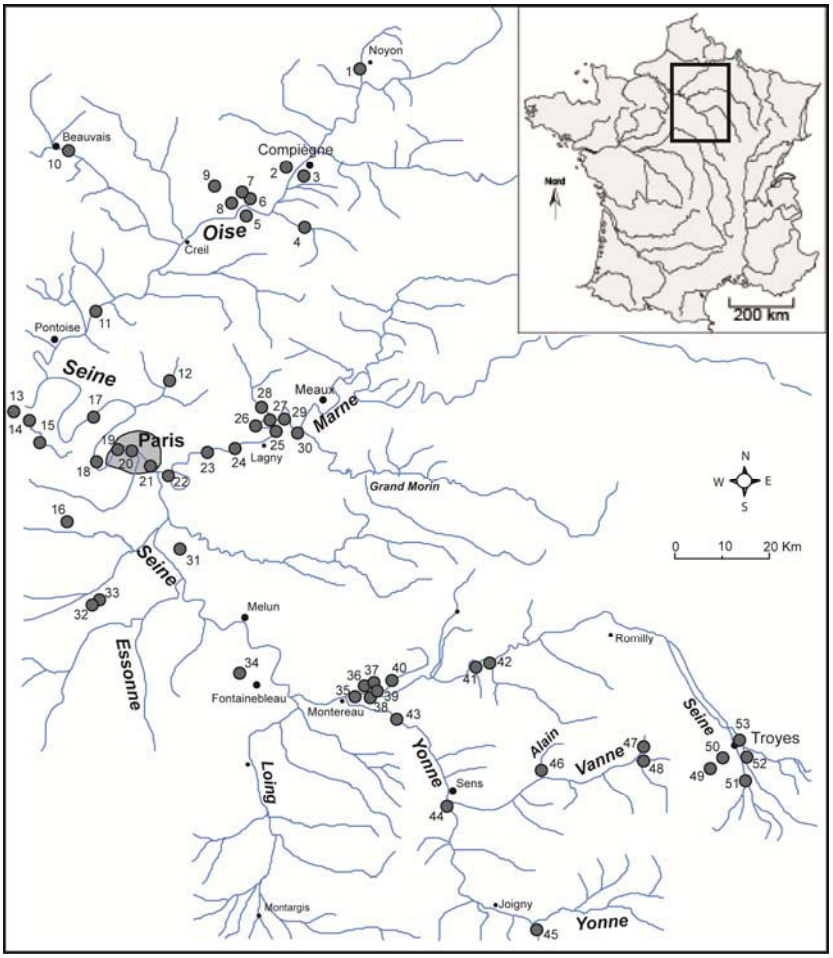


Fig. 6 : Distribution of sites from which the radiocarbon dates were obtained within the central-eastern Paris Basin.

The first pollen-analytical studies from the central Paris Basin were performed by Dubois & Dubois (1934). They laid the foundations for the study of the regional vegetation history with the establishment of successive phases related to the Blytt-Sernander system. During the 1950s and 1960s, numerous studies are realised concerning different parts of the region such as Normandy, Somme or the Ardennes (DUBOIS & SAUVAGE 1960, DUBOIS 1964, ELHAÏ 1959,1960, JALUT 1966,1967, NILSSON 1960, SAUVAGE 1954). Obviously, the use of radiocarbon measurements in regard to the pollen records has not yet emerged at this time as a current method. Thus, most of these studies referred to the reference chronologies established within distant locations by Iversen (1954) and Godwin (1956). Then, the synthesis proposed by Van Zeist and Van der Spoel-Walvius (1980a) (1980) for the whole Paris Basin introduced a new approach in the understanding of the regional vegetation history by referring its chronology to 20 radiocarbon measurements. Since the 1990s, numerous pollen sequences have been sampled within the Paris Basin with a more systematic use of ^{14}C dates. Leroyer (1997) produced a new

synthesis which specified the characteristic pollen features of the RPAZs for the more restricted area of the central-eastern Paris Basin. The temporal limits for the boundaries of these RPAZs were deduced through the analysis of almost two hundred radiocarbon dates. Due to the methodology employed in this paper, notably concerning the requirements for radiocarbon dating availability, studies conducted before the 1990s were unable to be included in this study. We therefore almost exclusively selected pollen sequences produced by C. Leroyer and her colleagues over the past twenty years within the central-eastern Paris Basin (see Fig. 6).

B) Pollen zones

The approach established by Leroyer (1997) for defining pollen zonations involves three steps. The first one is the recognition of successive Local Pollen Assemblages Zones (LPAZs) which summarize the local vegetation history by distinguishing between relatively stable periods separated by relatively brief transitions. These local zones, and sometimes subzones, have only a limited scope, restricted to the single pollen profile for which they were established. Based on the previous methods described by Cushing (1963), Watts (1970) and Hedberg (1976), Leroyer (1997) defined the LPAZs as corresponding to "a group of pollen samples which differs from adjacent sampled depths by significant qualitative and/or quantitative variations of at least two major taxa". Subzones can be recognized within a LPAZ in order to highlight lower amplitude variations. In the second step, the LPAZs of several pollen sequences are compared with each other, in order to assess the relevance of aggregating them within RPAZs. Thus, it is considered that, when similar assemblages are encountered, it is likely that they have a wider significance than the strictly local scope. The establishment of these RPAZs, related to the whole central-eastern Paris Basin, sometimes requires to previously determine micro-regional areas, i.e. concerning only the alluvial basin of a tributary of the Seine river. Finally, during the third step, the RPAZs of the Paris Basin are reported to the chronozones of the Late Glacial and the Holocene established by Mangerud *et al.* (1974). As previously mentioned by Wohlfarth *et al.* (1996), the nomenclature of these subdivisions of the classical stratigraphic framework is used only as "informal terms for regional and inter-regional comparisons", but the associated chronological sense is not conserved.

The Paris Basin vegetation history of the last twenty thousand years is summarized by 14 RPAZs, numbered from Tgl 1 to Tgl7 for the Late Glacial and from IV to X for the Holocene. They are defined by Leroyer (1997) as follows.

The RPAZ Tgl1, attributed to the oldest Dryas or to the beginning of the Bølling, is firstly characterized by a large predominance of Poaceae, which are gradually replaced by steppe taxa such as *Galium* type. Concerning the wood taxa, *Pinus*, *Salix*, *Betula* and *Juniperus* present very low proportions.

The RPAZ Tgl2, attributed to the Bølling, is defined by the increase of *Juniperus* proportions, which prevails before *Betula* or *Salix*, while *Pinus* proportions decrease.

The RPAZ Tgl3, also attributed to the Bølling, is characterised by the increase of *Betula,* which present higher proportions than *Juniperus* and *Salix*. *Artemisia* and Poaceae dominate the herbaceous taxa but *Rubiaceae* and *Chenopodiaceae* are also well represented.

The RPAZ Tgl4, attributed to the older Dryas, reflects the increase of the herbaceous taxa, firstly represented by Poaceae, then *Cyperaceae* and then *Artemisia*. The proportions of most of the wood taxa decrease, except *Pinus* which present a slight increase.

The RPAZ Tgl5, attributed to the first part of the Allerød, is characterised by the increase of *Betula* proportions, which dominates before *Juniperus*. *Salix* and *Pinus* proportions strongly decrease. The proportions of the herbaceous taxa also decrease, with the prevailing of Poaceae and *Artemisia*.

The RPAZ Tgl6, attributed to the second part of the Allerød, is defined by the increase of *Pinus* proportions, which dominates before *Betula*. The proportions of the steppe taxa decrease.

The RPAZ Tgl7, attributed to the younger Dryas, reflects the decrease of *Pinus* and *Betula*, but Pinus remains dominant among the wood taxa. The proportions of herbaceous taxa increase. They are firstly represented by Poaceae, then *Cyperaceae* and then *Artemisia*.

The RPAZ IV, attributed to the Preboreal, is characterized by a large predominance of *Pinus*. It can be divided into two sub-zones:

- IVa, *Pinus* prevails before *Betula* while *Corylus*, *Quercus* and *Ulmus* present low proportions. *Juniperus* and *Salix* still play a significant role.

- IVb, *Pinus* prevails before *Corylus*. The curves of *Quercus* and *Ulmus* show ascendant trends. *Juniperus* disappears while *Salix* and *Betula* decrease.

The RPAZ V, attributed to the Boreal, reflects the dominance of *Corylus* before *Pinus* and the increase of *Quercus* and *Ulmus* proportions (the latter reaches its maximum Holocene values). The curves of *Salix* and *Betula* decrease.

The RPAZ VI, attributed to the ancient Atlantic is defined by the appearance of *Tilia* and a slight increase in *Pinus* proportions. *Corylus* and *Quercus* continue to predominate among the wood taxa. *Fraxinus*, *Acer* and *Alnus* are slightly observed.

The RPAZ VII, attributed to the recent Atlantic, shows the maximum representation of *Tilia*, the appearance of *Taxus* and the development of *Alnus*.

The RPAZ VIII, attributed to the Subboreal, is defined by a large predominance of *Alnus* before *Quercus*, *Corylus* and *Pinus*. *Ulmus* proportions vary but are usually greater than those of *Tilia* which decrease. *Taxus* is scarcer while *Fagus* appears with a sub-continuous curve until the end of the zone.

The RPAZ IX, attributed to the ancient Subatlantic, is characterized by higher occurrences of *Fagus* and the appearance of *Carpinus*. *Alnus* remains generally dominant before *Quercus*, *Corylus* and *Pinus*. *Ulmus* and *Tilia* present lower proportions, while *Betula* is usually experiencing a slight increase.

The RPAZ X, attributed to the recent Subatlantic, is characterized by the presence of *Castanea* and *Juglans*. Local variations can be important. Thus, depending on the site, *Alnus* can remain dominant or nearly disappears due to clearing. *Quercus* and *Corylus* can still play a significant role, while *Fagus* and *Carpinus* are generally quite reduced. Occasionally, *Castanea* presents significant proportions.

C) Radiocarbon dates

An amount of 193 ^{14}C datings are available from the 97 selected cores of the Paris Basin dataset, so an average of around two dates per sequence (see Annexe 1). From this total amount, 159 are related to one of the seven RPAZs of the Holocene and 33 to one of the seven RPAZs of

the Late Glacial (with none related to the RPAZ Tgl2). These dates were produced through studies conducted over the last twenty years within the central-eastern Paris Basin. During these two decades, radiocarbon dating techniques have been improved toward more precision in the results. Thus, it is not surprising to observe large differences in the range of uncertainties associated with some dating results (see Annexe 1).

Some of the radiocarbon measurements have been obtained through the extraction of sediments at the location of significant discontinuities in pollen diagrams, as underlined by Viau *et al.* (2002) and Gajewski *et al.* (2006). However, if that type of strategy can be observed within some cores of the central-eastern Paris Basin dataset, most of the pollen sequences do not show such a well-defined distribution of the dates. Indeed, most of the radiocarbon data come from the whole range of depths lying between two pollen-analytical transitions. One of the most obvious ways to explain that apparently random spreading of the ^{14}C measurements is the occurrence or absence of suitable organic material in order to date the observed limits of the RPAZs.

The type of this dated material can affect to a significant extent the results of dating. Although standard laboratory pretreatments usually allow to eliminate, or at least to greatly reduce, the influence of mobile material potentially included in a sample (HAMMOND *et al.* 1991, TURETSKY *et al.* 2004), multiple disturbances of the measured rate of ^{14}C carbon within the dated sample may lead to underestimate or overestimate the true age of a sample (SCHARPENSEEL & SCHIFFMANN 1977). As mentioned above, materials used for radiocarbon dating purposes are diverse as they depend primarily on the availability of organic macro-remains at the targeted depths, and also on the nature of the sediments in the stratigraphic column. Peat samples may have been contaminated by younger carbon from root penetration or through the infiltration of dissolved modern organic carbon (GOH 1991, MATTHEWES 1985, OLSSON 1991, PUNNING *et al.* 1993, TORNGVIST *et al.* 1992, WARNER & CHARMAN 1994). The measurements obtained from soil organic matter provide a minimum age for the sample, due to the continuous incorporation of atmospheric carbon in these soils (GOH 1972, MAYER *et al.* 2008, SCHARPENSEEL & SCHIFFMANN 1977). This rate of incorporation depends on the carbon cycle, itself dependent on physicochemical factors such as climate and mineral chemistry, and on biotic factors such as the composition of the plant communities, the plants productivities and the strength of the organic matter under decomposition (TONNEIJCK *et al.* 2006, WANG *et al.* 1996). Furthermore, the radiocarbon content of a sample differs according to the various analysed fractions of the organic matter in soils and peats (SHORE *et al.* 1995, STOUT *et al.* 1981). The action of some bacteria, in situ (KILIAN *et al.* 2000) or during sample storage (GEYH *et al.* 1974, WOHLFARTH *et al.* 1998), can also lead to younger ages. Conversely, older ages may be obtained through carbon enrichment of the sample by carbon derived from an older source, which is called "reservoir effect" (STUIVER & POLACH 1977). This phenomenon has been observed using different types of dated materials, e.g. a statistical study based on wiggle-matching methods has shown that bulk peat samples could have been contaminated by carbon from the lower layers through the action of anaerobic microorganisms (mycorrhizal fungi) associated with living roots (KILIAN *et al.* 1995). Lake sediments may also be affected by the reservoir effect due to the resuspension and redeposition of older sediments (OLDFIELD *et al.* 1997). The dissolution of ancient limestones also leads to an overall aging of carbon suspended in water (Hard Water effect) (DONNER *et al.* 1971, OLSSON *et al.* 1983) which will be reemployed in the shell's structure of some organisms (SHOTTON 1972). This reservoir effect may however be offset by the contribution of more recent carbon brought by rainfall and water runoff (GEYH *et al.* 1998).

These possible error sources, coming from taphonomical, chemical or physical properties of the dated samples, are usually well described within most of the palaeoenvironmental studies. Conversely, error sources derived from both the laboratory measurements and the calibration process itself are more scarcely discussed. Concerning the laboratory measurements, Scott *et al.* (2007) highlighted the concepts underlying the establishment of uncertainties associated with ^{14}C dating. They pointed out that "every time that an analytical radiocarbon measurement is repeated under identical conditions on an identical sample, a different result is obtained". The quoted error is supposed to summarize that spread of the results caused by uncontrollable changes in the measurement conditions and/or in the radioactive decay which is also a random process. However, some results may lie outside of the range defined by the quoted error. Thus, some errors multipliers may be used in order to increase that uncertainty range and "capture sources of variation in the estimated ^{14}C age that are not accounted for in the quoted error" (SCOTT 2003, SCOTT *et al.* 2007). Bronk Ramsey (2009) underlined that "^{14}C dates are not dates at all but measurements of an isotope ratio. To interpret them as dates requires some form of statistical analysis using a calibration curve". This calibration curve itself presents uncertainties that are integrated into the final uncertainties associated with a calibrated date. When these uncertainties are combined with the occurrence of a radiocarbon plateau within the curve, the calibrated result may span a very large time range which prevents from obtaining a sufficiently precise dating of the targeted event.

Finally, all of these sources of errors or uncertainties within the dating results may reflect real physical, chemical, taphonomical, experimental, methodological or statistical biases which must to be taken into account by a robust chronological model.

II - Methods

The use of the Bayesian approach applied to questions of chronology, incorporating stratigraphical constraints and succession of Phases, dates back to the 1990s (BUCK *et al.* 1991, CHRISTEN 1994). It has given birth to software programs developed with the aim to use mainly ^{14}C dates, such as BCal (BUCK *et al.* 1999), OxCal (BRONK RAMSEY 2009) or DateLab (JONES & NICHOLLS 2002). In this paper, we introduce the RenDateModel software (LANOS & DUFRESNE 2012) that can process data from various dating methods such as radiocarbon, TL / OSL, archaeomagnetism and/or chrono-typology. It allows to build Bayesian models involving notions of contemporaneity and/or succession (based on stratigraphical informations or on external criteria), notions of Fact (event) and of Phase (period).

If multiple dates refer to the same object (e.g. multiple ^{14}C dates performed on a pirogue Neolithic at Bercy), or at least several ^{14}C dates considered to be contemporary (e.g. multiple radiocarbon measurements performed within a same depth or layer), the PDFs of these dates can be combined, in order to obtain a new average PDF for the event (WARD & WILSON 1978). The resulting date is theoretically more accurate through the integration of multiple analyzes for the same event. This combination consists in making the product of the observed probabilities, with the strong assumption that there is no source of scattering between the dates, which is not

always the case. In order to solve this issue, Lanos and Philippe (in prep.) introduced the more general concept of Fact, considering a hierarchical error model.

This first hierarchical level in RenDateModel consists in assuming that dates which are related to a same event are characterized by an unknown mean and its variance. It is an intermediate model between the combination, which assumes a strict contemporaneity between dates that are regarded as totally interdependent, and the Phase, which involves a set of independent events randomly occurring between "start" and "end" boundaries. The variance describes the scattering of the dating results around the age of the Fact. It is also used to weight the influence of dates that are considered as outlier values during the calculation.

This Fact concept adds a degree of freedom (a new range of error) on dates. In other terms, it is assumed that the observed dates and their experimental errors do not necessarily directly correspond to the event that we want to date. We admit that there may be some misallocations or systematic errors that are independent of experimental errors occurring during the dating process in the laboratories. These errors may represent a physical reality, independent from the uncertainties associated with radiocarbon ages provided by the laboratories. The sampled charcoals may have moved within the sediments, inducing an anomalous position within the stratigraphical layers. Any other taphonomical, chemical, physical, statistical or methodological bias could be invoked in the same way (see I. C.). It therefore seems logical that the chronological model takes into account these uncertainties. In order to benefit from these new properties procured by RenDateModel, all the ^{14}C dates collected in this study are systematically included into a Fact. Thus, a large number of Facts in our chronological modelling only contain one single dating (see Annexe 2).

A Phase, sensu Lanos and Dufresne (2012), is a set of independent Facts supposed to be independents, or very weakly dependents if there are some stratigraphic constraints between them. It operates as a second hierarchical level above the Facts. The Facts included within a Phase are considered as uniformly distributed between its start and end boundaries. This property enables us to calculate a predictive distribution γ for each Phase (see Fig. 7: A) and the PDFs of their associated boundaries α and β (see Fig. 7: A_1 and A_2).

In this study, each Phase is associated with a RPAZ of the central-eastern Paris Basin. These RPAZs are defined as successive, without overlapping and without hiatuses. Therefore, the end of a Phase is set equal to the start of the next one by the model (LANOS & DUFRESNE 2012). Their PDFs will be identical and their 95% HPD intervals (Highest Posterior Density) will be the same. Thus, these boundaries are considered as transitions between Phases and we attempt to define their posterior distributions, conditionally to all the measurements and observations. In the same way, a Fact cannot belong to several Phases.

The HPD intervals summarizing the transitions include both errors associated with dates and Facts and the true duration of vegetation changes. Thus, these estimates do not directly reflect the true duration of the vegetational changes, but rather an overestimated duration that includes the transition period.

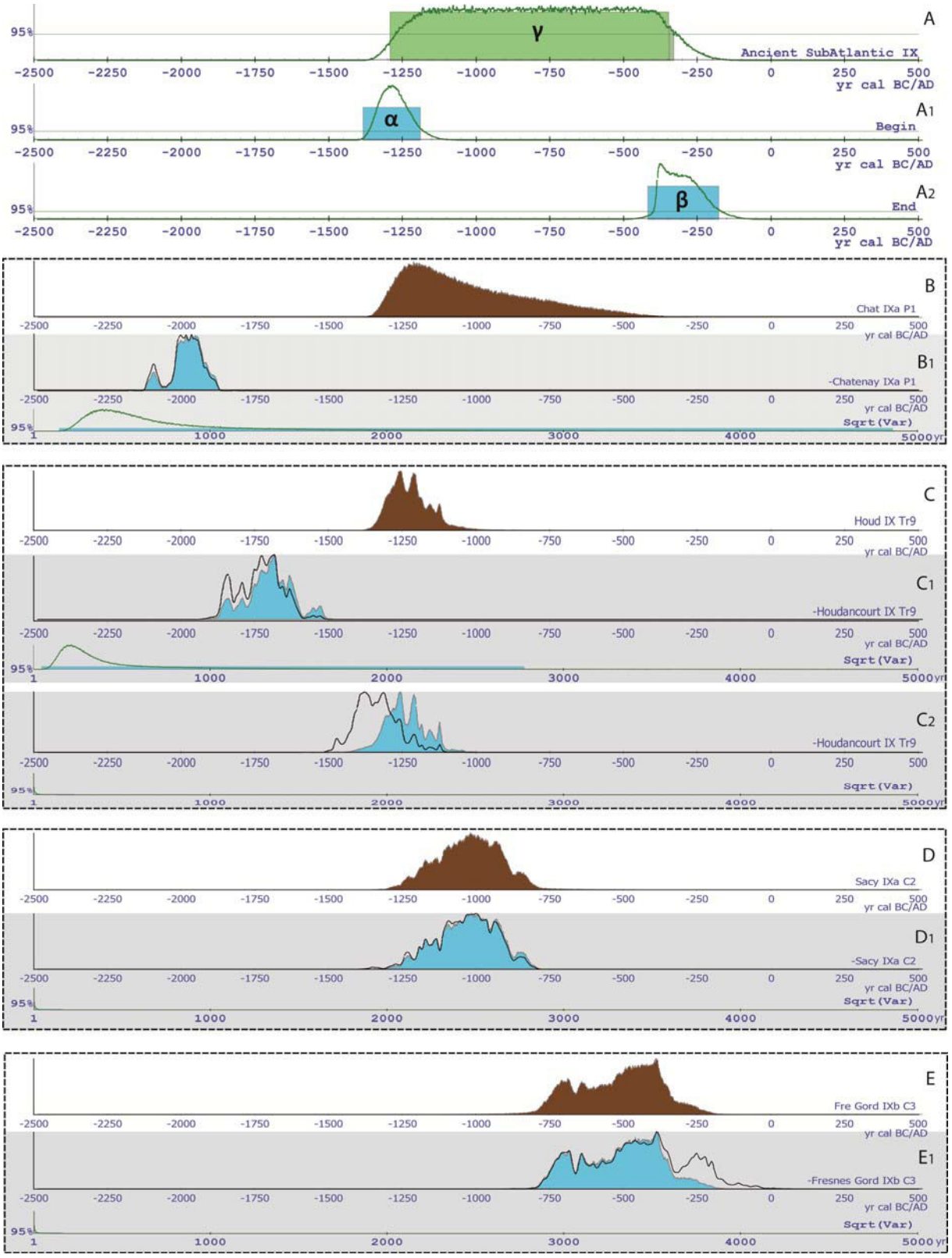


Fig. 7 : Examples of prior and posterior PDFs for the different levels of the hierarchical model. A: posterior PDF of the Phase corresponding to the RPAZ IX with the 95% HPD illustrated by green rectangles. A1: posterior PDF of the lower boundary of the Phase corresponding to the transition between the RPAZs VIII and IX, with the 95% HPD illustrated by blue rectangle. A2: posterior PDF of the upper boundary of the Phase corresponding to the transition between the RPAZs IX and X with the 95% HPD illustrated by blue rectangle. B, C, D and E: posterior PDFs of some Facts related with the Phase IX. B1, C1, C2, D1, E1: prior (black line) and posterior (blue filling) PDFs of the individual dates related with the Facts B, C, D and E. Variances are associated with the posterior PDFs of each individual date.

Bayesian modelling provides the opportunity to take into account informations about the relative chronology between two events, i.e. qualitative informations based on antero-posteriority relationships (DESACHY 2005,2008, HARRIS 1979). These prior informations are usually called "stratigraphic constraints" because they are usually based on the stratigraphies of sedimentary sequences. However, they can also be applied through the succession of Phases derived from relative chronologies such as vegetation history. Thus, we prefer to talk about "chronological constraints" in this paper. These constraints may sometimes significantly improve dating results (BUCK *et al.* 1991, BUCK *et al.* 1992, BUCK 1994, BUCK *et al.* 1996, CHRISTEN 1994).

Within a single sedimentary sequence where the geomorphological analysis of the core did not revealed sedimentary inversions, the stratigraphic relationships are established in a simple way. A Fact that includes a date (or multiple dates) performed on some sampled material from a deeper part of the core is considered to be older than a Fact that includes a date (or multiple dates) performed on some sampled material from a less important depth. Stratigraphic relationships may also be demonstrated in the case of two Facts containing ^{14}C dates from different sedimentary sequences, when such chronological relationship has been clearly identified between two cores. These chronological relationships can be observed within some particular sedimentary contexts, such as paleochannels (CHAUSSÉ *et al.* 2008, LE JEUNE *et al.* 2012, PASTRE *et al.* 1997, PASTRE *et al.* 2001, PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2003). Thus, a Fact that contains a date (or multiple dates) performed on a firstly deposited sequence is then considered as older than a Fact that contains a date (or multiple dates) performed on a secondly deposited sequence. Finally, the chronological relationships derived from the succession of the Phases are applied to all the Facts, regardless to the core which provided the dated material, through the belonging of these Facts to one of the Phases.

In RenDateModel, all the chronological constraints are established between the Facts or between the Phases (LANOS & DUFRESNE 2012), unlike in Bcal (BUCK *et al.* 1999) or in OxCal (BRONK RAMSEY 2009) where they are placed directly between the dates. That new property allows the model to explore posterior solutions which may extend beyond the prior scope of each date, but which present a better overall fit to the stratigraphical and/or Phases succession constraints.

Absolutely all of the 193 radiocarbon measurements have been implemented in the model, without any preliminary selection of the data designed to exclude some dates previously considered as outlier values. Finally, their stratigraphical relationships, as well as their belonging to one of the successive RPAZs of the central-eastern Paris Basin, have been combined within a chronological model (see Annexe 2) based on the hierarchical Bayesian approach proposed by the RenDateModel software.

Indeed, each date is embedded within a Fact (relating to an event), itself embedded within a Phase (relating to a RZAP). Stratigraphical constraints are applied between Facts, whereas the succession constraints between RPAZs are applied between the Phases.

The software simultaneously calculates all the posterior Probability Density Functions (PDFs) related to the different levels of the model (individual date, Fact, Phase, transitions between successive Phases). Thus, the resulting posterior PDFs are all interdependent. The calculation of these posterior distributions is done through numerical methods based on Monte Carlo Markov

Chains (MCMC) (GILKS *et al.* 1996) and on the Gibbs algorithm (GELFAND & SMITH 1990). This technique provides a relatively quick convergence of the calculation for the desired precision. It is very difficult to estimate an appropriate threshold for the minimum number of iterations required by the model to provide reliable results. Given the model complexity, a first test was performed on the basis of one million iterations (1000 ki), for a total calculation time of three weeks. This time has been subsequently reduced to one week by decreasing the number of iterations to 400 ki. Finally, a last attempt was realized with 100 ki only, reducing computation time to a few days, and producing substantially identical outcomes compared to the two previous attempts using 400 and 1000 ki. The results presented in this paper are those obtained for the calculation using 400 ki.

In order to constrain the age of pollen zones of the central-eastern Paris Basin, the key distributions are the posterior distributions of the boundaries (start and end) of each Phase, which correspond to the transition periods between successive RPAZs. Nevertheless, the posterior distributions of the other variables (individual dates and their associated variances, Facts, Phases) allow us to assess the overall coherence of the model.

III - Results

A) Posterior PDFs at different steps of the hierarchical model

The modelling of the prior PDFs of all the available ^{14}C dates and all their associated chronological constraints, including both stratigraphical relationships and constraints derived from the pollen-based relative chronology, results on the production of new posterior PDFs for each individual date, each Fact, each Phase and each transition between Phases.

Concerning the first hierarchical level of the Bayesian model, the individual dates, three possibilities appear when prior PDFs are compared with their posterior PDFs (see Fig. *7*). If the prior PDF of a date does not extend beyond the boundaries of its associated Phase and also respects the stratigraphical ordering, its posterior PDF will be identical, or nearly identical, to its prior PDF (see Fig. 7: D_1). If the prior PDF of a date extends beyond the boundaries of its associated Phase and/or does not fully respect the stratigraphical ordering, its posterior PDF will be more or less shifted in order to better fit with the chronological constraints (see Fig. 7: C_2 and E_1). If the prior PDF of a date is lying completely outside of the range of its associated Phase and/or totally contradicts the stratigraphical ordering, its posterior PDF will remains nearly identical to its prior PDF but it will be heavily weighted by a high variance (see Fig. 7: B_1 and C_1).

Thus, the greater is the inconsistency between the prior PDFs of the individual dates and the associated chronological constraints, the lesser influence these dates have on the calculation of their associated Facts, and thus on the Phases which contains these Facts. Finally, this property enables an automatic weighting of ^{14}C dates that contradict the stratigraphical order and/or the RPAZs order.

Concerning the next hierarchical level of the Bayesian model, the Fact, the posterior PDFs may also present different patterns resulting from the relationships between ^{14}C dates and the chronological constraints applied on their associated Facts. In this paper, we do not detail these patterns as the posterior PDFs of the Facts are not part of the key variables that enables us to determine the time range of the transitions between the RPAZs of the central-eastern Paris Basin. These posterior PDFs of the Facts may present numerous different patterns depending on

the number of dates that they contain, which are assumed by the model to be contemporaneous, and on their chronological relationships with other Facts and with their associated Phases. More information about the concept of Fact in hierarchical Bayesian modelling will be available in Lanos and Philippe (in prep.).

B) RPAZs boundaries

Concerning the last hierarchical level of the Bayesian model, the Phase, the posterior PDFs represent the time range of each RPAZ. A Phase is defined as a period that can last through the time and not as a relatively brief event like Facts. Thus, without any succession constraint with another Phase, it will extend from its oldest included Fact to its most recent one. The 95% HPD of a Phase means that the probability of a new dated pollen sample, attributed to this RPAZ, to present an age lying between the upper and lower limits of the HPD of this Phase is 95%. In this paper, we are more interested in defining the temporal limits of the RPAZs than in establishing their duration, which is slightly different. Thus, we rather study the posterior PDFs of the transitions between Phases than those of the Phases itself. Indeed, the PDF of the transition between two successive Phases (see Fig. 8) describe the probabilities of passing from the previous Phase to the next one. The 95% HPD summarize the period in which the probability that the transition occurred given the data used is 95%, i.e. all the transitions from $RPAZ_n$ to $RPAZ_{n+1}$ occurred within pollen diagrams from the studied area.

Transition	cal. min BC	cal. max BC	Duration
X-IX	-413	-173	240
IX-VIII	-1379	-1184	195
VIII-VII	-3696	-3509	187
VII-VI	-5598	-5191	407
VI-V	-7149	-6767	382
V-IV	-8367	-8037	330
IV-Tgl7	-10412	-9255	1157
Tgl7-Tgl6	-10929	-10654	275
Tgl6-Tgl5	-11702	-11379	323
Tgl 5-Tgl4	-12380	-11727	653
Tgl 4-Tgl3	-12836	-12203	633
Tgl 3-Tgl1	-15992	-12912	3080
Tgl 1- –	-17987	-13966	4021

Tab. 1 : Estimated extents and durations of transitions between the successive Late Glacial and Holocene RPAZs of the central-eastern Paris Basin.

Due to the few number of ^{14}C dates related to the RPAZs of the Late Glacial, the transitions between the associated Phases are very poorly defined and may even overlap in some cases, e.g. transitions Tgl3-Tgl4 and Tgl4-Tgl5 (see Fig. 9). No radiocarbon measurements were available concerning the RPAZ Tgl2. Thus, the model calculated an artificial Tgl1-Tgl3 transition which is irrelevant regarding to the vegetation history of the area but respects the relative chronological

relationships between the available dates. This study aims to define the transitions between the RPAZs of the Holocene, thus the results for the Late Glacial are not detailed. The only purpose of including these periods in the model was to better constrain the Phases related to the RPAZs of the beginning of the Holocene. Finally, the minimum and maximum ages corresponding to the 95% HPDs of the transitions between RPAZs of the Late Glacial and Holocene, and their deducted durations, are detailed in the table (Tab. 1). One can notice that the more dates describe a Phase and its neighbours, the shorter are the 95% HPD intervals between these Phases. The robustness of the model is illustrated by the well defined transitions around the RPAZ IX. Indeed, given the relatively few number of radiocarbon dates related to this RPAZ (16 dates) and the important ratio of outlier values (5 outliers among 16 dates), the durations of these two transitions remain relatively briefs.

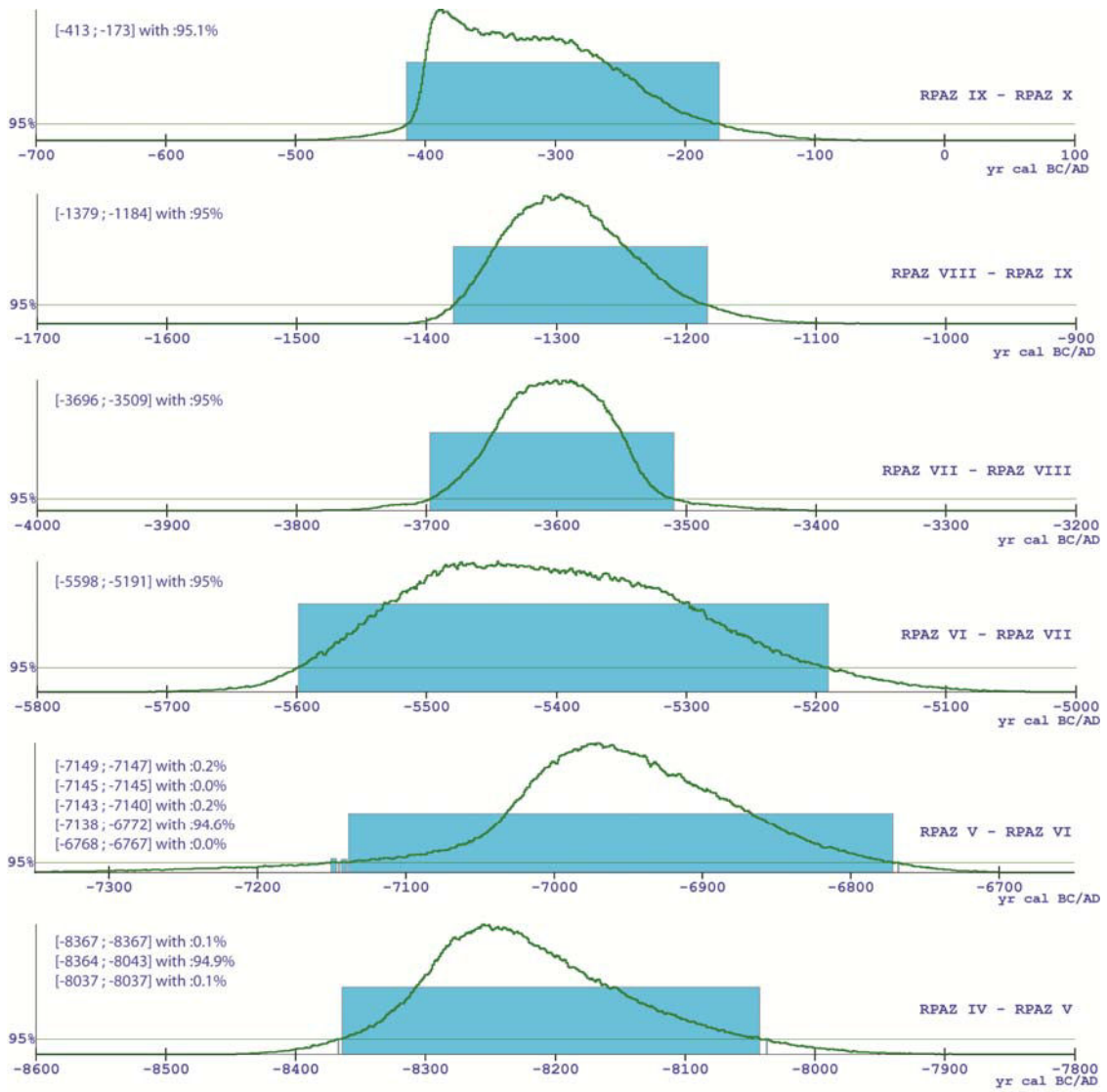


Fig. 8 : Posterior PDFs for the transitions between successive RPAZs with the 95% HPDs illustrated by blue rectangles. The details of the extent of the 95% HPDs are mentioned on the left side. Scales are conserved between graphs.

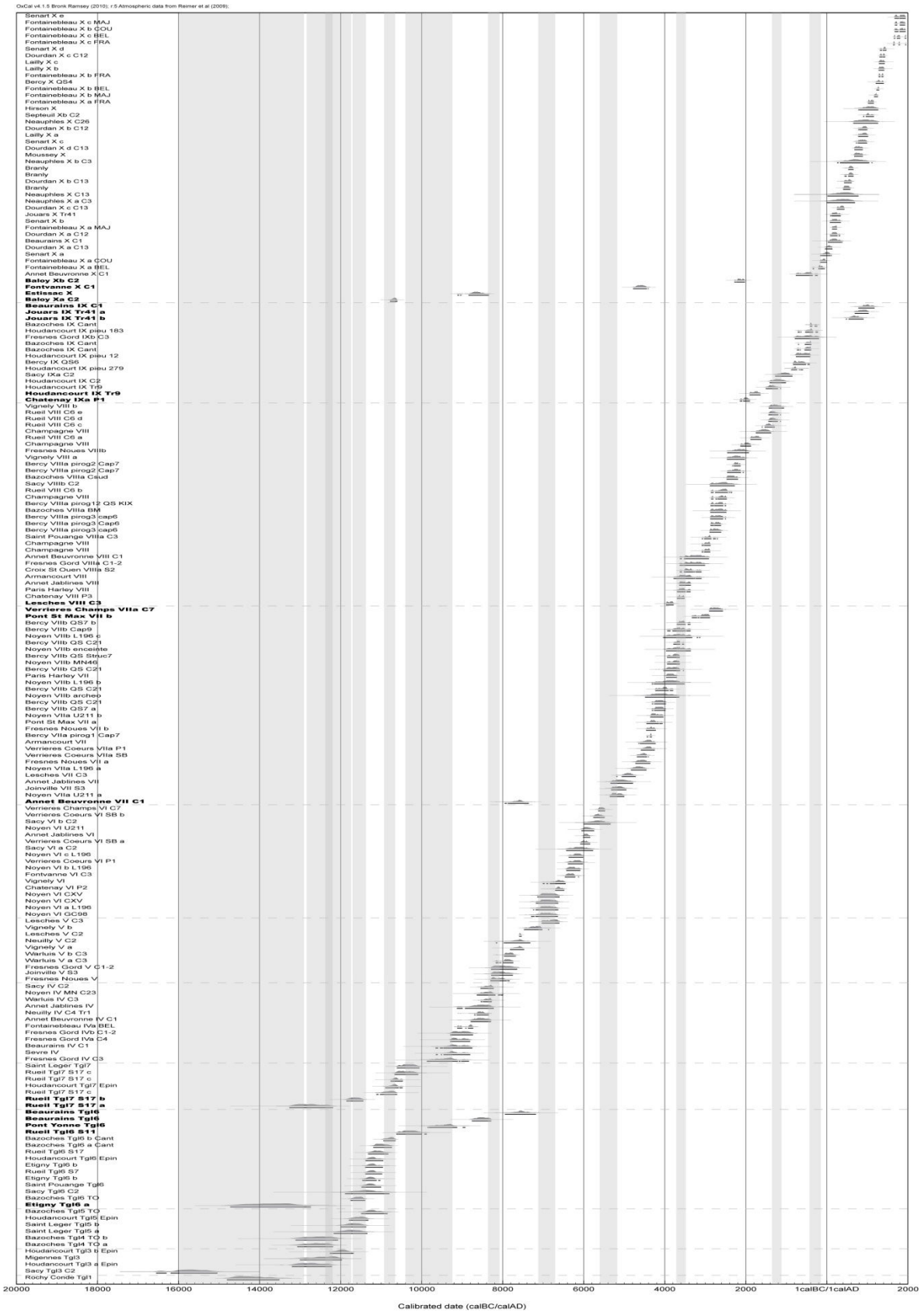


Fig. 9 : Prior PDFs of the 193 calibrated radiocarbon dates included within the Bayesian model. Radiocarbon dates are chronologically ordered within each RPAZ, which are separated by grey dashed lines. Grey strips illustrate the estimated extents of the transitions between successive RPAZs. Bolded names correspond to the 20 ^{14}C dates considered as outliers by the model.

IV - Discussion

A) Synchroneity/diachroneity of the vegetational changes in the literature

The synchroneity of environmental changes within more or less extended areas, or between more or less distant sites, the questions about the homogeneity or heterogeneity of the landscapes at various geographical scales, and the subsequent assumptions about the relevance of pollen-based relative chronology, has been the subject of debate since many years.

Smith and Pilcher (1973) compiled 133 ^{14}C measurements from 36 sites spread across the British Isles and concluded on the time-transgressive nature of most of the pollen analytical features previously considered as synchronous zone boundaries for the whole area by Godwin (1940). Solely the *Ulmus* decline still appeared as a possible synchronous horizon for the British Isles. They concluded that empirical and rational limits of the other studied taxa for smaller parts of the country can thus be used to reconstruct "routes of migration" from Southern England to Ireland and Scotland. Hoek (1997) used 239 non-calibrated radiocarbon dates from 102 sites in the Netherlands and summed separately the Gaussian distributions of the dates from the tops and from the bases of Regional Pollen Assemblage Zones (RPAZ). The Late Glacial and early Holocene vegetation chronology in the Netherlands is then compared with the oxygen-isotope curve from the GISP2 ice core (STUIVER *et al.* 1995) and the author conclude on the climatic origin of these observed synchronous shifts in pollen diagrams from different landscape types.

With the development of ^{14}C dates calibration against dendrochronological reference curves, the normally distributed variations of non-calibrated radiocarbon dates, generally resumed by their central values and associated errors, have been gradually replaced by Probability Density Functions (PDFs) of calibrated dates, often showing multimodal patterns. Despite the increased complexity of the curve's shape of most calibrated dates, the sum of the PDFs attached to multiple ^{14}C dates from more or less extended areas continued to be the choice of many authors. Thus, Viau *et al.* (2002) summed the distributions of 2372 calibrated ^{14}C dates from the whole North America and determined nine modes corresponding to changes in the pollen assemblages during the Late Glacial and the Holocene with a 1650 yr periodicity. Gajewski *et al.* (2006) completed this study by summing separately 2351 calibrated ^{14}C dates coming mostly from Europe, but also from Russia and the Near East, and 1118 dated PAZ transitions from reference pollen diagrams collected in the temperate Europe only. They identified 10 and 13 modes using the radiocarbon-based method and the PAZ-based method, respectively. They compared these modes with those identified in North America and also with signals in Greenland ice cores GISP2 (O'BRIEN *et al.* 1995) and North Atlantic IRD records (BOND *et al.* 2001). They finally deemed "reasonable to conclude that these are recording synchronous and widespread impacts on surface climates of a large portion of the northern hemisphere" but underlined that "variations around the modal values may provide ecological information at regional scales".

Using a Bayesian statistical framework (Oxcal) (BRONK RAMSEY 1995), Parker *et al.* (2002) estimated the chronological distribution of the elm decline across the British Isles. They produced a sum of 138 radiocarbon dates spanning a period of 1066 years. The boundaries fixed for the corresponding Phase are them separated by 1068 ± 63 years. Instead of the relatively large period covered by these estimates, the authors still considered as "broadly synchronous" the spread of the elm decline throughout their whole study area.

Wohlfarth (1996) combined radiocarbon measurements and varve counting in order to date the pollen zones transitions of the Late Glacial from three lakes located in Poland, Germany and Switzerland. The few hundred years of delay between the Swiss lake and the two other ones concerning the Younger Dryas/Preboreal pollen zone transition is then explained by a difference in defining that transition in pollen diagrams.

Litt *et al.* (2001) synchronised laminated sequences from north-eastern Europe (from W Germany to E Poland) with the help of tephra layers, oxygen isotopes variations and dendrochronology. They found correspondences between those records relating to the ages of the palynostratigraphical transitions, as to the time intervals between them also. They conclude on the relevance of correlating "terrestrial sequences with annually laminated sediments by using biozones confirmed by tephra layers and stable isotopes".

Wohlfarth *et al.* (2006) constrained the Late Glacial and Holocene pollen zones in southern Sweden by establishing three different age models for a single high resolution core (28 radiocarbon measurements spanning 4000 years). Each age model was constructed with particular assumptions concerning deposition rate, outliers and hiatuses. These ages were applied to a nearby sampled sequence where Local PAZs (LPAZs) were established, by correlating to the first one through wiggle-matching of their Total Organic Carbon (TOC) curves. Depending on the selected age model, three different age estimates for each transition between the LPAZs were then obtained by extrapolating between dated levels. Thus, the authors warned about the "dangers of solely accepting one age model for the derivation of a robust, statistically constrained chronology that can be compared to other palaeoarchives". The "ultra-high resolution" is proposed as a possible solution to "explore a number of different age-depth models".

Parnell *et al.* (2008) compared the ages of the *Alnus* rise, the *Ulmus* decline and time lapse between the last pollen feature and the first *Cerealia*-type appearance from 6 sites distributed from south-western Poland to western Wales. These ages were determined by extrapolations between radiocarbon dated depths through the establishment of an age-depth model for each core. Concerning the age of the *Alnus* rise, they found an east/west ordering of the results excepted for the Welsh site where this pollen feature appeared earlier than within the German and English sites. The two others pollen features did not show such a clear geographical ordering, although the ages clearly differ between sites which strongly argue for the asynchrony of the associated vegetation changes at the scale of the northern Europe, even for the *Ulmus* decline.

In order to assess the long distance synchroneity of environmental events between Greenland and France, Blaauw *et al.* (2009) compared Dansgaard-Oeschger signals in Greenland ice cores with abrupt events recorded in the high-resolution dated sediment sequence from the site Les Echets in south-eastern France. Based on two age-depth models versions for the French sedimentary sequence, they statistically determined the probabilities of simultaneous events between both sites. They conclude on the "limitation to comparisons at multi-centennial to millennial resolution only" due to too high chronological uncertainties even in the case of such high resolution dated records.

From this brief review, it appears that no clear and commonly accepted consensus arises regarding questions related to the synchroneity of vegetational changes across more or less wide geographical areas. This last parameter, the spatial extent of the vegetational changes, varies greatly between studies from the near hemispherical scale (GAJEWSKI *et al.* 2006) to the local scale (WOHLFARTH *et al.* 2006).

As previously noticed by Parnell *et al.* (2008), due to the lack of definition, even the term of synchroneity appears ambiguous as it differs from one author to another, mainly due to the temporal scale of the results considered as relevant for such a definition of the relationships between these records. Thus, Blaauw *et al.* (2007) concluded that "synchroneity of events between proxy archives depends heavily on the assumed length of the event". A typical example concerns the results obtained by Parker *et al.* (2002), these authors describe their results as follows, "With a calibrated sum probability range of 1066 years for the elm decline, [...] (it) still appears broadly synchronous in radiocarbon years B.P.". The same results are presented by Blaauw (2012) as "[...] the idea of synchronous pollen zone was invalid even within a relatively small region as the British Isles. Indeed, well-known pollen events such as the mid-Holocene elm decline probably took place over centuries (PARKER *et al.* 2002).". In this case, notwithstanding the Fact that the data are identical, the acceptance or the rejection of the synchroneity hypothesis appears to be mostly dependent on the author's appraisal about the relevant temporal scale for attesting that synchroneity.

This commonly encountered issue led to develop statistical tests in order to assess the synchroneity degree of events between proxy archives. Blaauw *et al.* (2007, 2009) estimated "the statistical probability that both independently dated archives reacted simultaneously within certain time windows" by calculating "the product of the event probabilities from the individual archives". They found that probabilities of synchronous events between Les Echets (SW France) and NGRIP (Greenland) proxy records at decadal to multi-centennial year resolution never exceeded 10%. Subsequently, they concluded on the limitation to comparisons at multi-centennial to millennial resolution only (BLAAUW *et al.* 2009). Parnell *et al.* (2008) adopted a different methodology by assessing the degree of diachroneity between events recorded in several proxy archives. They firstly identified their occurrences and then determined their ordering between sites. Finally, the stronger the ordering is, the lesser is the probability of synchronous events observed in these records. Although the individual results mostly presented chronological ordering, only the *Alnus* rise showed a clear geographical pattern across northern Europe from the east to the west.

B) Outliers proportions and overall relevance of the model

Here, we introduced a different approach to constrain the transitions between RPAZs, based on the prior that these pollen zones are chronologically ordered at the scale of the central-eastern Paris Basin and do not overlap. Thus, the assumption that the associated vegetational changes were broadly synchronous, within the ranges of uncertainties summarized by the HPDs of each transition, is assumed by the model as prior information. In other terms, the model outputs, concerning the time range of each transition solely, cannot argue for the synchroneity of the Paris Basin's vegetational changes as they are driven by the model inputs.

Nevertheless, another output of the model can be used to assess the relevance of these prior informations regarding to the data. Indeed, as seen in III. A., prior assumptions about the chronological ordering of the radiocarbon measurements can force a posterior date to fit with the model outputs concerning its associated Phase, Fact and stratigraphical constraints by affecting a large variance to this date's value. As a result of this model property, this date is considered by the model as an outlier value and strongly down-weighted. High outlier proportions would reflect the inconsistency between the chronological constraints and the radiocarbon dates that they affect. Thus, considering that most of the ^{14}C dates accurately reproduce the age of each dated pollen sample, we can conclude that the proportion of radiocarbon measurements considered as outlier values by the model attests of the relevance of the applied prior informations.

In our case study, high outlier proportions for posterior dates would highlight the irrelevance of our assumptions about the chronological ordering of the RZAPs from the central-eastern Paris Basin and deny the regional homogeneity of the vegetational changes or, at least, of the associated pollen features. In other words, the radiocarbon dates related to a single RZAP could be randomly distributed along the timeline and the pollen proportions are not relevant features in order to establish a relative chronology at the scale of the studied area. Correlatively, the vegetation dynamics along the Holocene are independent between sites and the central-eastern Paris Basin could be considered as a heterogeneous area. Obviously, opposite conclusions could be derived from opposite results.

This approach can be compared with the agreement index implemented in OxCal (BRONK RAMSEY 2008) which "gives the relative likelihood of the posterior from the model to that of a "null" model (where there are no constraints or interrelationships between the events)". The selected threshold for agreement index is then fixed to 60%, which means that the rest of the 40% is composed of outlier values regarding to the prior informations applied to the model. If the agreement index is lower than this 60% threshold, then the model is rejected and assumptions for prior information need to be re-examined. Conversely, above 60% the model and assumptions are accepted.

In our study, 20 of the amount of 193 radiocarbon measurements are down-weighted by a high variance value and thus considered as outliers in respect to the applied palynological assumptions through the prior informations (see Fig. 9). Thus, the proportion of outliers is only 10.4% regarding to the succession of Phases, which means that 89.6% of the radiocarbon measurements fit well with their corresponding RPAZ's boundaries. Furthermore, 7 of these outliers are related to the RPAZs of the Late Glacial, so only 13 of the 160 dates related to the RPAZs of the Holocene are considered as outliers (8.3%). Finally, we can reasonably conclude that the prior assumption that the strictly successive chronological ordering of the pollen samples, through their characteristic regional assemblages within the Holocene vegetation history of the central-eastern Paris Basin, does not mismatch with the available radiocarbon data.

C) Synchroneity of vegetational changes within the central-eastern Paris Basin

Despite this first conclusion and all the arising properties of the RPAZs concerning the scope of their chronological value, the question of the synchroneity of the vegetational changes across the area remains unresolved.

As described above (see III. B.), the PDF of a transition between two Phases describe the probabilities of passing from the previous Phase to the next one. Its 95% HPD summarize the period in which the probability that the transition occurred given the data used is 95%. These HPDs for the transitions have a total duration which depends mostly on the number of available radiocarbon dates providing absolute chronological information about the time range of the surrounding Phases. The more ^{14}C dates are available, the shorter the lengths of the transitions will be. The distribution pattern of the dates also plays a noteworthy role in this estimate. Indeed, a slight overlapping of the extreme dates from the Phases around the transition promotes the achievement of more precise results, whereas a temporal hiatus between the Phases leads to larger durations of the transitions. Thus, a transition's length between two RPAZs contains both the "true" duration of the associated vegetational change and an added uncertainty which depends on the amount of radiocarbon dating information and on the overlapping degree of these dates from successive RPAZs. Finally, the durations of the vegetational changes can be considered as shorter than these of the calculated transitions between RPAZs.

Concerning the RPAZs of the central-eastern Paris Basin, the lengths of the 95% HPDs for transitions varies from 187 to 407 years during the Holocene (see Tab. 1), with a mean duration of 290 years. These lengths increase greatly during the Late Glacial, from 275 to 4021 years with a 1449 years mean duration, mainly due to the lack of radiocarbon data for this period. Thus, we can conclude that the durations of the pollen features associated with the transitions between the RPAZs of the Holocene, at the scale of the study area (190 km between the most distant sites), did not exceeded two to four hundred years. These results do not answer the question of the synchroneity of the vegetational changes as the multi-centennial scale can be considered as not precise enough to validate it. Nevertheless, the durations of the shortest transitions are quite comparable with the range of uncertainties associated with a significant part of the usual radiocarbon measurements. Furthermore, if the precision of the results cannot compete with the more advanced absolute dating methods (varve counting, AMS ^{14}C, tephra layers, dendrochronology, etc.), their accuracy is strongly supported by the large number of radiocarbon measurements which contributed to their calculation.

Conclusion

In this paper, the results of the first attempt to obtain statistically constrained ages for the Holocene transitions between the RPAZs of the central-eastern Paris Basin have been discussed. Their robustness has been attested by the very low percentage of outlier values from the total amount of employed radiocarbon measurements, regarding to the prior assumptions implemented within the model. Thus, we can consider that the assessment of the relevance of

the RPAZs role, as a relative chronology for ordering the radiocarbon-dated pollen samples, succeeded within the scale of the study area.

The absolute chronology, obtained through the Bayesian model, for the estimated ages of each transition between the successive Phases provides a new temporal framework for the Holocene vegetation history of the central-eastern Paris Basin. These results for the transitions show multi-centennial scale estimated ages, which however do not describe solely the duration of the associated environmental changes but also the uncertainties of the calculation.

Thus, additional radiocarbon data may increase both the precision and the accuracy of these estimated ages. In such a way, several new ^{14}C dates related to the RPAZs of the Late Glacial could greatly improve the estimates for the transitions observed within this period.

More dates could also allow us to separate data within multiple lower spatial scale areas, in order to assess the general homogeneity of the total area. It is likely that such tests should provide slight differences between the different separated areas but, given the current uncertainties associated with the estimated ages, we think that these differences should not be significant enough to distinguish between them and with the results presented in this study, until more precise estimates are not reached.

The same methodology could be applied to the neighbouring regions, as to farther regions too. Then, it should be interesting to compare the different results, in order to assess the amplitude of the delay between those more or less distant areas, using the method proposed by Parnell *et al.* (2008) and/or the one employed by Blaauw *et al.* (2009).

1.1.2 - MODELES D'AGE DES SEQUENCES POLLINIQUES DU BASSIN PARISIEN

Parmi les contraintes méthodologiques inhérentes à la modélisation du couvert végétal, la présence de 3 datations au moins sur chaque profil pollinique continu a été fixée comme seuil minimal par Mazier et al. (2012). Cette condition, conjuguée avec des critères très stricts de détection des hiatus sédimentaires (LEROYER 1997), nous a amené à exclure la majeure partie des séquences disponibles pour notre étude. Ainsi, sur 97 profils au départ, seuls 21 ont été retenus pour participer à la modélisation du couvert végétal du Bassin parisien. Des modèles d'âges n'ont donc été produits que pour ces 21 séquences sélectionnées (cf. Annexe 3).

Ils ont été calculés à l'aide de deux programmes différents, RenCurve v08/2011 (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.) et CLAM v1.0.2 (BLAAUW 2010), en fonction du nombre de datations disponibles pour chaque profil. La courbe de calibration utilisée dans les deux cas est la courbe IntCal09.14C (REIMER *et al.* 2009) pour l'hémisphère nord. Le logiciel RenCurve v08/2011 modélise via une spline cubique uni-variée les datations entre les profondeurs datées, en affectant une contrainte monotone croissante aux résultats c'est-à-dire en forçant le calcul pour toujours obtenir une datation plus ancienne pour un niveau par rapport au niveau directement sus-jacent. Un minimum de 4 datations est requis pour effectuer cette opération. Le logiciel CLAM v1.0.2 n'a quant à lui été utilisé que pour réaliser de plus simples extrapolations linéaires entre les profondeurs datées, même s'il offre cependant toute une gamme de modélisations plus complexes. Les modèles d'âge des séquences présentant seulement 3 datations ont ainsi été effectués à l'aide de ce second logiciel.

Telford *et al.* (2004a) ont estimé, à la suite de tests répétés sur les mêmes jeux de données générées artificiellement, que les modèles d'âge basés sur des splines cubiques permettaient de produire des reconstructions du rythme de sédimentation plus proches de la réalité, à partir du moment où suffisamment de datations étaient disponibles (≥24 dates). Peu de séquences polliniques disposent d'un tel nombre de datations et celles du Bassin parisien ne dérogent pas à la règle. En effet, leur nombre varie entre 7 et 3 par profil. Néanmoins, l'utilisation d'une spline cubique uni-variée nous a tout de même paru préférable chaque fois que cela était possible car l'interpolation linéaire sous-tend l'hypothèse forte, mais difficilement vérifiable et rarement réaliste, que les changements de taux de sédimentation interviennent toujours au niveau des profondeurs datées, tandis que les courbes spline permettent à ce taux de varier entre ces niveaux repères en fonction de la position relative des dates le long du profil.

Les deux logiciels reposent sur un calcul bayésien qui prend en compte les dates ^{14}C disponibles et leurs profondeurs relatives. Ils fonctionnent tous deux par la génération d'un certain nombre d'itérations selon la méthode Monte-Carlo par Chaînes de Markov (MCMC). Le nombre d'itérations nécessaires à l'obtention d'un résultat satisfaisant est difficilement quantifiable car cela nécessiterait de réitérer l'opération en augmentant régulièrement ce nombre jusqu'à ce que la qualité du modèle d'âge obtenu n'augmente plus, or ces calculs demandent une certaine puissance de calcul et donc un certain temps (quelques minutes dans le cas de RenCurve v08/2011). Dans CLAM v1.0.2 le nombre d'itérations est paramétré par défaut à 1000, permettant ainsi d'obtenir des résultats quasiment instantanés. Cette quantité relativement restreinte d'itérations ne pose pas problème dans le cas de modèles d'âge basés sur une simple extrapolation linéaire et ne comportant que peu de dates. En revanche, pour réaliser des modèles d'âge plus complexes, basés sur des splines cubiques uni-variées comme c'est le cas pour RenCurve v 08/2011, ce nombre d'itérations a été porté à 100 000.

La modélisation du couvert végétal nécessite de ramener à une date unique l'ensemble de la plage de valeurs possibles pour chaque profondeur, exprimé par la FDP (Fonction de Densité de Probabilité) et résumé par l'intervalle HDP (de plus Haute Densité de Probabilité) à 95%. La détermination de cet âge unique estimé peut se faire via diverses méthodes. Cependant, les auteurs (MICHCZYNSKI 2007, TELFORD *et al.* 2004a, TELFORD *et al.* 2004b) s'accordent pour insister

sur le fait que nul âge unique ne peut représenter fidèlement la complexité de la datation et que la meilleure illustration de celle-ci reste la FDP. La conservation de cette complexité au fil des modélisations successives étant généralement ardue, on doit néanmoins se contenter d'un âge unique estimé pour chaque profondeur. Le choix de la bonne estimation pour cet âge apparait donc crucial. Suite à de multiples tests réalisés à partir de datations générées artificiellement, Telford *et al.* (2004b) et Michczyński (2007) arrivent à des conclusions divergentes quand à la méthode à adopter. Le premier opte pour une utilisation préférentielle de la moyenne pondérée de la FDP qu'il juge plus stable que le mode (l'année présentant la plus forte probabilité). Tandis que le second juge le mode plus précis dans la majorité des cas, même s'il affiche occasionnellement une grande différence avec la date réelle du fait de la nature fréquemment multimodale des FDPs des datations radiocarbone.

Tab. 2 : Liste des profils polliniques du Bassin parisien ayant suscité la réalisation d'un modèle d'âge et métadonnées relatives au nombre et au type de datations disponibles, au modèle utilisé et à l'âge unique estimé.

Site	Séquence	Nombre de datations	Type de datations	Modèle utilisé	Age unique estimé
Annet/Marne "vallée de la Beuvronne"	C1	7	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Beaurains-les-Noyon "Le Grand Marais"	C1	8	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Chelles sur Marne	C1-1985	5	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Chelles sur Marne	C2-1986	5	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Fresnes-sur-Marne " Le Chemin des Noues "	–	5	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Fresnes-sur-Marne " L'Ile du Gord "	C2	4	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Lesches "Les Prés du Refuge"	C2	6	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Lesches "Les Prés du Refuge"	C3	4	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Neuilly sur Marne "La haute ile"	C1	4	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Neuilly sur Marne "La haute ile"	C3	6	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Neuilly sur Marne "La haute ile"	C4	4	limites de ZAPRs	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Sénart "Tourbière du Cormier"	S2	5	mesures ^{14}C	RenCurve v08/2011	moyenne HDP
Annet/Marne "La Boucle de Jablines"	–	3	limites de ZAPRs	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Dourdan	C12a	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Dourdan	C13b	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Houdancourt "Esquillons"	Tr. 5	4	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Lailly "Le Gros Pré"	–	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Noyen "Le Haut des Nachères"	L196-GC 198 (haut)	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Noyen "Le Haut des Nachères"	L196-GC 198 (bas)	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Noyen "Le Haut des Nachères"	U211	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Rueil Malmaison "Les Closeaux"	Coupe 6 (St. 5)	4	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Warluis "Le Marais de Merlemont"	Z3	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée

Dans notre étude, chaque fois que cela était possible c'est-à-dire lorsque trois transitions au moins entre des palynozones ont été observées au sein d'un profil pollinique, les datations de ces transitions issues de la modélisation hiérarchique bayésienne ont été utilisées préférentiellement pour établir les modèles d'âges. Dans le cas contraire, les modèles d'âge ont été calculés à partir de datations radiocarbone. Parmi les séquences dont la chronologie est basée sur les limites de palynozones du Bassin parisien, la quasi-totalité comporte 4 transitions

ou plus (cf. Tab. 2). Leurs modèles d'âge ont donc pu être calculés sous RenCurve v08/2011. Seul celui de la séquence Annet Jablines qui ne compte que 3 transitions entre palynozones a du être effectué sous CLAM v1.0.2. La nature unimodale, globalement symétrique et à tendance gaussienne des FDPs des transitions entre palynozones (cf. Fig. 8) nous a amené à choisir la moyenne de l'intervalle HDP comme méthode de détermination des âges uniques estimés par RenCurve v08/2011 pour chaque profondeur de séquence. Parmi les séquences dont la chronologie est basée sur les mesures radiocarbone, la majeure partie ne comporte que 3 ou 4 datations seulement (cf. Tab. 2). Les modèles d'âge ont donc été calculés sous CLAM v1.0.2. La moyenne pondérée des FDPs qui est automatiquement fournie par ce logiciel (BLAAUW 2010) convient mieux à l'allure plus complexe et couramment multimodale des FDPs des datations ^{14}C calibrées (TELFORD *et al.* 2004b). Concernant le modèle d'âge de la séquence Sénart Cormier, qui compte 5 mesures radiocarbone, nous avons néanmoins préféré utiliser le logiciel RenCurve v08/2011 afin d'obtenir une courbe spline plutôt qu'une interpolation linéaire.

L'emploi des datations obtenues pour les limites de palynozones dans la réalisation d'une moitié des modèles d'âge des séquences polliniques individuelles induit une corrélation forcée entre les changements majeurs d'assemblages polliniques similairement observés au sein de toutes ces séquences. La chronologie des variations de proportions polliniques d'ordre inférieur est elle aussi touchée par cette corrélation, mais plus indirectement, car ces variations ne sont pas directement synchronisées entre les différentes séquences. En effet, les âges relatifs à chacune des profondeurs de l'ensemble des profils polliniques se trouvent alors affectés par cette opération. Cette pratique est décriée par certains auteurs (BLAAUW 2012) car elle ne repose pas, la plupart du temps, sur une analyse de datations absolues indépendantes de l'analyse pollinique telles que des mesures radiocarbone, ou autres. Cette critique parait tout à fait légitime lorsqu'elle s'applique à des situations où plusieurs signaux paléoenvironnementaux sont alignés sur la seule base de leurs dynamiques correspondantes, puis considérés comme synchrones de par la concomitance apparente de leurs variations. Cette concomitance étant le fruit de l'alignement opéré précédemment, on est alors confronté dans ce cas avec un raisonnement circulaire.

Dans notre étude, la situation est différente. La corrélation ne repose pas seulement sur la similitude observée des changements de concentrations polliniques dans les différents profils (LEROYER 1997), mais également sur une analyse statistique bayésienne des nombreuses datations radiocarbone associées à ces signatures polliniques (cf. Partie II 1.1.1). En effet, cet exercice a montré que, dans le cadre géographique et temporel de l'étude considérée, dans 89,6% des cas (173 dates sur 193) les datations radiocarbone, par définition indépendantes du signal pollinique, s'accordent avec les contraintes chronologiques imposées par la zonation pollinique. Ce résultat plaide fortement pour la validité de la portée régionale des palynozones du centre-est du Bassin parisien, ainsi que pour la légitimité de leur usage en tant que chronologie relative sur le secteur. Les estimations résultant du modèle bayésien pour les âges et durées des transitions entre les palynozones successives fournissent alors une chronologie absolue pour ces grands changements végétaux.

En retour, leur application aux séquences polliniques individuelles va mécaniquement avoir pour effet de lisser une possible variabilité inter-sites dans la dynamique de ces grands changements végétaux, comme en témoignent les datations radiocarbone considérées hors-tendance (« outliers ») par le modèle bayésien. Parmi ces 20 datations situées hors de la dynamique générale seules 13 sont relatives à l'Holocène et, parmi ces 13 dates, 5 uniquement proviennent de séquences polliniques utilisées pour reconstruire le couvert végétal de la région. Ces 5 dates proviennent de 3 séquences parmi les 21 sélectionnées.

Les figures 10a, 10b et 10c illustrent les différences entre les modèles d'âge obtenus pour ces trois séquences selon la démarche appliquée : utilisation des âges estimés des transitions de palynozones ou bien utilisation des datations radiocarbone jugées hors tendance par le modèle

bayésien. Si les différences se traduisent seulement par un décalage ponctuel correspondant à la datation hors tendance dans le cas de la séquence Annet Beuvronne C1 (cf. Fig. 10 a), ce décalage est plus général pour la séquence Lesches C3 (cf. Fig. 10 b). En effet, la datation intermédiaire, si elle n'est pas considérée hors tendance par le modèle car comprise entre les bornes supérieure et inférieure de sa palynozone de référence, n'en demeure pas moins hors du cadre du modèle d'âge obtenu sur la base des limites de zones polliniques. Ceci illustre l'effet indirect de l'établissement de nouveaux modèles d'âge sur la chronologie des changements végétaux. Dans le cas précis, le fait de les établir à partir des limites de palynozones, entraine une modification des dates proposées pour les changements végétaux secondaires. Ceux-ci, bien que ne contribuant pourtant pas à la définition de ces palynozones, se trouvent dans une position intermédiaire qui les rend dépendants des âges associés aux changements végétaux majeurs qui les encadrent.

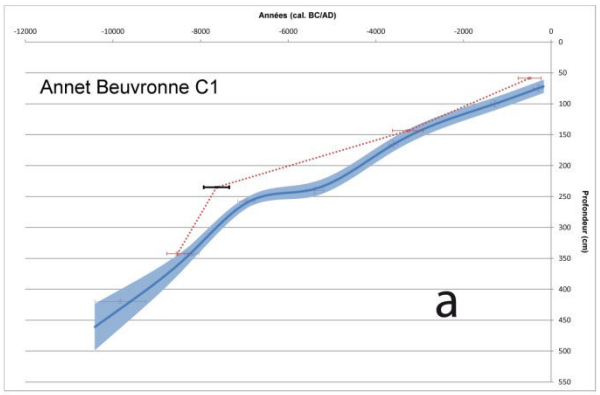
La datation ^{14}C la plus profonde renseignant la séquence de Fresnes Noues (cf. Fig. 10 c) illustre elle aussi le décalage possible entre les âges estimés pour chaque profondeur via chacune des deux méthodes, quand bien même aucune des datations relatives au profil n'a été considérée comme hors tendance.

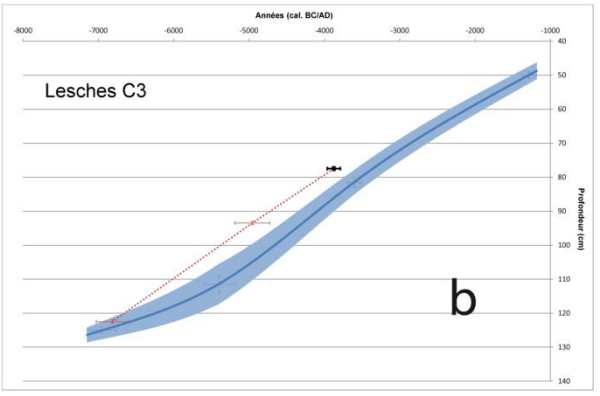
La comparaison des deux versions de modèles d'âge pour la séquence Beaurains C1 (cf. Fig. 10 d) met clairement en évidence l'intérêt de la méthode basée sur la zonation pollinique. Les trois datations hors tendance sortent bien du cadre fixé par la zonation pollinique, tandis que les deux autres s'y intègrent en tenant compte des incertitudes associées aux deux méthodes. De plus, le long intervalle entre partie supérieure et partie inférieure de la carotte s'en trouve nettement plus régulièrement balisé, ce qui permet de distinguer des rythmes de sédimentation variables tout au long du profil. Aussi, les inversions stratigraphiques supposées par certaines mesures radiocarbone douteuses s'en trouvent de fait corrigées car les zones polliniques se succèdent par définition dans le temps.

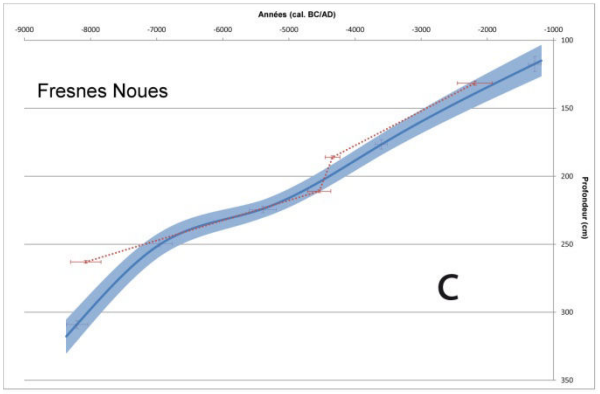
Certaines séquences ne disposant pas du nombre minimum de trois datations radiocarbone peuvent tout de même intégrer la modélisation du couvert végétal si l'analyse pollinique a permis d'identifier au moins cinq palynozones, c'est-à-dire au moins trois transitions (cf. Fig. 10 e et f).

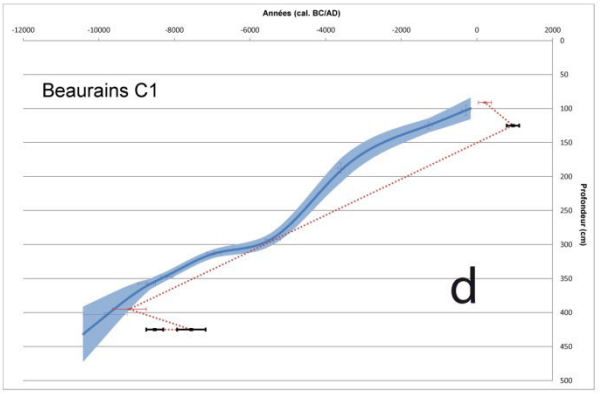
Enfin, les modèles d'âge obtenus via l'utilisation de CLAM v1.0.2 en interpolation linéaire sont illustrés par les séquences d'Houdancourt Tr.5 et de Lailly (cf. Fig. 10 g et h). Contrairement aux modèles d'âges réalisés sous RenCurve v08/2011, utilisant une moyenne de l'intervalle HDP pour déterminer un âge unique estimé pour chaque profondeur non datée, on peut remarquer que la plage d'incertitude est ici asymétrique de part et d'autre de la valeur unique estimée, du fait de l'utilisation de la moyenne pondérée de la FDP de chaque profondeur.

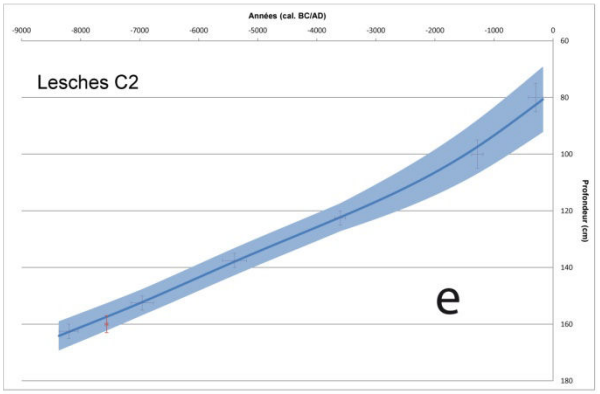
On peut regretter que certaines séquences, présentant des datations radiocarbone contredisant (comme c'est le cas pour trois séquences : Fig. 10 a, b et c) ou plus généralement divergeant plus ou moins légèrement (comme c'est le cas pour la plupart des autres séquences) des modèles d'âge obtenus via l'utilisation des limites de palynozones, se trouvent ramenées à une tendance moyenne. Néanmoins, l'intégration de toutes ces séquences dans la modélisation du couvert végétal régional ayant pour propriété de produire des proportions moyennées pour l'ensemble de l'aire d'étude, et donc de masquer les éventuelles particularités locales, on peut raisonnablement penser que l'utilisation des limites de palynozones pour établir la chronologie des séquences individuelles ne constitue pas un obstacle pour l'estimation des évolutions des proportions des différents taxons végétaux dans le couvert végétal régional holocène du Bassin parisien.

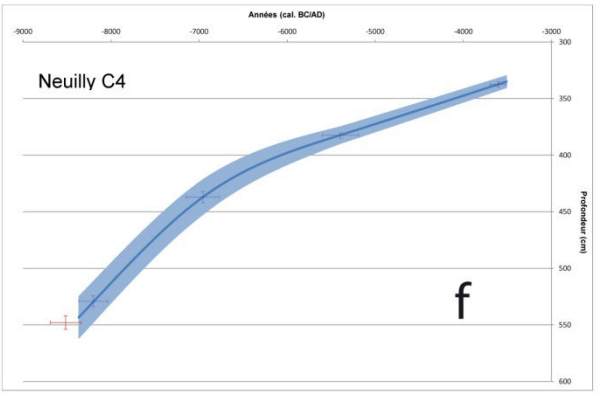

Années (cal. BC/AD)
Annet Beuvronne C1
a
Profondeur (cm)

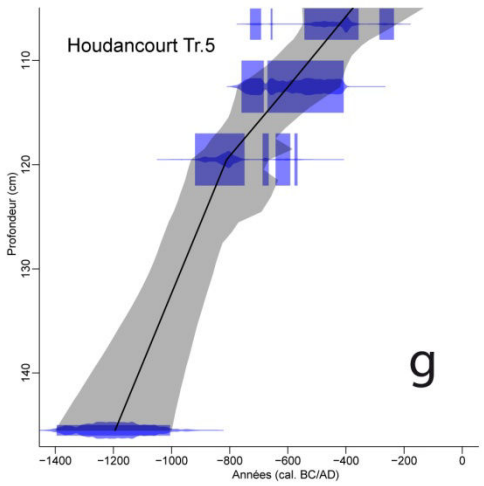

Années (cal. BC/AD)
Lesches C3
b
Profondeur (cm)

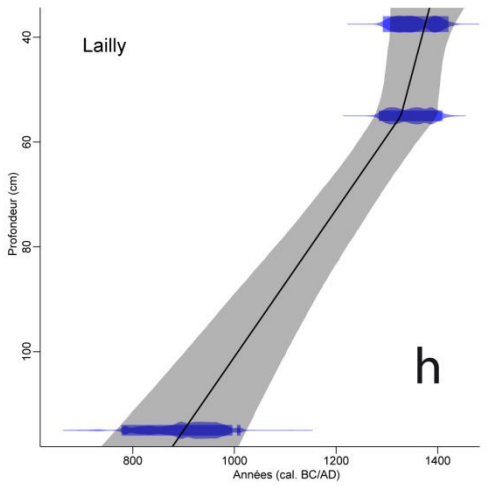

Années (cal. BC/AD)
Fresnes Noues
c
Profondeur (cm)


Années (cal. BC/AD)
Beaurains C1
d
Profondeur (cm)


Années (cal. BC/AD)
Lesches C2
e
Profondeur (cm)


Années (cal. BC/AD)
Neuilly C4
f
Profondeur (cm)


Houdancourt Tr.5
g
Profondeur (cm)
Années (cal. BC/AD)


Lailly
h
Profondeur (cm)
Années (cal. BC/AD)

A l'inverse, le nombre très important de datations radiocarbone ayant concouru à l'établissement des bornes chronologiques des palynozones du Bassin parisien confère à celles-ci un caractère plus robuste que la valeur obtenue pour une mesure radiocarbone unique relative à un échantillon donné. De multiples sources d'erreurs peuvent intervenir lors du processus de datation (GOH 1972, PIOTROWSKA *et al.* 2010, SCHARPENSEEL & SCHIFFMANN 1977, TORNGVIST *et al.* 1992, TURETSKY *et al.* 2004, WOHLFARTH *et al.* 1998), conjuguées avec la nature aléatoire de la mesure physique elle-même (Scott *et al.* 2007) et mènent ainsi à l'obtention de datations radiocarbone plus ou moins fiables et/ou plus ou moins divergentes selon les cas. La décision de les conserver ou de les rejeter peut parfois s'avérer difficile et relève alors souvent d'une bonne part de subjectivité. Ainsi, Wohlfarth *et al.* (1998) rapportaient dans leur article traitant des écueils de la datation radiocarbone la citation suivante qui résume fort bien l'attitude généralement adoptée face aux résultats de datation :

"If a ^{14}C date supports our theories, we put it in the main text. If it does not entirely contradict them, we put it in a foot-note. And if it is completely "out of date", we just drop it" (Säve-Söderbergh & Olsson (1970), p. 35, citing the American archeologist Brew).

Au travers des contraintes d'antéro-postériorité fixées par les informations *a priori*, la modélisation hiérarchique bayésienne agît exactement de la même façon pour les cas extrêmes qui appellent une acceptation ou un rejet immédiat de la datation. La différence majeure avec la méthode commune réside cependant dans les nombreux cas intermédiaires. En effet, la méthode statistique bayésienne permet de traiter ces situations plus objectivement, à partir non seulement des hypothèses de départ formulées par l'analyste mais également de l'ensemble des mesures radiocarbone disponibles. L'utilisation des limites de palynozones comme cadre chronologique pour les séquences individuelles, en lieu et place des datations ^{14}C propres à ces mêmes séquences, permet de résoudre efficacement ce genre de dilemmes car ces limites intègrent préalablement l'ensemble des cas litigieux de la zone d'étude et y répondent de manière statistique compte-tenu d'un bien plus large panel de données.

Fig. 10 : Exemples de modèles d'âges relatifs aux séquences polliniques du Bassin parisien. Les cases a, b, c, d, e et f représentent des modèles d'âge réalisés sous RenCurve v08/2011 (Lanos et al. 2004). Dans celles-ci, l'âge unique estimé pour chaque profondeur correspond à la courbe en bleu foncé et la bande en bleu clair illustre l'intervalle HDP à 95% associé avec chacun de ces âges. Les datations de limites de ZAPRs ayant servi à la réalisation des modèles d'âge sont représentées par des croix bleues. La barre horizontale correspond à l'étendue temporelle de la transition entre deux ZAPRs et la barre verticale à l'épaisseur de sédiments séparant les deux échantillons polliniques successifs relatifs à ces ZAPRs. Les croix rouges reliées par des lignes pointillées de la même couleur représentent les datations 14C disponibles pour chaque séquence. La barre horizontale correspond à l'incertitude temporelle de la date calibrée et la barre verticale à l'incertitude sur la profondeur datée. Les mesures radiocarbone jugées hors tendance au vu de la détermination statistique des périodes de transitions entre ZAPRs sont notées en noir. Les cases g et h représentent des modèles d'âge réalisés sous CLAM v1.0.2 (Blaauw 2010). Dans celles-ci, les l'âge unique estimé pour chaque profondeur correspond à la courbe en noir et la bande en gris clair illustre l'intervalle HDP à 95% associé avec chacun de ces âges. Les datations 14C ayant servi à la réalisation des modèles d'âge sont chacune représentées par leur FDPs et HDP à 95% en bleu.

1.2 - MODELISATION DE LA VEGETATION DU BASSIN PARISIEN

1.2.1 - THE HOLOCENE VEGETATION COVER OF THE PARIS BASIN: FACING PROBLEMS OF BASIN SIZE, DEPOSITION MODE AND RECONSTRUCTION SCALE

The Holocene vegetation cover of the Paris Basin: facing problems of basin size, deposition mode and reconstruction scale

David Rémi, Leroyer Chantal, Mazier Florence, Lanos Philippe, Dufresne Philippe, Allenet de Ribemont Gisèle, Aoustin David

(Article à soumettre)

Abstract

This paper presents an application of the REVEALS model (REgional VEgetation Abundance from Large Sites), based on the Landscape Reconstruction Algorithm (LRA), within the central-eastern part of the Paris Basin. In order to determine a suitable approach for applying the REVEALS model to pollen records from paleochannels, some tests were realized concerning the sizes of the sedimentary basins and the dispersal and deposition functions. To identify the appropriate spatial extent of the reconstruction, REVEALS estimates of vegetation cover were produced at two different scales, using all the 21 sites of the regional dataset in one hand, and only the 11 sites from a smaller part of the region in the other hand. The results show a similar general pattern of vegetation cover for both areas, mainly resulting from the Holocene tree-spreading under climate trends. However, concerning certain periods, some variations highlight the filtering effect of *Alnus* around the edges of the deposition basins on the other taxa's proportions. The reconstructed vegetation cover also testifies of a range of natural and/or anthropogenic smaller-scaled influences. REVEALS estimates provide higher values of landscape/woodland openness than pollen percentages, particularly for the beginning and the end of the Holocene. Spatial and temporal biases are noticed within the dataset and their impact on the results is discussed, comparing to previous attempts to reconstruct regional vegetation cover from different parts of Europe.

Introduction

Climate amelioration and the establishment of more stable environmental conditions characterize the Holocene compared to previous periods of the Würmian Ice age and the Late glacial. These more favourable conditions allowed the successive development of different plant taxa in the European landscapes. Thus, the combination of biotic and abiotic factors (soils, hydrographical network, topography, interspecies competition) resulted in different patterns of range expansion of plants that has been observed through the continent by the way of numerous pollen cores. Since the second half of the Holocene, the proximity of archaeological sites within the deposition basins also induce anthropogenic disturbances in pollen records. Concerning the central-eastern part of the Paris Basin, the Holocene vegetation history has been summed up from an amount of 91 pollen stratigraphies (LEROYER 1997), and also detailed and discussed in confrontation with other approaches such as geomorphology (CHAUSSÉ *et al.* 2008, LE JEUNE *et al.* 2012, PASTRE *et al.* 2002a, PASTRE *et al.* 2003), anthracology (LEROYER *et al.* 2011) and archaeology (BLANCQUAERT *et al.* 2012, LEROYER 2003,2004,2006a).

In a general way, pollen-analytical data are of major interest for many other disciplines. Thus, in addition to multiproxy approach that can be conducted with other palaeoenvironmental disciplines, there is an increasing need for past landscapes reconstructions in terms of spatially quantified proportions of taxa or functional groups of taxa. Indeed, testing ecological hypothesis such as the landscape opening degree under the influence of large animals grazing (VERA 2000) requires estimates of landscape/woodland opening for ancient times. Similarly, the hypothesis of human induced impact on global climate warming via agricultural practice and deforestation since the early Holocene (RUDDIMAN 2003,2005, VAVRUS *et al.* 2008) depends on reconstructions of regional vegetation cover. The accuracy of the Global Climate Models (GCMs) also necessitates a better understanding of past landscape dynamics because of the impact of land cover-climate feedbacks on the simulations. Finally, the increasing willingness of archaeologists to assess the resource availability or the extent of human landscape transformations associated with their sites makes them more interested in estimates of vegetation cover proportions.

Nevertheless, the non-linear relationship between pollen percentages and vegetation cover (BERGLUND & RIDDERSPORRE 1991, FAEGRI & IVERSEN 1989, FAGERLIND 1952, PRENTICE & WEBB 1986) leads to under or overestimate, according to the cases, the different taxa proportions in the vegetation cover. So, the arboreal/non-arboreal pollen ratio is considered by some authors as an inappropriate proxy to estimate landscape/woodland openness (HELLMAN *et al.* 2009, SUGITA *et al.* 1999). Variations of pollen productivity and dispersal-deposition mechanisms between species generate disturbances in the ratios between species abundances in past landscapes and in pollen stratigraphies.

Since the beginning of pollen-analytical studies, this problem has been pointed out by authors (HESSELMAN 1916, VON POST 1916). The "R-value" concept (DAVIS 1963) constituted a first attempt to address this issue but, due to limitations in its application, it has been too rarely used by palynologists (GAILLARD *et al.* 2008). Thus, "correction factors" (ANDERSEN 1970,1973) have filled the need for vegetation cover quantitative reconstructions and were more widely adopted by the pollen analysts community. In the 1980's, the development of an "Extended R-Value" model (ERV model) (PARSONS & PRENTICE 1981, PRENTICE & PARSONS 1983, PRENTICE 1985,1988), which add a modified version of the Sutton's particles dispersal equation (SUTTON 1953) to the

R-value, revived the concept of Davis (1963). The so-called "Prentice model" described the pollen dispersal and deposition from source plants of different taxa, with relative pollen productivities, to a sedimentation basin type where horizontal movement of pollen grains after their deposition is negligible, such as bogs and fens. Then, Sugita (1993) modified it to obtain the estimate of pollen deposition over the entire surface of a basin where horizontal mixing of pollen grains can occur. This new version, called "Sugita model", can be applied to pollen records from lakes and mires. Due to the conceptual proximity between the Prentice and Sugita models, they are currently joined in the so-called "Prentice-Sugita model" (GAILLARD *et al.* 2008). Finally, the whole approach of the Prentice-Sugita model was integrated within the Landscape Reconstruction Algorithm (LRA) (SUGITA 2007a,b), composed of both REVEALS (REgional VEgetation Abundance from Large Sites) and LOVE (LOcal Vegetation Estimates) models. These two models allow to quantitatively reconstruct past vegetation cover from pollen records, respectively at regional and local scales.

The aim of this paper is to produce regional estimates of vegetation cover for the Paris Basin, so we only use the first step of the LRA. Most of the pollen stratigraphies from the Paris Basin dataset do not come either from lakes or bogs, but from paleochannels of floodplains. Thus, applying the REVEALS model to these particular sedimentary contexts is not an obvious case and requires testing the model outcomes with different hypothesis concerning (i) the basins sizes, (ii) the dispersal and deposition functions and (iii) the extent of the reconstructed area. Indeed, testing the impact of these input choices on the REVEALS estimates of the Paris Basin appears to be a necessary first step before determining the appropriate approach to reconstruct the Holocene vegetation cover from that type of sedimentary contexts. Then, we present the results for the selected geographical area and discuss them, especially in terms of landscape/woodland openness. We conclude with the limitations of these results and the possible ways to improve them.

I - Materials and methods

A) The Landscape Reconstruction algorithm

The LRA is divided into two steps. The first one aims to reconstruct regional vegetation composition in 10^6-10^7 ha (10^4-10^5 km^2) using the REVEALS model (SUGITA 2007a). The second one applies the LOVE model which requires to determine the "Background Pollen" from the results of the first step in order to remove the regional influence from the total "Pollen Loading". Thus, the LOVE model outputs represent the local vegetation cover within smaller areas (≤ 10^4 ha) using pollen records from smaller sized sites (SUGITA 2007b).

Here, we only apply the first step of the LRA, the REVEALS model, to estimate the regional vegetation cover of our study area. The prerequisite data for using the REVEAL model are: (i) pollen counts from the sites, (ii) an estimate of the relative pollen productivity of the taxon (PPE), (iii) an estimate of the fall speed of pollen (FSP in m/s), (iv) the radius of the depositional basins, (v) an estimate of the maximum extent of the region from which pollen is derived (Zmax in Km), and (vi) a taxon-specific pollen dispersal-deposition function based either on Prentice (1985) for bogs or Sugita (1994) for lakes.

The Pollen Productivity Estimates (PPE) are obtained by empirical measures and calculations based on both actual vegetation cover and modern pollen samples from moss pollsters (BROSTRÖM *et al.* 2008). They describe the relationship between vegetation and pollen abundance for taxa within a region by defining coefficients of pollen productivity for each taxon relatively to a reference taxon. The PPEs and their Standard Errors (SE) used to reconstruct the Holocene vegetation cover of the Paris basin are derived from those developed for the LANDCLIM project ($PPE.st_2$) (MAZIER *et al.* 2012) (see Tab. 3). Within these mean European PPEs values calculated for 36 different taxa, 25 are relevant to anemophilous taxa and the 11 others to entomophilous taxa (or at least some of the species grouped within a same PPE). It has been showed that the inclusion of the entomophilous taxa may affect the REVEALS estimates and also conflict with the LRA's assumption of wind transport of pollen only (MAZIER *et al.* 2012). So, the methodological choice for the LANDCLIM project was to exclude the PPEs of those 10 entomophilous taxa and keep only the 25 PPEs of the anemophilous taxa (GP_2) (MAZIER *et al.* 2012).

The Fall Speeds of Pollen (FSP) are measures of the rate of falling of pollen grains in the atmosphere for each taxon in meters per seconds (see Tab. 3). They were obtained from the literature (BROSTRÖM *et al.* 2004, BROSTRÖM *et al.* 2008, EISENHUT 1961, MAZIER *et al.* 2008, SUGITA *et al.* 1999) or calculated according to Stokes' Law (GREGORY 1973).

Tab. 3 : Pollen Productivity Estimates (PPEs) and Fall Speed of Pollen (FSPs) for pollen taxa used within the REVEALS analysis (Mazier et al. 2012).

Taxon	PPE	FSP ($m.s^{-1}$)
Abies	6.88	0.12
Alnus	9.07	0.021
Artemisia	3.48	0.025
Betula	3.09	0.024
Calluna vulgaris	0.82	0.038
Carpinus	3.55	0.042
Cerealia-t	1.85	0.06
Corylus	1.99	0.025
Fagus	2.35	0.057
Filipendula	2.81	0.006
Fraxinus	1.03	0.022
Gramineae	1	0.035
Juniperus	2.07	0.016
Picea	2.62	0.056
Pinus	6.38	0.031
Plantago lanceolata	1.04	0.029
Plantago media	1.27	0.024
Plantago montana	0.74	0.03
Quercus	5.83	0.035
Rumex acetosa-t	2.14	0.018
Salix	1.22	0.022
Secale-t	3.02	0.06
Tilia	0.8	0.032
Ulmus	1.27	0.032

The scale of the reconstructed regional vegetation cover may vary, depending on the homogeneous or patchier structure of the vegetation. Thus, different Zmax values, from 50 to 400 km, can be found in the literature. Some are based on simulations (SUGITA 2007a, SUGITA *et al.* 2010) and others on satisfactory correspondences between REVEALS estimates and the actual vegetation cover within a given size region (GAILLARD *et al.* 2010, HELLMAN *et al.* 2008b, SOEPBOER *et al.* 2010). As Mazier *et al.* (2012) showed that different values of Zmax (i.e. 50, 100 and 200 km) did not affect the REVEALS estimates, we set Zmax to 100 km roughly corresponding to the area with available pollen data.

Validation of the first step of the LRA (REVEALS model) against modern vegetation using pollen counts from lake sediments in Europe: southern Sweden (HELLMAN *et al.* 2008a), Denmark (NIELSEN & ODGAARD 2010), Switzerland (SOEPBOER *et al.* 2010); and in northern America: Michigan and Wisconsin (SUGITA *et al.* 2010) has been successful for regional vegetation cover reconstructions.

Applications of the REVEALS model for reconstructing past vegetation covers has been successfully attempted in several European countries using pollen records from large lakes: southern Sweden (SUGITA *et al.* 2008), Switzerland (SOEPBOER *et al.* 2010); and from multiple large and small sites, lakes and bogs: Czech Republic (MAZIER *et al.* 2012), Denmark and northern Germany (NIELSEN *et al.* 2012), British Isles (FYFE *et al.* 2013).

Most of those studies were conducted in the framework of the LANDCLIM project (LAND cover-CLIMate interactions in NW Europe during the Holocene). The main objective of this program and research network is to quantify human induced changes in regional vegetation/land cover in north-western Europe during the Holocene and thus to evaluate the possible effects of these historical changes of land cover on past European climate (GAILLARD *et al.* 2010).

B) The Paris basin's dataset

a) Available pollen-analytical data

The first pollen-analytical study from the Paris Basin occurred in the 1930s (Dubois et Dubois 1934). Then, numerous sites were studied within the region by different pollen analysts during the XXth century (DUBOIS & DUBOIS 1937b, JALUT 1966,1967, NILSSON 1960, SAUVAGE 1954). The synthesis published by Van Zeist and Van der Spoel-Walvius (1980) marks a methodological turning point for palaeoenvironmental studies from this area by establishing Pollen Assemblage Zones (PAZ) dated by the mean of 20 radiocarbon measures. Then, Leroyer (1997) produced a synthesis concerning the central-eastern part of the Paris Basin, based on 91 new pollen stratigraphies and 197 ^{14}C datings. She proposed 7 Regional PAZs (RPAZs) numerated from IV to X which summarize the history of the vegetation dynamics within this area during the Holocene.

Pollen records used in this study all derive from this unique last analyst, so the spatial distribution of the sites results primarily from her research interests. Most of the selected data comes from her PhD thesis (LEROYER 1997) and more recent analysis (see Tab. 4) interested in describing the Holocene vegetation changes within the different hydrographical basins of the

central-eastern part of the Paris Basin. Thus, main groups of sites are concentrated along the valley floors of the Seine River and its major tributaries, such as the Marne and Oise (see Fig. 11). Proximity to archaeological sites, or at least to areas with relatively high human occupancy degree, has often been sought to assess the impact of these communities in their natural environment. The geomorphological context associated with the pollen cores has also been particularly studied.

Tab. 4 : Metadata informations for sites included within REVEALS analysis. Site numbers refers to numbers of Fig. 11.

Site no.	Site name	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Basin type	Site Radius (m)	Regional grouping	References
1	Beaurains-les-Noyon "Le Grand Marais"	49.62	2.9828	105	paleochannel	85	–	Leroyer & Allenet 1996, Leroyer 2006b, Leroyer & Allennet 2006a
2	Houdancourt "Les Esquillons" Tr 5	49.32806	2.66222	80	paleochannel	23	–	Leroyer 2006b, Leroyer & Allennet 2006a
3	Warluis "Le Marais de Merlemont" z3	49.38972	2.19056	94	paleochannel	23	–	Coutard *et al.* 2010
4	Rueil-Malmaison "Les Closeaux" Cpe 6	48.87056	2.15333	73	paleochannel	23	–	Leroyer & Allenet 1997
5	Neuilly/Marne "La Haute Ile" C1	48.85361	2.53778	81	paleochannel	85	Marne	Leroyer & Allenet 1999, Leroyer 2003, Leroyer 2006a, Lejeune *et al.* 2012
6	Neuilly/Marne "La Haute Ile" C3	48.85361	2.54056	82	paleochannel	85	Marne	Leroyer & Allenet 1999, Leroyer 2003, Leroyer 2006a, Lejeune *et al.* 2012
7	Neuilly/Marne "La Haute Ile" C4	48.85389	2.54167	82	paleochannel	85	Marne	Leroyer & Allenet 1999, Leroyer 2003, Leroyer 2006a, Lejeune *et al.* 2012
8	Chelles "le Fossé de Travers Ouest" C1 (1985)	48.86694	2.60944	84	paleochannel	85	Marne	Allenet & leroyer 2006, Lejeune *et al.* 2012
9	Chelles "le Fossé de Travers Ouest" C2 (1986)	48.86722	2.60722	82	paleochannel	85	Marne	Allenet & leroyer 2006, Lejeune *et al.* 2012et Allenet
10	Annet/Marne "La Boucle de Jablines"	48.90917	2.745	83	paleochannel	31	Marne	Leroyer 1996a, Leroyer 1997, Leroyer 2004, Leroyer 2006a
11	Fresnes/Marne "Le Chemin des Noues"	48.92667	2.75722	87	paleochannel	18	Marne	Leroyer 1995, Leroyer 1997, Leroyer 2006a, Leroyer & Allenet 2006a
12	Fresnes/Marne "l'Ile du Gord" C1	48.92306	2.74194	87	paleochannel	113	Marne	Leroyer 1995, Leroyer 1997, Leroyer 2003, Leroyer & Allenet 2006a
13	Annet/Marne "vallée de la Beuvronne"	48.94333	2.71472	90	paleochannel	226	Marne	Leroyer 1996a, Leroyer 1997, Leroyer 2006a
14	Lesches "Les Prés du Refuge" C2	48.92583	2.79278	87	marais	126	Marne	Leroyer 1997, Leroyer & Allenet 2006a
15	Lesches "Les Prés du Refuge" C3	48.92583	2.79472	86	marais	126	Marne	Leroyer & Allenet 2006b, Lejeune *et al.* 2012
16	Sénart "Tourbière du Cormier"	48.67861	2.49361	135	tourbière	32	–	Allenet & Leroyer 2005
17	Dourdan C12 A	48.55889	1.95639	214	tourbière	18	–	Leroyer & Aoustin 2010
18	Dourdan C13B	48.55667	1.94806	219	tourbière	23	–	Leroyer & Aoustin 2010
19	Noyen "Le Haut des Nachères" L196	48.45361	1.33083	105	paleochannel	68	–	Leroyer 1997, Leroyer 2004, Leroyer 2006, Leroyer & Allenet 2006a
20	Noyen "Le Haut des Nachères" U211	48.45361	1.33083	105	paleochannel	68	–	Leroyer 1997, Leroyer 2004, Leroyer 2006, Leroyer & Allenet 2006a
21	Lailly "Le Gros Pré"	48.23972	1.53361	148	paleochannel	56	–	Leroyer 1996b, Leroyer 1997

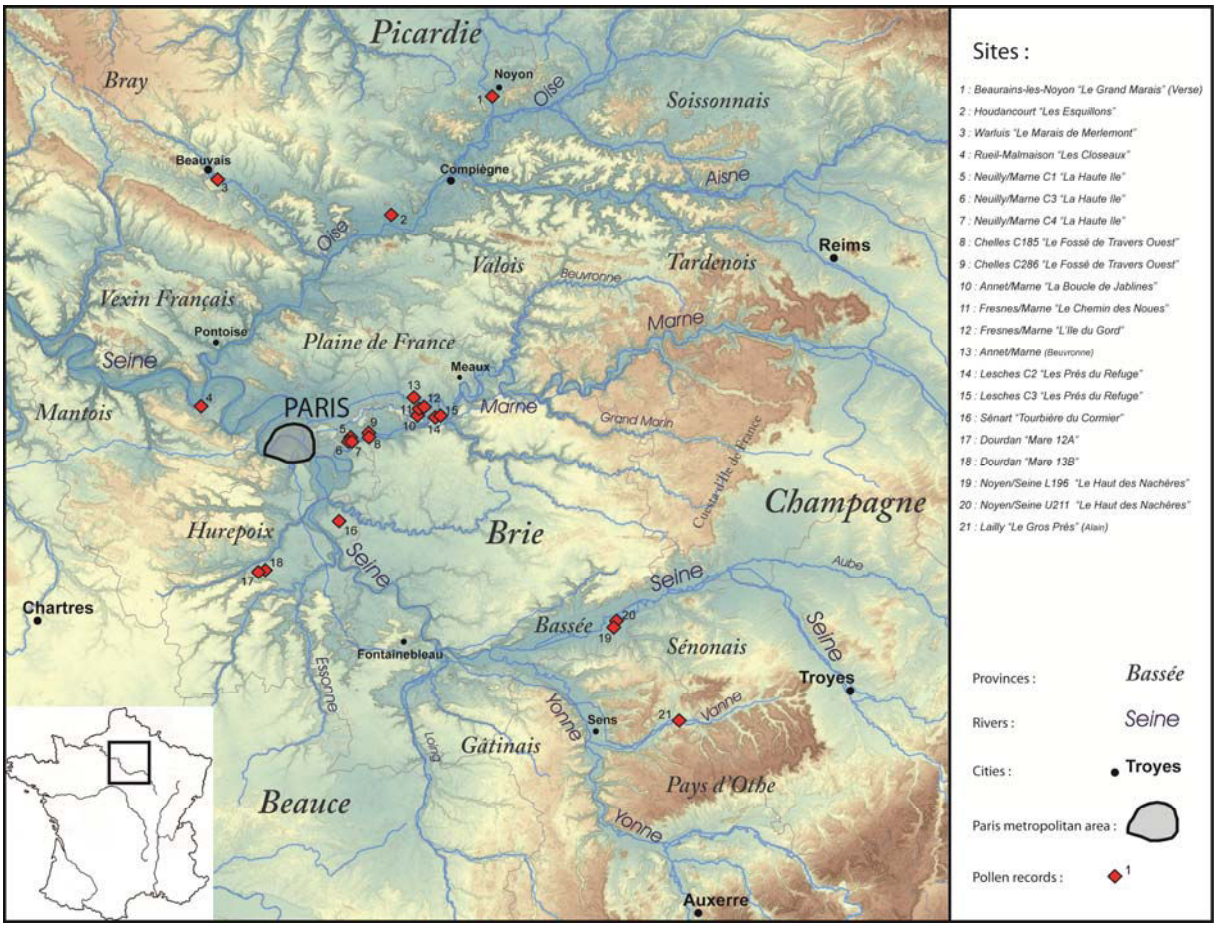


Fig. 11 : Distribution of datasets within the central-eastern Paris Basin from which the pollen counts were obtained.

b) Geomorphological context

Paleochannels of floodplains are the main source of suitable deposits for pollen-analytical studies from the Paris Basin (LEROYER 1997). Indeed, at the beginning of the Holocene, the major beds of the well developed regional hydrographical system, composed of large floodplains inherited from the Glacial and Late Glacial periods, present many depressions dug by the successive active minor beds of the braided streams. Then, through the Holocene, those channels are successively re-incised during active phases and/or then progressively filled with more and more organic sediments through their abandonment by the minor beds of the rivers and the return to the calm deposition conditions of oxbow lakes. Frequently, those isolated water surfaces evolve into peat bogs with the lowering of the water table or with their progressive filling by plants remains. Extensive field studies has led to a precise understanding of the successive steps occurred in the formation of the Holocene paleochannels from the Paris Basin (CHAUSSÉ *et al.* 2008, LE JEUNE *et al.* 2012, ORTH *et al.* 2004, PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2002a).

Thus, three general incisions of the active minor beds can be observed in the Holocene sediments from the Paris Basin paleochannels. The first one occurred at the beginning of the Preboreal (RPAZ IV), so around 9450 cal. BC or before, probably resulting from meltwater

discharges of the end of the Late Glacial. It can be systematically noticed in all the Paris Basin valleys. Inversely, the second one appears seldom at the transition from the Ancient Atlantic (RPAZ VI) to the Recent Atlantic (RPAZ VII) around 5350 cal. BC, and only in the largest valleys. Finally, at the end of the Subboreal (RPAZ VIII) around 1250 cal. BC, the third one also incised the large valleys but with a more extent than the previous one. Nevertheless, its impact was clearly lower than first the incision of the early Holocene.

Between these shortages in the sedimentary influx, mineral to organic deposits filled the abandoned channels. The sedimentary composition of this filling mainly depends on local topographic and hydrographical conditions but also on general regional climatic tendencies and/or anthropological disturbances. Thus, due to regional biostasic conditions between the beginning of the Preboreal and the Ancient to Recent Atlantic transition, organic and frequently peaty sediments were deposited in the hollows of the major beds, and also in the inactive minor beds, of the main valleys and their tributaries. Most of the time, these sedimentary conditions remains unchanged until the Subboreal in the small valleys, which are currently not affected by the second incision of the Holocene, but for some re-incised minor beds of the large valleys the organic deposition only restart after the abandonment of the channel. The growing impact of human cultures of the Neolithic and particularly of the Bronze Age (deforestation, pastoralism, cultivation) led to a progressive destabilization of the soils from the slopes around the basins and so the mineral fraction rise within the sediments until the end of the Subboreal. Concerning the channels re-activated at the end of this period and thus affected by the third incision of the Holocene, a part of the sediments deposited before has been generally eroded. In these cases, sedimentary hiatuses can be noticed in the cores stratigraphies before the new deposition of thick layers of even more mineral sediments than previously. Those layers are composed of silts carried upon the whole major beds of the large valleys of the Paris Basin during relatively important flooding events. The increased anthropogenic disturbances on the environment during the Iron Age and the Roman period is currently regarded as one of the main factors generating these floods, combined with the climatic deterioration of the Ancient Subatlantic (RPAZ IX) around 550 cal. BC. In some hollows of the small valleys, peaty deposits are encountered during the Early Middle Ages as a result of the level rise of the water table but they are usually covered by silty sediments layers of the later phases of the Recent Subatlantic (RPAZ X) from 1100 cal. AD to present times.

Thus, suitable deposits for pollen-analytical studies are numerous for the 9450-1250 cal. BC period, due to a general sedimentary context characterized by relatively important organic fractions within most of the inactive channels of the Paris Basin. Nevertheless, the number of available pollen stratigraphies slightly decrease around 5350 cal. BC because of the second Holocene incision observed for some active channels. The situation is more problematic for the period from 1250 cal. BC to nowadays. Indeed, the silty deposits resulting from successive flood events are almost exclusively composed of mineral sediments that are unfit for pollen grains preservation. Anyway, the clearly fluvial origin of these layers prohibited their use to produce REVEALS estimates because of the assumed aerial transport of pollen grains within the model. Despite to these issues, the morphological diversity of the potential sedimentary basins from the major beds of the Paris Basin leads to always find some suitable material for pollen-analytical studies, even concerning unfavourable periods. Thus, a few peaty deposits of some depressions from small valleys allow to quantitatively reconstruct the vegetation cover of the late Holocene too.

c) Data selection

According to the prerequisites of the first step of the LRA a large majority of the available sites from the Paris Basin were excluded from this modelling approach. These key criteria for inclusion were defined by Mazier *et al.* (2012) for the LANDCLIM project such as: (i) sufficient chronological control with at least three radiocarbon dates (d3), (ii) raw pollen count data, (iii) sufficient metadata (e.g. site radius), (iv) precise geolocational data for the site.

The first criteria, the need for sufficient chronological data associated with the pollen stratigraphies in order to produce age-depth models for each continuous pollen record constitutes the major limiting factor for the use of the Paris Basin sequences. Indeed, with a mean value of 2.15 radiocarbon datings per core, most of the pollen records were initially excluded from the modelling approach. Furthermore, close attention was paid to hiatuses detection within the pollen cores from paleochannels due to the particular sedimentary context. Thus, their quite common occurrence induced a new decrease of the number of suitable pollen records. In order to overcome this important data loss, we also integrated some pollen stratigraphies dated through the medium of statistical Bayesian calculation of the chronological boundaries of the RPAZs of the central-eastern Paris Basin (DAVID *et al.* in prep.-a). Then, new age-depth models for each site were established using CLAM (BLAAUW 2010) with linear regression interpolation for continuous pollen records with only three dated samples, and RenCurve (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.) with cubic spline interpolation and Bayesian approach. Finally, only 21 of the total amount of 91 available pollen stratigraphies satisfied the criteria of presenting at least three dated samples within a continuous sedimentary sequence and have been used to quantitatively reconstruct the Paris Basin Holocene vegetation cover (see Fig. 11).

Concerning the site's radii, whenever it was possible, we evaluated the radii of the sedimentary basins through local maps and geomorphological transects. However, given the particular sedimentary context of the paleochannels, if their width is relatively easy to determine *in situ* through geomorphological studies, estimating their length appears to be more problematic (see I. C. a.).

Raw pollen counts and precise geolocational data for the cores were readily available for all the selected pollen records.

All the samples from the selected pollen stratigraphies, now associated with an age for each, were aggregated into 33 time windows with various temporal extents, from 150 to 500 years and a mean of 350 years. Thus, we obtained a single count for each time window over the whole reconstructed area. The chosen limits try to follow the temporal framework of the main archaeological cultures within the region for the whole Holocene. However, we are very conscious that the debate about this framework is still open within the archaeological community. Thus, these limits should not be considered as absolute archaeological limits, but rather as a practical and arbitrary but also inevitable choice for applying the REVEALS model.

d) Spatial biases within the dataset

Non negligible spatial biases are present within the dataset. One of the most important of them is the almost exclusive fluvial origin of pollen records from the Paris Basin. Indeed, the favourable sedimentary conditions of paleochannels led the regional pollen-analysts to concentrate the research on that type of basins. Thus, only three of the selected pollen stratigraphies come from another topographical area and a different sedimentary context, the so-called "mardelles" (ETIENNE *et al.* 2010, ETIENNE 2011, ETIENNE *et al.* 2011, ETIENNE *et al.* 2013) from the neighbouring plateaus (see Tab. 4) (sites no. 16, 17, 18). Their impact on the results will be discussed further (see III. A.).

Nevertheless, the bias is not so much related to the fluvial nature of the deposits than to their unique topographical distribution. Obviously, paleochannels always occur in valley floors and thus plant taxa growing in these particular contexts will be more represented within the pollen loading of the basins than those growing on the slopes or the plateaus further away. According to Sugita (2007a), the REVEALS estimates represent the whole regional vegetation cover within a 50-400 km radius when a sufficient number of randomly distributed sites are used. In this study, the sites appear to be anything but randomly distributed within the landscape. Consequently, the characteristic plant taxa from the valley floors (e.g. *Alnus*, *Cyperaceae*, Poaceae) will be over-estimated within the REVEALS outputs compared to the taxa from the slopes and the plateaus (e.g. *Quercus*, *Ulmus*, *Fagus*). It is a particularly important caveat for the basins with a small radius (< 390 m) (SUGITA 2007a) which are more influenced by the local vegetation than the larger ones (see I. C. a.).

C) Application of the REVEALS model to paleochannels of floodplains

The REVEALS model is defined with a series of assumptions and demands the respect of some criteria in order to product consistent estimates of regional vegetation cover. Fyfe *et al.* (2013) called "non-ideal situations" the application of the REVEALS model to sites which do not strictly correspond to the ideal conditions assumed by the model. Concerning the Paris Basin vegetation cover reconstruction, the pollen dataset properties do not seem to fulfil three assumptions of the model. Firstly, all the pollen records come from small sedimentary basins, i.e. with radii smaller than 390 meters. Secondly, pollen transport is assumed to be only aerial by the model, which is not always true for certain sedimentary layers of paleochannels. Thirdly, on site pollen source plants are supposed to be absent from the deposition basin surface. These three potential error factors within the Paris Basin dataset are tested in order to define some appropriate parameters for the REVEALS runs. Finally, the spatial homogeneity of the REVEALS estimates also needs to be tested for determining the geographical extent of the reconstructed vegetation cover.

a) Basin size

Empirical and theoretical studies have shown that pollen assemblages from large lakes and mires tend to be similar among sites in a given region (BERGLUND 1973, JACOBSON & BRADSHAW 1981, SUGITA 1994). Based upon this property, Sugita (2007a) described the REVEALS model as

a tool designed for large sites (radius ≥ 750 m), but he also introduced the possibility of grouping multiple smaller-sized sites (radius = 20 m).

Thus, the simulated REVEALS estimates obtained with a group of 30 small sites present similar mean values than with a group of 30 large sites. However, they are also associated with larger Standard Errors, which are supposed to increase with the complexity of the spatial structure of the vegetation but to decrease with the number and the size of the small basins (SUGITA *et al.* 2010). Most of the previous applications of the REVEALS model have used large lakes (CUI *et al.* 2013, NIELSEN *et al.* 2012, SOEPBOER *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 2008), but some also applied it to multiple small sites or a combination of small and large sites (FYFE *et al.* 2013, MAZIER *et al.* 2012). This last methodological approach appears to be a good alternative for some regions, where the real absence of large lakes, or at least their scarcity, can result in the unavailability of pollen records from that type of sedimentary basin. Mazier *et al.* (2012) produced REVEALS estimates of vegetation cover within 1°x1° grids in Czech Republic with 1 small site (lake or bog) to 6 small + 1 large sites (lakes and bogs) per time window. In order to reconstruct the past vegetation cover of the British Isles, Fyfe *et al.* (2013) used the REVEALS model with 2 small (lakes and/or bogs) to 14 small sites (lakes and/or bogs) per time window. They also produced REVEALS estimates from single large sites (lakes and bogs). In the Isles of Southern Hebrides, they statistically shown that the application of the whole LRA approach using a large lake (radius = 290 m) or using 5 smaller-sized sites (lakes and bogs) provided not significantly different results.

In another study (DAVID *et al.* in prep.-c), we produced REVEALS estimates from the Armorican Massif dataset composed of 4 large sites (lakes and bogs) and 37 small sites (lakes and bogs) with radius sizes from 12.5 to 2000 m. We also reconstructed the vegetation cover within two smaller-scaled groups composed by 17 sites (only small basins, lakes and bogs) and 15 sites (small and large basins, lakes and bogs).

Concerning the Paris Basin dataset, 21 sites have been selected for the whole area. Within these 21 sites 18 are paleochannels and 3 are mardelles, i.e. small anthropogenic peat bogs (ETIENNE 2011).

Paleochannels are not circular and thus their surfaces are difficult to determine within the Paris Basin dataset. The widths of these channels have usually been measured by current means of coring transects or geomorphological cross sections concomitantly with the pollen data acquisition. However, their lengths and therefore the total surfaces of the basins were seldom taken into account during the field work, because of different research interests resulting in diverse methodological approaches.

To deal with this lack of metadata, we assessed two opposite assumptions concerning the basins sizes. Firstly, we produced REVEALS estimates for the whole Paris Basin dataset using the "minimal size" hypothesis for basins surfaces, i.e. considering that the sites radii correspond to the half of the channels widths. Using this approach, all the 21 sites from the region are smaller than 390 m (SUGITA 2007a) and therefore considered as small sites, with radii from 18 to 226 m and a mean value of 70 m. It can be regarded as the most cautious approach, because this voluntary underestimation of basins sizes will generate larger Standard Errors (SE) within the REVEALS estimates than they should be. Indeed, the "true" surface of the basins is obviously

greater than that of discs with diameters equal to the channels widths. Secondly, we produced REVEALS estimates for the whole Paris Basin dataset using the "maximal size" hypothesis for basins surfaces, i.e. considering that the sites radii all correspond to the radius size value of large sites established by Sugita (2007a) equal to 750 meters. This arbitrary and artificial size allocation for all paleochannels obviously does not reflect the reality, but allows us to assess the influence of the basins sizes on the model results with fixed background parameters.

b) Pollen transport

According to the REVEALS assumptions, the wind above the canopy is considered as the dominant agent of pollen transport (PRENTICE 1985,1988, SUGITA 1993,1994) and no pollen inputs from water inlets or surface run-off is taken into account by the model (SUGITA 2007a). However, several authors pointed out the current presence of major water inlets and outlets within the large lakes (BONNY 1980, PENNINGTON 1973, TAUBER 1977). The impact on pollen assemblages of the stream-borne pollen has also been demonstrated (BONNY 1978, PECK 1973). Thus, Sugita (2007a) strongly argued for a carefully selection of the study sites when applying the REVEALS model.

As detailed above (see I. B. b.), the paleochannels of the Paris Basin floodplains experienced various deposition conditions all along the Holocene. Thus, after their incisions occurring during active phases, their abandonment by the rivers during inactive phases caused changes in the water source and so in the sedimentary influx (PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2003). Indeed, those empty depressions, which contrast with the flat relief of the valley floors, were progressively filled by more or less organic materials, almost depending on the water table level (CHAUSSÉ *et al.* 2008). The underground waters, which obviously cannot transport pollen grains through the soil, composed most of the water influx even if, as for lakes and fens, the superficial run-off should has been also a non-negligible component. In addition, due to conservation properties, pollen grains are usually absent or nearly absent from the sandy deposits occurring during active phases (LEROYER 1997). Conversely, the fine organic deposits that are characteristics of inactive phases conserve well the pollen (LEROYER 1997). Consequently, the pollen grains found in the sedimentary layers suitable for pollen-analytical studies within paleochannels can be regarded as mainly transported by the wind to the basins surface. So, we consider that type of basins as a suitable source for pollen stratigraphies when using the REVEALS model.

One remaining problem is nevertheless the choice of the dispersal and deposition (d&d) function for the REVEALS runs. Depending on the type of site, the same model of pollen dispersal and deposition is generally used for all the samples all along a core, Sugita's model for lakes and ponds (SUGITA 1993) or Prentice's model for bogs and mires (PRENTICE 1985,1988). But the sedimentary nature along the pollen stratigraphies can progressively change from silt to peat with the filling of the basin, or inversely from peat to silt with its sinking. So, it implies that the deposition conditions can vary trough the time, driven by the thickness of the water column above the sediment surface. Concerning the paleochannels of the Paris Basin, silty deposits are usually observed at the base of the cores and more and more organic to peaty deposits are found to the tops, before the renewal of pollen-blank mineral deposits occurring during the floods of

the last part of the Holocene. In order to assess the impact of the choice of the d&d function on the model outputs, we produced REVEALS estimates for the whole Paris Basin dataset using three different approaches.

Firstly, we applied the Prentice's model for bog and mires to all pollen samples from all the cores. Secondly, we applied the Sugita's model for lakes and ponds to all pollen samples from all the cores in the same way. Thirdly, we applied alternatively the Prentice's and Sugita's models to samples coming from peaty or silty sediments respectively. Then, we calculated a single mean value with its SE for each time window using the delta method. Finally, we compared the results obtained through the three different approaches.

c) On site pollen source plants

Another major assumption of the REVEALS model is that no pollen found in the sedimentary basin was produced by plants growing on the surface of this basin (Sugita 2007a), which is however currently observed, especially in the case of bogs. Using PFTs, Mazier *et al.* (2012) statistically tested the divergence degrees between REVEALS estimates from various sizes of bogs and lakes and found no significant differences between them in most of the cases. Thus, they conclude that, even if the hypothesis of systematic differences in the results from bogs and lakes was rejected, the abundance of pollen source plants near or on the surface of the basin could influence the REVEALS estimates of some taxa as Poaceae or *Cyperaceae*. More analysis of the influence of the basin type on the vegetation cover estimates are in progress using the entire European dataset of the LANDCLIM project (Trondman *et al.* in prep.).

Indeed, our tests using individual taxa for estimating the vegetation cover of the Paris Basin showed a large overestimation of *Cyperaceae* in the landscape (David, unpublished data, 2011). Most of the selected sites present peat type sediments during at least one part of their stratigraphies. Thus, we estimated that the growing and flowering of *Cyperaceae* on the surface of those sedimentary basins constituted a major bias considering on the REVEALS assumptions. To minimize this issue, we decided to exclude the *Cyperaceae* from the pollen counts. Andersen and Berglund (1994) also suggested that including the *Cyperaceae* pollen from bogs could lead to an overestimation of landscape openness. Nielsen *et al.* (2012) excluded the Cyperaceae from their landscape openness reconstructions of northern Germany and Denmark for the same reason.

Plantago montana is rarely recognized in the Paris Basin pollen records and most of the time counted by analysts with other Plantago species into a *Plantago* sp. group, which is currently associated with the *Plantago media*'s PPE for REVEALS runs. Thereby, the vegetation cover estimates presented hereafter are based on an amount of 23 selected taxa (25 entomophilous from the LANDCLIM GP_2 minus *Cyperaceae* and *Plantago montana*). In all selected pollen samples, pollen counts from these 23 taxa represent a mean of 79 % of the total pollen counts, which is comparable to the 67-99% of Northern Germany and Denmark (NIELSEN *et al.* 2012). All the dominant trees in the region are included in the 23 taxa, as well as the important non-tree taxa (except *Cyperaceae*) representative of natural and cultural landscapes.

d) Spatial extent of the reconstruction

Our final interrogation was about the homogeneity of the Paris Basin vegetation cover during the Holocene. Do the different hydrographical basins of the Seine River and its tributaries have followed similar vegetation dynamics? Therefore, to what geographical extent can we group the pollen records from those several areas within a same reconstruction?

Based on 91 pollen stratigraphies from all the hydrographical basins of the focused area of the Paris Basin, Leroyer (1997) argued for a regional homogeneity of the vegetation cover evolution over the whole Holocene. Local specificities are nevertheless well recorded within the pollen sequences but the same main pattern of vegetation dynamics can be observed contemporaneously through all the different parts of the study area. However, due to the non-linear relationship between pollen percentages and vegetation cover (BERGLUND & RIDDERSPORRE 1991, FAEGRI & IVERSEN 1989, FAGERLIND 1952, PRENTICE & WEBB 1986), this synchronicity established within the pollen percentages does not necessarily lead to the same synchronicity within the vegetation cover. Indeed, simulation experiments showed that trends apparent within the pollen percentages data are not always replicated within the reconstructed vegetation cover (FYFE 2006).

In order to assess the contemporaneity of the vegetation cover dynamics over the whole study area, we produced REVEALS estimates at two different scales. Firstly, we gathered together all the 21 sites (small sites, bogs and lakes) from the central-eastern Paris Basin within a same regional group. Then, we compared these results with those obtained with the 11 pollen records (small sites, bogs and lakes) from the smaller scaled area of the Marne valley only (see Tab. 4). A more accurate method to test the homogeneity of the vegetation cover between different hydrographical basins may have been to compare the REVEALS estimates from two, or more, of these parts of the Paris Basin. Unfortunately, the Marne valley is the only small scale area suitable for vegetation cover reconstructions using the REVEALS model because of the few number of available pollen records from the other parts of the region (see Fig. 11). Among the 11 selected cores from the Marne valley area, none pollen sample is available concerning the time window 1000-800 cal. BC, nor for the most recent time windows after 250 cal. BC.

II - Past regional vegetation of the Paris Basin: results

A) Impact of the basins size on the results

REVEALS-based estimates of the Paris Basin vegetation cover for both hypotheses of small and large basins (see Fig. 12) do not show significantly different results for most of the selected taxa. Using the “minimal size” hypothesis, a slight increase can be noticed within the mean vegetation cover estimates for *Juniperus*, *Salix, Fraxinus*, *Alnus*, *Plantago media*, *Plantago lanceolata* and *Rumex acetosa*, compared to the values obtained with the “maximal size” hypothesis. Conversely, the proportions of *Fagus*, *Carpinus*, *Cerealia* type and *Secale* type are lower using the “minimal size” for basins, particularly for *Cerealia* type, *Secale* type and *Fagus*.

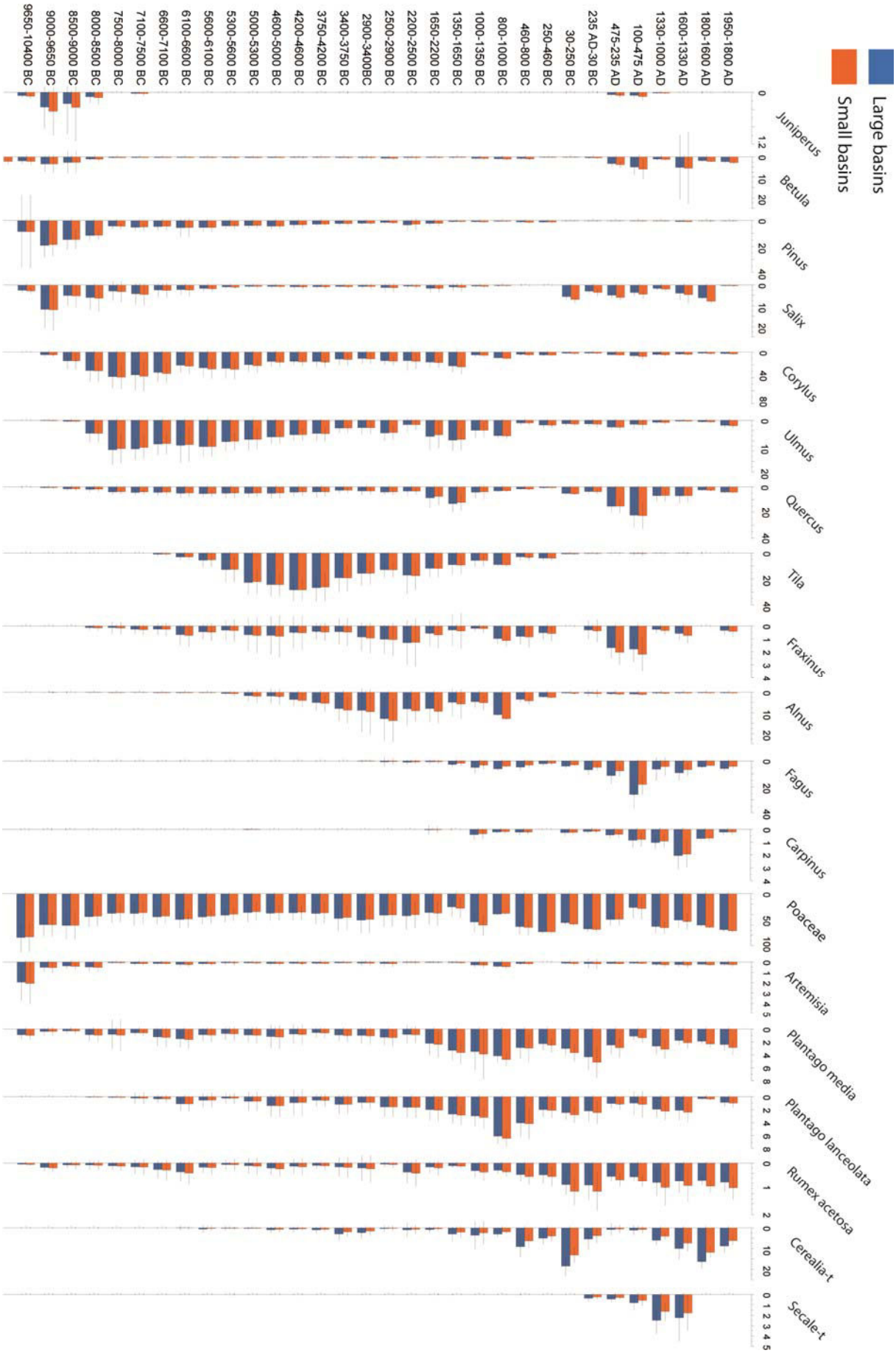

Large basins
Small basins
1950-1800 AD
1800-1600 AD
1600-1330 AD
1330-1000 AD
100-475 AD
475-235 AD
235 AD-30 BC
30-250 BC
250-460 BC
460-800 BC
800-1000 BC
1000-1350 BC
1350-1650 BC
1650-2200 BC
2200-2500 BC
2500-2900 BC
2900-3400BC
3400-3750 BC
3750-4200 BC
4200-4600 BC
4600-5000 BC
5000-5300 BC
5300-5600 BC
5600-6100 BC
6100-6600 BC
6600-7100 BC
7100-7500 BC
7500-8000 BC
8000-8500 BC
8500-9000 BC
9000-9650 BC
9650-10400 BC
Juniperus
Betula
Pinus
Salix
Corylus
Ulmus
Quercus
Tila
Fraxinus
Alnus
Fagus
Carpinus
Poaceae
Artemisia
Plantago media
Plantago lanceolata
Rumex acetosa
Cerealia-t
Secale-t

Fig. 12 : Comparison of REVEALS-based estimates of the Holocene regional vegetation cover for 23 taxa of the central-eastern Paris Basin obtained using the "minimal size" hypothesis (orange bars) or the "maximal size" hypothesis (blue bars) for the deposition basins.

For these three taxa, the REVEALS estimates may vary significantly, i.e. mean values about 27% lower for *Fagus*, 26% lower for *Secale* type and 17% lower for *Cerealia* type with small than with large basins. Concerning the others taxa (*Betula*, *Pinus*, *Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia*, Poaceae and *Artemisia*), the results are nearly equal using the both hypotheses. Generally speaking, the taxa with high REVEALS estimates seem to be relatively less affected by the basins sizes changes than the less important taxa.

Finally, as the vegetation cover estimates using the "minimal size" or the "maximal size" assumption appear to be similar, we chose to apply the "minimal size" hypothesis to the next REVEALS runs. Indeed, without more details about the length of the paleochannels, extrapolating about the potential large surface of the basins seemed dangerous. Thus, we preferred to consider the basins as smaller areas than they probably were. Nevertheless, the REVEALS estimates obtained for *Fagus*, *Cerealia* type and *Secale* type will have to be considered as underestimated with this approach.

B) Impact of the dispersal and deposition functions on the results

The Figure 13 summarizes the results of estimated vegetation covers using three different approaches concerning the dispersal and deposition (d&d) function applied within the REVEALS runs. The three selected time windows are characterised by a relatively important number of available pollen records and the four selected taxa are major plants within the Paris Basin landscapes. Thus, those 12 selected diagrams typically describe the consequences of each d&d function on the results generally observed through 70 diagrams which describe seven time windows and ten taxa (data not showed).

Firstly, one can notice the great variability between the mean REVEALS estimates obtained for each site within a same time window and with the same d&d function. These important variations within taxa proportions argue for a strong influence of the local vegetation around the sites within the pollen percentages, which also supports the small basins hypothesis. Considering the mean estimates, their values are very similar whatever the d&d function used, but their calculated SEs may be lower using the mixed approach (see Fig. 13), i.e. the Prentice's model for bogs when encountering peaty deposits and the Sugita's model for lakes when encountering silty deposits. Indeed, regarding to this mixed approach, the REVEALS estimates of a few number of sites related to a single d&d function can show less site-to-site variability than the REVEALS estimates of a greater number of sites related to the other d&d function and so present a lower mean SE value. Then, the calculation of the final mean "Bog & Lake" value with its SE, by averaging these two previous SEs using the Delta method, results in an artificially decreased SE value compared to the SEs obtained using only one d&d function.

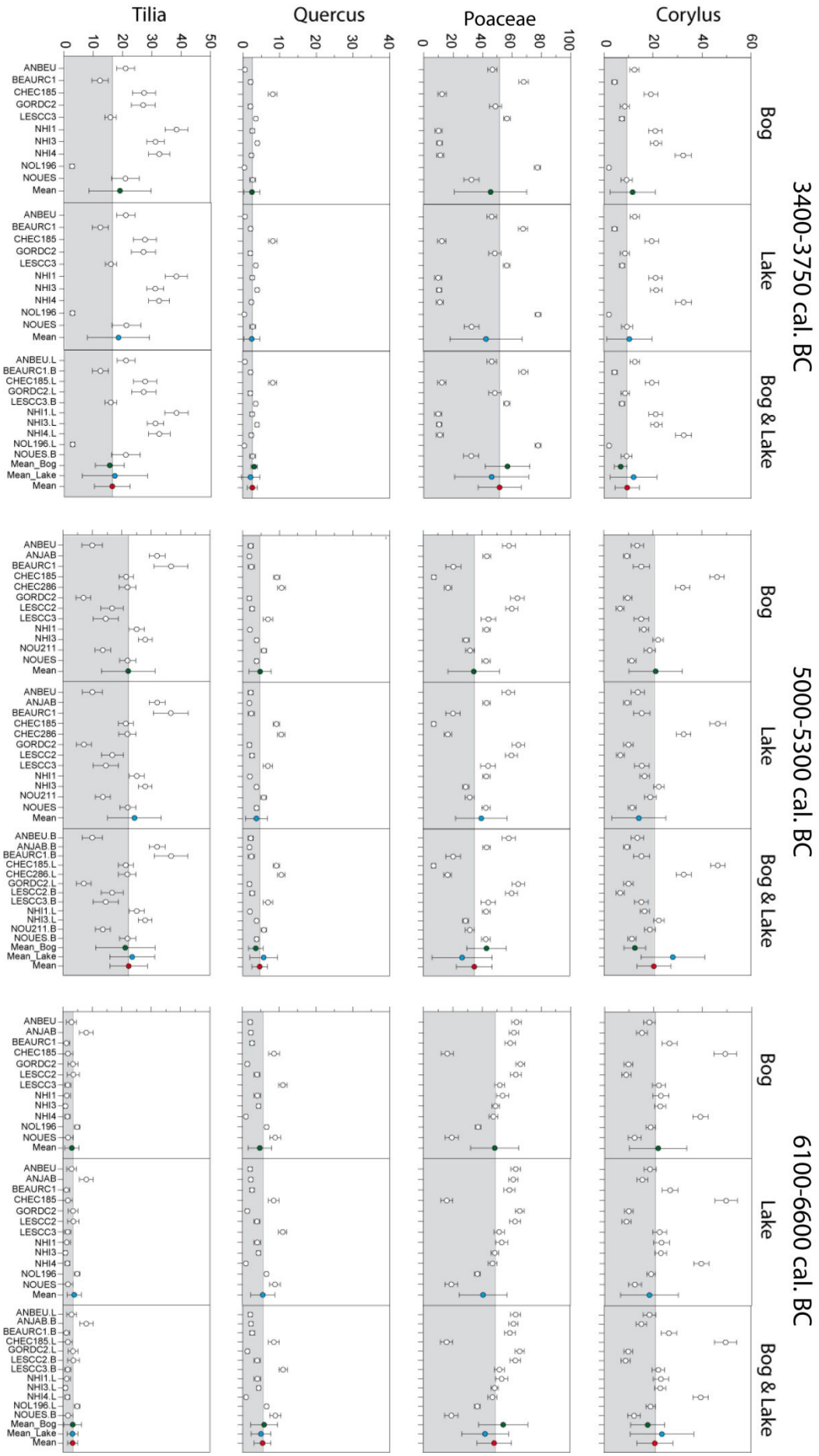

3400-3750 cal. BC
5000-5300 cal. BC
6100-6600 cal. BC
Corylus
Poaceae
Quercus
Tilia
Bog
Lake
Bog & Lake
ANBEU
ANJAB
BEAURC1
CHEC185
CHEC286
GORDC2
LESCC2
LESCC3
NHI1
NHI3
NHI4
NOL196
NOU211
NOUES
Mean
ANBEU.L
ANJAB.B
BEAURC1.B
CHEC185.L
CHEC286.L
GORDC2.L
LESCC2.B
LESCC3.B
NHI1.L
NHI3.L
NHI4.L
NOL196.L
NOU211.B
NOUES.B
Mean_Bog
Mean_Lake
Mean

Fig. 13 : Comparison of REVEALS-based estimates, for 4 major taxa of the central-eastern Paris Basin vegetation cover over 3 time windows of the Holocene, obtained using the Prentice's model only (Bogs), the Sugita's model only (Lakes) or the mixed Prentice's and Sugita's models approach (Bogs & Lakes).

Despite this issue encountered when using the mixed approach for d&d function, we nevertheless selected this method for producing REVEALS estimates in the case of the Paris Basin because of the particular sedimentary context. Indeed, we still think that the integration of the variability of sedimentary deposition nature in our reconstructions allows us to obtain more accurate REVEALS estimates of the Paris Basin vegetation cover, due to the changing deposition context encountered within pollen cores from paleochannels.

C) Impact of the spatial extent of the reconstructed vegetation cover on the results

The comparison between REVEALS-based estimates from the Marne valley and from the whole Paris basin is shown on Figure 14. The results appear to be quite similar for most of the time windows between 8000 and 2200 cal. BC. This period correspond to the maximum of available pollen records from the both Marne valley and Paris Basin, so to the more reliable vegetation cover estimates. On the other hand, REVEALS estimates of the more ancient (10400-8000 cal. BC) as the more recent (2200-250 cal. BC) time windows, which both corresponds to the minimum amounts of available pollen cores, show greater differences between both areas. This more important between-sites, and thereby between-areas, variability for periods documented by a few number of pollen records highlights the impact of the local vegetation on each single small deposition basin.

Conversely, the broad overlap of REVEALS estimates values from both areas occurring during the central part of the Holocene argues for a homogeneous regional vegetation cover at the scale of the whole Paris basin, at least during this period. However, the selected pollen samples for producing REVEALS estimates of the Marne valley are of course also involved in the estimation of the vegetation cover for the whole Paris Basin. Therefore, the proximity between the results is not really surprising as the cores from the Marne valley can represent the major part of the available pollen records from the whole region for certain time windows (e.g. 10 out of 13 cores between 5000 and 4200 cal. BC).

Nevertheless, some divergences can be noticed such as the higher proportions of most of the woodland taxa (*Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia* and *Alnus)* which lead to a correlative decrease of Poaceae proportions between 3750 and 2900 cal. BC in the Marne valley. The lower estimates of some anthropogenic pollen indicators (BEHRE 1981,1986,1988, BRUN 2011) such as *Cerealia* type, *Rumex acetosa*, *Plantago lanceolata* and *Plantago media*, also associated with this woodland increase, may be considered as a potential evidence of a lowered human impact during this period for the Marne valley compared to the rest of the Paris Basin.

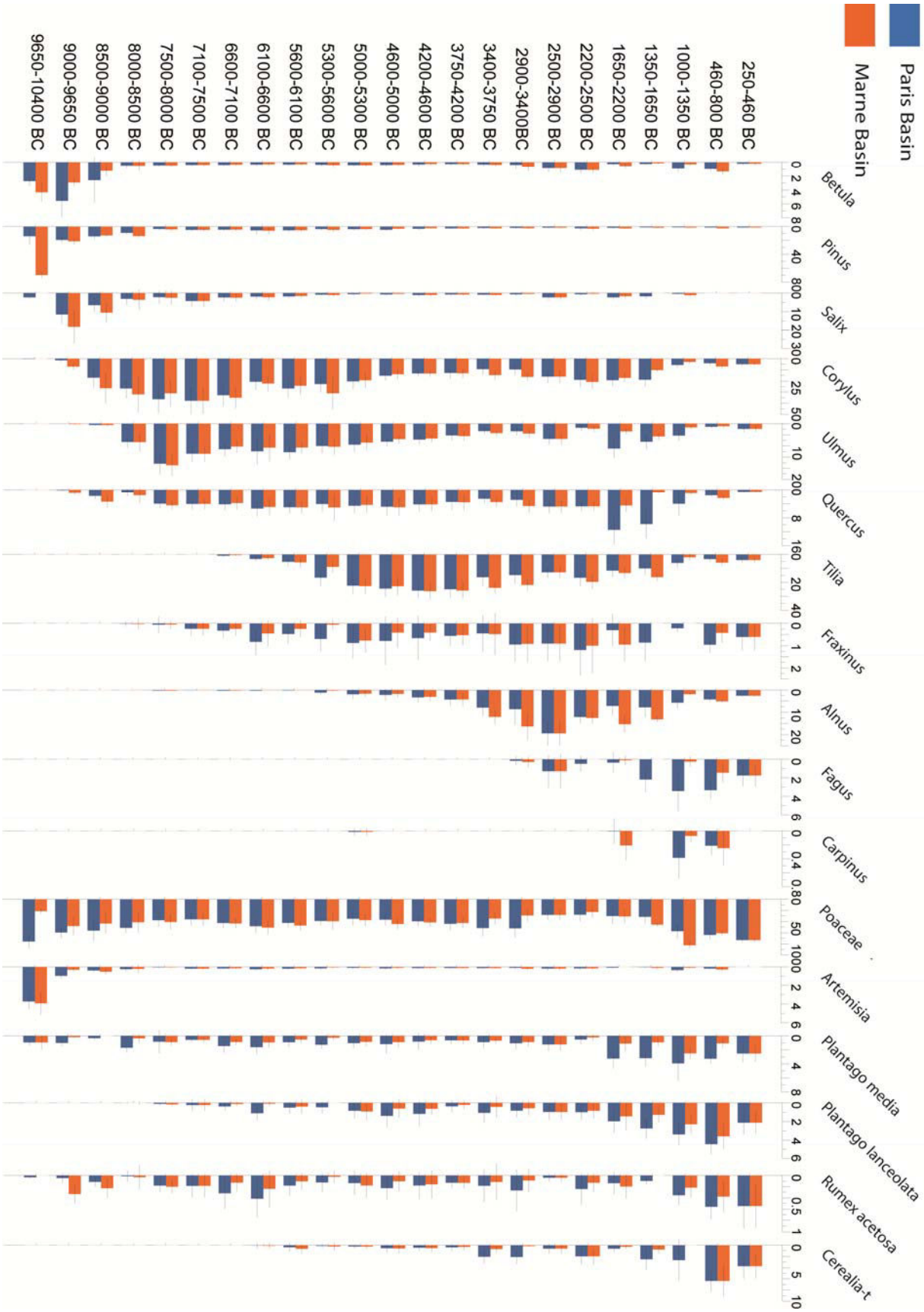

Paris Basin
Marne Basin
250-460 BC
460-800 BC
1000-1350 BC
1350-1650 BC
1650-2200 BC
2200-2500 BC
2500-2900 BC
2900-3400BC
3400-3750 BC
3750-4200 BC
4200-4600 BC
4600-5000 BC
5000-5300 BC
5300-5600 BC
5600-6100 BC
6100-6600 BC
6600-7100 BC
7100-7500 BC
7500-8000 BC
8000-8500 BC
8500-9000 BC
9000-9650 BC
9650-10400 BC
Betula
Pinus
Salix
Corylus
Ulmus
Quercus
Tilia
Fraxinus
Alnus
Fagus
Carpinus
Poaceae
Artemisia
Plantago media
Plantago lanceolata
Rumex acetosa
Cerealia-t

Fig. 14 : Comparison of REVEALS-based estimates of the Holocene vegetation cover for 23 taxa obtained using all the 21 sites from the whole central-eastern Paris Basin (blue bars) or only 11 sites from the smaller-scaled Marne valley area (orange bars).

Conversely, the following 2200-460 cal. BC period presents lower woodland taxa (*Quercus*, *Ulmus*, *Fagus*, *Fraxinus*) proportions for the Marne valley than for the whole region, and thus higher Poaceae estimates, despite the relatively high values reached by *Tilia* and *Alnus*. Finally, the higher proportions of *Pinus*, *Salix* and *Corylus*, associated with lower Poaceae estimates, between 10400 and 8000 cal. BC in the Marne valley argue for reduced landscape/woodland openness during the early Holocene compared with the rest of the Paris Basin.

In spite of these examples of local variability, we consider that no significant variations can be observed through the vegetation cover estimates from those two areas during the Holocene. Thus, we also consider that the REVEALS estimates obtained by grouping all the 21 available pollen records are representatives of the whole central-eastern Paris Basin Holocene vegetation cover.

D) Vegetation cover estimates of the Paris Basin

With $18x10^3$ km^2, the total surface of the central-eastern part of the Paris Basin is comparable to the areas modelled in the previous vegetation cover studies from multiple small sites (FYFE *et al.* 2013, MAZIER *et al.* 2012, NIELSEN *et al.* 2012), and even from large sites (SOEPBOER *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 2008). Also, Sugita (2007a) described the REVEALS model as a tool designed to reconstruct vegetation cover within 10^4-10^5 km^2.

In order to reconstruct the regional vegetation cover from this area, we grouped the 21 available pollen records. Within these 21 cores, 18 come from paleochannels of floodplains and 3 from small anthropogenic bogs of the neighbouring plateaus called “mardelles” (ETIENNE 2011, ETIENNE *et al.* 2011). For the REVEALS run, we chose to apply the “minimal size” hypothesis to determine the radii of the basins and the mixed approach for the d&d functions.

REVEALS-based estimates of the regional vegetation composition (see Fig. 15) show a consistently lower percentage cover than mean pollen percentages of the Paris Basin would suggest for *Alnus*, *Quercus*, *Pinus*, *Betul*a, *Artemisia*, *Juniperus* and *Rumex acetosa*. Inversely, REVEALS estimates are higher than pollen percentages for *Tilia*, *Fagus*, *Picea*, *Abies*, Poaceae, *Cerealia* type, *Secale* type, *Plantago lanceolata*, *Plantago media* and *Calluna vulgaris*. Finally, percentage covers seem similar for both modelled vegetation and pollen counts for *Ulmus*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Salix*, *Carpinus* and *Filipendula*. One of the main differences between pollen percentages and REVEALS estimates is that *Alnus* does not appear to be a dominant taxon in the REVEALS estimates during the second half of the Holocene. Also, *Tilia* seems more important in the REVEALS estimates during the mid-Holocene than in pollen percentages. Thus, the proportions of Poaceae and cereals are largely increased since the beginning of the Neolithic compared to pollen percentages, which supposes a more opened landscape and a stronger impact of the populations on their environment.

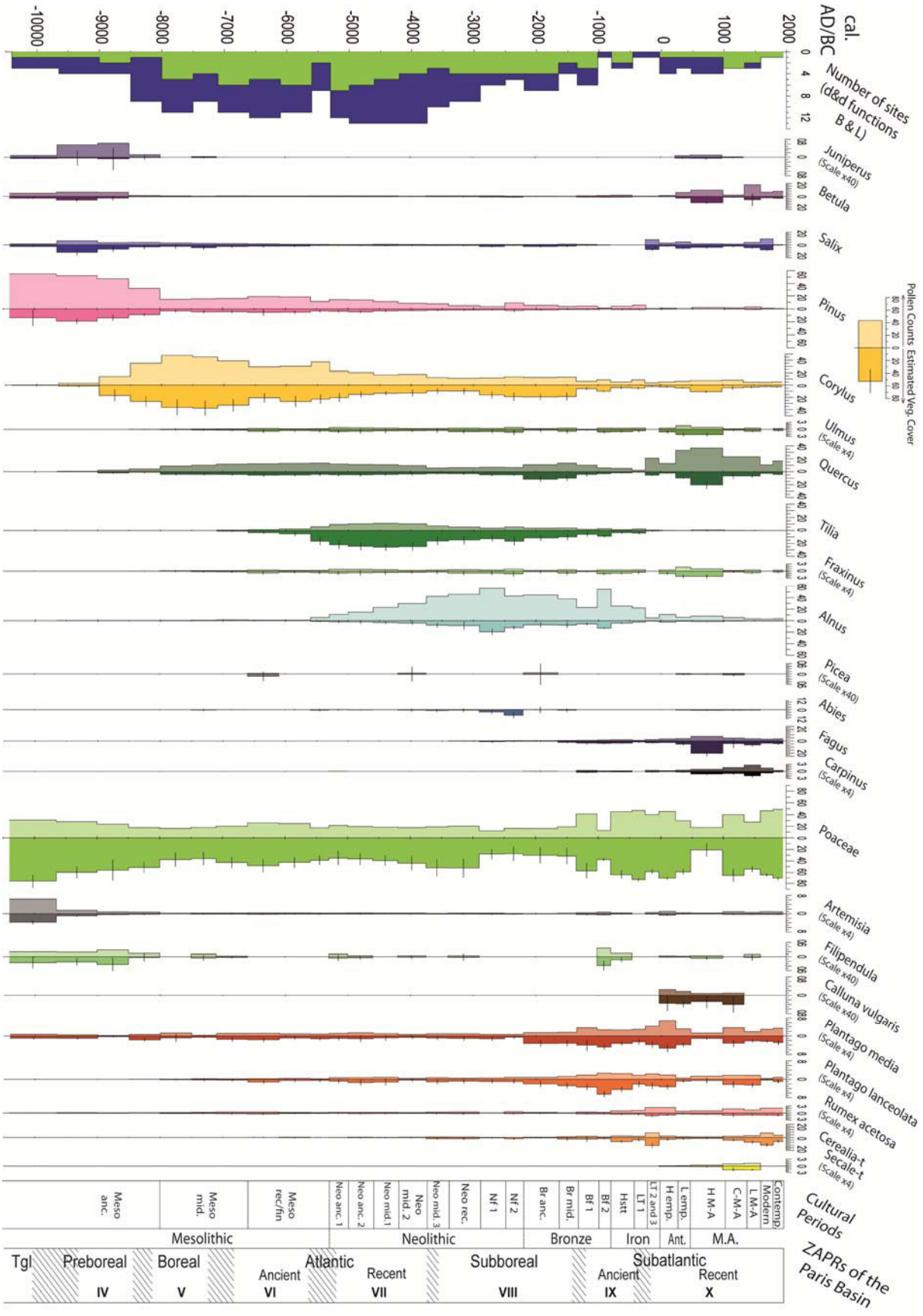

cal. AD/BC
-10000
-9000
-8000
-7000
-6000
-5000
-4000
-3000
-2000
-1000
0
1000
2000
Number of sites (d&d functions B & L)
Juniperus (Scale x40)
Betula
Salix
Pinus
Corylus
Ulmus (Scale x4)
Quercus
Tilia
Fraxinus (Scale x4)
Alnus
Picea (Scale x40)
Abies
Fagus
Carpinus (Scale x4)
Poaceae
Artemisia (Scale x4)
Filipendula (Scale x40)
Calluna vulgaris (Scale x40)
Plantago media (Scale x4)
Plantago lanceolata (Scale x4)
Rumex acetosa (Scale x4)
Cerealia-t
Secale-t (Scale x4)
Pollen Counts Estimated Veg. Cover
Meso anc.
Meso mid.
Meso rec/fin
Neo anc. 1
Neo anc. 2
Neo mid.1
Neo mid.2
Neo mid.3
Neo rec.
Nf 1
Nf 2
Br anc.
Br mid.
Bf 1
Bf 2
Hstt
LT 1
LT 2 and 3
H emp.
L emp.
Ant.
H M-A
C-M-A
L M-A
Contemp.
Modern
Cultural Periods
Mesolithic
Neolithic
Bronze
Iron
M.A.
ZAPRs of the Paris Basin
Tgl
Preboreal
IV
Boreal
V
Ancient
VI
Atlantic
Recent
VII
Subboreal
VIII
Ancient
IX
Subatlantic
Recent
X

Fig. 15 : Comparison of mean pollen percentages (faded bars) and REVEALS-based estimates of the Holocene regional vegetation cover (non-faded bars) for 23 taxa of the central-eastern Paris Basin.

The succession of the different taxa observed in the REVEALS-based estimates of vegetation cover through the Holocene presents a common well-known pattern compared with previous reviews of pollen-analytical studies within the region (LEROYER 1997, VAN ZEIST & VAN DER SPOEL-WALVIUS 1980b). This general pattern is also consistent with the vegetation's dynamics of the neighbouring region of the Armorican Massif (DAVID *et al.* in prep.-c, GAUDIN 2004, MARGUERIE 2009).

The dominant tree taxa of the earliest Holocene, *Pinus*, *Betula*, *Salix*, *Juniperus*, associated with a large part of Poaceae and some *Artemisia* and *Filipendula*, are quickly decreasing until 8000 cal. BC. *Juniperus*, *Betula* and *Salix* decrease to very low proportions in the vegetation cover estimates between 8000 and around 250 cal. BC, before their renewal during the latest Holocene. Only *Pinus* is still present during the mid-Holocene but decrease until nowadays. *Corylus*, as a pioneer taxon, is the first to occupy the vacated place, before its replacement by characteristics taxa of European temperate deciduous forests, *Quercus* and then *Tilia*, in a less extent *Ulmus* and *Fraxinus*. This successive tree-spreading results in a decrease of Poaceae in the total land cover.

Until the beginning of the Neolithic period (5300 cal. BC), the Poaceae's dynamic change and its proportions increase. However this increase after 5300 cal. BC is more irregular than the previous decrease during the first half of the Holocene. Correlatively, except *Tilia* and then *Alnus*, most of the tree taxa begin to decrease until this period. This may reflect the possible impact of early agro-pastoral groups on their near environment. The crescent presence of *Cerealia* type, associated with others indicators species of human activities (BEHRE 1981,1986,1988, BRUN 2011) such as plantains and *Rumex acetosa*, seems consistent to this hypothesis. Only *Alnus* continues to grow until the end of the Neolithic period, which argues for more humid edaphic conditions, but appears to be also affected with a delay from around 2500 cal. BC. Then, from this epoch to 30 cal. BC, the proportions of Poaceae and *Cerealia* type and others anthropogenic indicator species continuously increase with some irregularities.

Since 30 cal. BC, the vegetation cover of the Paris Basin is documented by only three mardelles and one paleochannel. This change in sedimentary basins type, from relatively average-sized sites located in the valley floors to smaller-sized sites located on the plateaus, leads to important variations within the proportion dynamics of some taxa. We consider that these variations results more from the local influence of the vegetation from the plateaus around the small mardelles sites, than from true important changes within the whole central-eastern Paris Basin vegetation cover. For example, *Calluna vulgaris* discreetly appears in the REVEALS estimates since 30 cal. BC which argues for its presence on the plateaus only at these times. It was maybe also present earlier on the plateaus but not sufficiently to be detected in the valleys.

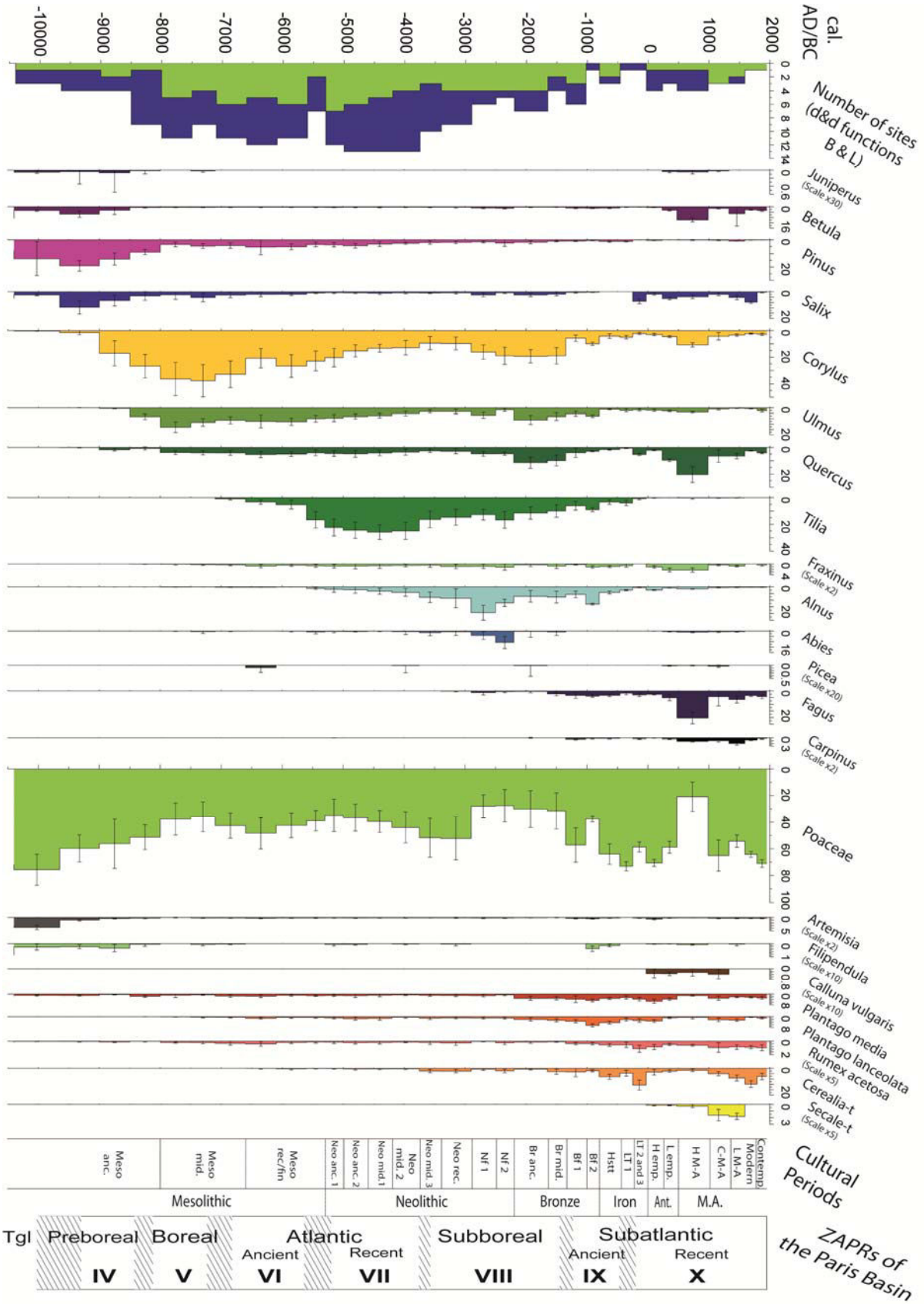

cal. AD/BC
-10000
-9000
-8000
-7000
-6000
-5000
-4000
-3000
-2000
-1000
0
1000
2000
Number of sites (d&d functions B & L)
Juniperus (Scale x30)
Betula
Pinus
Salix
Corylus
Ulmus
Quercus
Tilia
Fraxinus (Scale x2)
Alnus
Abies
Picea (Scale x20)
Fagus
Carpinus (Scale x2)
Poaceae
Artemisia (Scale x2)
Filipendula (Scale x10)
Calluna vulgaris (Scale x10)
Plantago media
Plantago lanceolata
Rumex acetosa (Scale x5)
Cerealia-t
Secale-t (Scale x5)
Meso anc.
Meso mid.
Meso rec/fin
Neo anc. 1
Neo anc. 2
Neo mid.1
Neo mid.2
Neo mid. 3
Neo rec.
Nf 1
Nf 2
Br anc.
Br mid.
Bf 1
Bf 2
Hstt
LT 1
LT 2 and 3
H emp.
L emp.
H M-A
C-M-A
L M-A
Contempl
Modern
Mesolithic
Neolithic
Bronze
Iron
Ant.
M.A.
Cultural Periods
Tgl
Preboreal
Boreal
Atlantic
Ancient
Recent
Subboreal
Subatlantic
Ancient
Recent
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
ZAPRs of the Paris Basin

Fig. 16 : Estimated Holocene regional vegetation cover for the central-eastern Paris Basin derived from the REVEALS model.

Similarly, the estimates of *Cerealia* type are clearly lower between 30 cal. BC and 1330 cal. AD than for previous time windows, but not absent, and the anthropogenic indicators such as *Plantago lanceolata*, *Plantago media* and *Rumex acetosa* also decrease. So, it seems that the plateaus were less cultivated than the alluvial floodplains during this period. Since 1330 cal. AD and until nowadays, the human impact on these previously neglected areas increase strongly and *Cerealia* type proportions reach values comparable to those previously observed within the valley floors at the end of the Iron Age. Concerning the major tree taxa (*Quercus*, *Fagus*, *Corylus*, *Betula*), the main difference with the earlier periods occurs during the 1475-960 cal. BC time window, related to the Early Middle Ages. Regarding to our results, it seems that during this relatively short period most of the woodland taxa proportions greatly increased, at least upon the plateaus of the Paris Basin, and thus led to a huge decrease of the Poaceae estimates. After this particular event, all tree taxa keep on decreasing until nowadays, except *Fagus*, *Carpinus* and *Salix*.

III - Discussion

A) Past landscape/woodland openness and human impact in the central-eastern Paris Basin

Due to the choice of non-grouping results into PFTs, the landscape/woodland openness evolution is not directly shown in the diagrams (see Fig. 15 and Fig. 16) representing the Paris Basin REVEALS estimates. Considering the relatively very low values of all the rest of the non-trees taxa compared to those of Poaceae, we assume here that this taxon is a good approximation for describing the general pattern of landscape openness.

One of the criticisms that could be made to our approach is the influence of wetlands on the total landscape openness, which are partly absents of the results because of the exclusion of *Cyperaceae*. Nevertheless, some of the species grouped within the Poaceae's PPE can be found in wetlands and *Filipendula* also presents some affinities with humid areas. Overall, Poaceae's proportions form a minimal approximation for the supposed whole extent of past landscape/woodland openness.

Compared to pollen percentage values, REVEALS estimates of Poaceae provide a significantly higher level of landscape/woodland openness for the central-eastern Paris Basin all along the Holocene (see Fig. 15). This under-representation of open vegetation cover in pollen data has been recognized for many years (ANDERSEN 1970) and Sugita *et al.* (1999) considered the "classical" use of NAP (Non Arboreal Pollen) proportions as inappropriate for its quantifying because of the non-linear relationship between pollen percentages and vegetation cover. Indeed, the degree of landscape openness, the spatial spread of vegetation patches, the species composition in individual vegetation patches, and regional pollen production and transport may affect the pollen percentages within a site (SUGITA *et al.* 1999).

Then, it was showed that the REVEALS estimates of open land covers were twice to five times as high as the NAP percentage values (GAILLARD *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 2008).

Many others studies from different European regions (FYFE *et al.* 2013, HELLMAN 2007, SOEPBOER *et al.* 2010) also argued for an under-representation of landscape/woodland openness within pollen percentages. They suggested a maximum extent of open vegetation cover up to 40% on the western Danish coast (NIELSEN *et al.* 2012), 41 % on the Swiss Plateau (SOEPBOER *et al.* 2010), 70% in Brittany (DAVID *et al.* in prep.-c), 50 to 90% in England, 60 to 90% in Ireland, 80 to 95% in Scotland and near to 100% in the western isles of Scotland (FYFE *et al.* 2013).

Regarding to the proportions of Poaceae for the whole Paris Basin (see Fig. 15), the under-representation of this taxon in pollen percentages is significant but no such as described by Sugita *et al.* (2008), probably due to the exclusion of *Cyperaceae* from pollen counts. However, REVEALS estimates of vegetation cover for Poaceae reach values from 50 to 60% at the beginning of the Holocene and finish at around 60 to 70% at its end (see Fig. 15). These proportions are higher than mean pollen percentages obtained by Leroyer (1997) using the entire dataset of pollen-analytical studies within the Paris Basin. They are particularly higher for the beginning and the end of the Holocene. With the addition of the others NA (Non Arboreal) taxa estimates (i.e. *Cerealia type*: 4-12%, *Plantago lanceolata*: 0.5-2.5%, *Plantago media*: 2-3%, Rumex acetosa: 0.9%), the total extent of open lands taxa during the Late Holocene appears clearly higher than during the Early Holocene, with 65 to 85% of the vegetation cover estimates from the final part of the Bronze Age around 1350 cal. BC to nowadays. Indeed, these taxa are nearly absents from the records between 10400 and 8000 cal. BC (except *Artemisia*: 1-3% and *Plantago media*: 0.5-2%) and thus the total NA taxa proportions do not exceed 55 to 60% between 9650 and 8000 cal. BC. Only the oldest time window (10400-9650 cal. BC), corresponding to the end of the Late Glacial, shows similar total open lands taxa proportions to those of the Late Holocene with around 80% of the central-eastern Paris Basin vegetation cover. In a lesser extent, the 3750-2900 cal. BC period also presents a relatively high level of landscape/woodland openness within the REVEALS estimates. With around 50% of Poaceae within the regional landscapes, these two time windows related to the end of the Middle Neolithic and the Recent Neolithic seems to highlight a relative increase of the human impact within the study area, supported by the parallel increases of *Cerealia type*, *Plantago Lanceolata* and *Rumex acetosa*. However, this vegetation pattern is not observed within the REVEALS estimates of the Marne valley (see Fig. 14). Indeed, regarding the results for this part of the Paris Basin, *Alnus* appears to increase significantly and most of the major woodland taxa (*Corylus*, *Quercus*, *Tilia*) present higher proportions in the Marne valley than in the whole region during this period. As a consequence of these important woodland taxa estimates, a general decrease of Poaceae and also of the other NA taxa proportions, including *Cerealia* type and the other anthropogenic indicators, can be noticed within the REVEALS estimates of the Marne valley. Nevertheless, this picture of an apparent decrease of human impact in that area may also result from the higher proportions of *Alnus* in that area. Indeed, its filtering role along the edges of the deposition basins, by blocking some of the pollen grains from beyond these tightly packed lines of trees, may artificially induce an underestimation within pollen percentages of some of the other taxa (LEROYER 1997,1998,2003,2006a). This filtering effect may be emphasized by the low PPEs of those NA taxa compared to most of the woodland taxa (see Tab. 3). Finally, we can consider that the observed increase of human impact between 3750 and 2900 cal. BC at the scale

of the central-eastern Paris Basin is probably masked within the REVEALS estimates from the Marne valley by the sooner development of this taxon in that area. The same assumption can be made about the 2200-1350 cal. BC period. Indeed, during this period too, *Alnus* estimates are clearly higher in the Marne valley than in the rest of the region, which induce again lower proportions of *Cerealia* type, *Plantago lanceolata* and *Rumex acetosa*.

The centuries between 475 and 1000 cal. AD are characterized by the lower landscape/woodland openness of the whole Holocene, with only 20% of Poaceae and also very low estimates of the other NA taxa, opposed to high proportions of *Quercus*, *Fagus*, *Corylus* and *Betula*. As discussed above (see II. D.), we think that the vegetation cover estimates obtained for the time windows since 460 cal. BC reflect more the local environment of the mardelles from the plateaus than the regional vegetation cover of the central-eastern Paris Basin. Thus, the contrasting results between the 475-1000 cal. AD time window, related to the Early Middle Ages, and the rest of the Late Holocene, probably highlight a true decline of the open lands and a correlative woodlands increase on the plateaus of the study area. However, concerning the valley floors, we cannot conclude here about the impact of this renewal of woodland taxa without new pollen records, but the only available core from these topographical areas clearly shows more opened landscapes than the three cores from the plateaus.

The two time windows between 2900 and 2200 cal. BC correspond to the second more opened period observed in our results, with around 30% of Poaceae only. However, some bias can also be involved in these results. The *Alnus* estimates reach their Holocene maximum and so a part of the decrease of the Poaceae estimates is probably caused by the filtering effect of *Alnus*. Nonetheless, a slight decrease of the anthropogenic indicators is observed within the result, marked by the variations of *Cerealia* type and *Rumex acetosa* estimates between time windows. The progressive increase of *Corylus* may reflect the re-establishment of this pioneer taxon the abandonment of previously occupied lands and so a relative human impact decline. However, it can also be a witness of woodland management and so of an increase of the human impact within the area.

Two periods are better candidates for testifying of the minimum level of Holocene landscape/woodland openness within the floodplains of the Paris Basins. Without any filtering effect of *Alnus* or any very local influence of some very small basins from the plateaus, the 8000-7100 and 5600-4600 cal. BC periods provide reliable estimates of nearly 40% of Poaceae within the valley floors. The total open lands are mainly represented by Poaceae during these periods due to the nearly vanishing of Artemisia since 8500 cal. BC and to the very low estimates of the anthropogenic indicators before the second half of the Neolithic. These two Poaceae's minimums are driven by the successive developments of the major woodland taxa, such as *Quercus*, *Ulmus* and especially *Corylus* during the first phase, and then mostly *Tilia* during the second phase but also *Fraxinus* and *Alnus*. As compared to the neighbouring region of the Armorican Massif where the Holocene landscape/woodland openness minimum value is around 20% (DAVID *et al.* in prep.-c), the valley floors of the central-eastern Paris Basin appear twice more opened. Nevertheless, the chronology of these minimums seems quite similar between the two regions with the lowest Poaceae estimates occurring at the transition between Mesolithic and Neolithic periods.

The general trend of an increase in Poaceae's proportions after 4600 cal. BC, observed in the REVEALS estimates from the Armorican Massif (DAVID *et al.* in prep.-c), appears more irregular in the Paris Basin. This erratic evolution of the landscape/woodland openness seems to reflect more the methodological issues encountered for some time windows within the Paris Basin dataset than great variations of the vegetation cover. However, we consider that these problems do not explain the whole extent of most of the variations, seeing that numerous evidences argue for effective changes within the landscapes during these phases. Regarding to these real evolutions, a possible explanation for such irregularity within the continuous trend could be the superimposition of anthropogenic disturbances over a longer term source of variability, such as climate trends.

B) Limitations of the work

Dealing with model-based results is, as itself, an important limitation for reconstructing past vegetation covers. Indeed, models are always simplifications of the real world and present a range of assumptions which may conflict with data.

For the REVEALS model, these assumptions relates to the dispersal and deposition mechanisms of pollen grains and to the pollen productivity of species (SUGITA 2007a). For instance, airborne pollen is assumed to be the dominant source of pollen input to lakes and bogs, while several authors shown that stream-borne pollen could affect significantly the pollen assemblages (BONNY 1978, PECK 1973), especially for large lakes (PENNINGTON 1973). According to the uniformitarianism principle underlying the use of PPEs for reconstructing past vegetation covers, these PPEs are supposed to be constant in both space and time that is known to be problematic. Factors like proximity to range limits, variation between species grouped in a same taxon, changes in climate (BROSTRÖM *et al.* 2008, HICKS 2001) or land management practice (BROSTRÖM 2002, HJELLE 1998, MAZIER 2006, MAZIER *et al.* 2008), may affect the PPEs values and induce temporal variations.

In spite of these problems, Sugita (2007a,b) and Gaillard *et al.* (2008) concluded that "one of the advantages of using a model-based approach is that assumptions are clearly stated" and thus "the potentials and limitations of quantitative reconstruction of vegetation can be objectively evaluated". Demonstrations of the good agreement between modelled and empirical modern vegetation cover (HELLMAN *et al.* 2008b, NIELSEN 2004, SOEPBOER *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 1999) and also with historical maps (NIELSEN & ODGAARD 2010) provide a reasonable degree of confidence for the application of the REVEALS model within temperate landscapes of north-western Europe.

Concerning this study, due to the use of non-ideal sites, new biases are added to those described above. Within the dataset, some geographic biases could be noticed such as the lack of sites for the external parts of the central-eastern Paris Basin or, inversely, the agglomeration of sites in the Marne valley which leads to an over-representation of this area within the REVEALS estimates of the whole region. Also, using almost exclusively paleochannels leads to not randomly distributed sites and so to reconstruct a regional vegetation cover which neglects a certain type of ecological areas. Thus, the topographical variations between the sites from the

valley floors and the plateaus (73 to 219 m) can be regarded as a heterogeneity factor within the results.

Temporal biases are also encountered within the results. As for geographical aggregation of multiples sites within spatial groups, the aggregation of multiple samples within time windows leads to overlook the possible short-term variations by smoothing the results for a time interval. The ratio between temporal uncertainties within the age-depth models of the pollen records and the temporal extent of the time windows has to be as small as possible in order to maximize the degree of certainty for the allocation of samples to time windows. Longer time windows and shorter age-depth model uncertainties provide better chronological control. Nielsen and Odgaard (2010) used 500 years time windows to solve a lack of chronological information. Mazier *et al.* (2012) estimated that 100 to 500 years time windows offered sufficient confidence in the results for the Czech pollen-analytical dataset. However, REVEALS estimates are more reliable using samples from several coarse pollen records than using samples from only one higher resolution record (HELLMAN *et al.* 2008b, MAZIER *et al.* 2012). This emphasizes the caution given to the analysis of the results between 10400 and 7500 cal. BC (3 to 4 sites) and between 1000 cal. BC and the present days (1 to 4 sites).

The on-site growing vegetation could be another significant bias within the REVEALS estimates of vegetation cover (SUGITA 2007a), especially for certain trees (e.g. *Pinus*, *Betula*) and herbs (*Cyperaceae*, Poaceae, *Calluna vulgaris*) (MAZIER *et al.* 2012). The exclusion of *Cyperaceae* from the Paris Basin pollen dataset results from this problem, but also induces a new bias. Indeed, *Cyperaceae* cover is part of the whole open vegetation cover, so their exclusion induces an under-estimation of the total extent of landscape/woodlands openness within the REVEALS estimates in our study.

Another noticed bias is the filtering effect of *Alnus* along the deposition basins which can block a significant part of the pollen grains coming from beyond the line of trees packed along the paleochannels edges. Thus, even if the great pollen productivity of this taxon which also biases the pollen percentages can be corrected by the REVEALS model, its filtering effect is not integrated in the LRA and the other taxa's proportions remain biased for period where Alnus is largely represented.

Finally, the results presented in this paper should not be considered as a definitive quantitative reconstruction of the vegetation cover for the central-eastern Paris Basin, but as a first attempt that will be improved through the incorporation of new data (new pollen cores, re-sampling within the available cores, new radiocarbon dates).

Conclusion

Based on previous successful attempts to reconstruct regional vegetation covers from different parts of north-western Europe using multiple sites of variable sizes (FYFE *et al.* 2013, MAZIER *et al.* 2012, NIELSEN *et al.* 2012), we applied here the REVEALS model within a region where none pollen-based quantitative reconstruction of past vegetation cover had been

achieved yet. The particular sedimentary context of the pollen cores from the central-eastern Paris Basin led us to realize some tests in order to determine a consistent approach for producing REVEALS-based estimates from the central-eastern Paris Basin.

These tests showed that the size of the basins and the dispersal and deposition function had a lesser influence on the results than the PPEs and the FSPs. They also confirmed the general homogeneity of the vegetation cover within the study area.

The main outcomes of the study are (i) the similar general evolution pattern of both REVEALS-based vegetation cover and pollen-analytical results, which mainly results from the tree-spreading of the different species through the Holocene under climate trends, (ii) but with significant variations concerning certain taxa proportions (e.g. *Alnus*, Poaceae, *Pinus*, *Tilia*, *Cerealia* type) which highlight the strong influence of the between-species variations of pollen productivity and dispersal on pollen percentages, (iii) the higher values of landscape/woodland openness than those directly derived from pollen percentages, particularly for the beginning and the end of the Holocene and despite the exclusion of *Cyperaceae* from the dataset.

Concerning this third point, we observed that working with not randomly distributed sites within the study area can generate REVEALS estimates of the regional vegetation cover which are too much influenced by an exclusive type of ecological area. Thus, the modelled landscapes appear to be more representative of these particular hydrographical or topographical areas than of the strictly entire region. Correlatively, using pollen records from paleochannels only may lead to overestimate the landscape/woodland openness because of the current higher openness of the valley floors than for the plateaus.

After the first LRA-based study realized by Mazier (2006) in the Pyrenees and the Jura mountains, the present paper and another application of the REVEALS model for the neighbouring region of the Armorican Massif (DAVID *et al.* in prep.-c) constitute some new developments of vegetation cover reconstructions in France. The work is also in progress in other parts of the world, including tropical biomes such as Cameroon (GAILLARD *et al.* 2012) or India (Krishnamurthy *et al.* in prep.). In these countries, tests are in process for applying the LRA approach and develop PPEs for the local plants taxa.

1.3 - MODIFICATIONS DU COUVERT VEGETAL ESTIME ET SIGNAL ARCHEOLOGIQUE

1.3.1 - ENVIRONNEMENT ET ANTHROPISATION DU MILIEU DURANT LE NEOLITHIQUE DANS LE BASSIN PARISIEN : L'APPORT DES DONNEES POLLINIQUES ET DE LA MODELISATION DU COUVERT VEGETAL

Environnement et anthropisation du milieu durant le Néolithique dans le Bassin parisien : l'apport des données polliniques et de la modélisation du couvert végétal

Leroyer Chantal, David Rémi, Maguet Enora, Mazier Florence, Allenet de Ribemont Gisèle, Lanos Philippe, Dufresne Philippe

(Article à soumettre)

Introduction

Bénéficiant de l'essor des opérations d'archéologie préventive, de nombreuses études palynologiques ont été réalisées dans les fonds de vallées du Bassin parisien depuis la fin des années 1980. La région bénéficie donc d'un corpus élevé de données polliniques, et ce, en perpétuelle évolution : après les travaux principalement réalisés dans les bassins de la Seine et de la Marne (LEROYER 1997) se sont ajoutées les études effectuées dans la moyenne vallée de l'Oise (LEROYER 2006b). Le but de toutes ces études est de suivre les transformations du paysage végétal sous les influences du climat et/ou de l'homme (LEROYER 1997, LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006a, LEROYER *et al.* 2011). Les données polliniques étant particulièrement abondantes pour la partie médiane de l'Holocène qui couvre les temps néolithiques, une attention particulière a été portée à l'impact de ces premiers agriculteurs sur le milieu végétal (LEROYER 2003,2004,2006a). Notre propos, ici, n'est pas de proposer une nouvelle synthèse sur l'évolution de l'anthropisation du milieu durant le Néolithique d'après les seuls comptages polliniques mais d'aborder le sujet avec de nouveaux paramètres. Le principal consiste en une modélisation des données polliniques qui vise à restituer plus justement la structure du paysage végétal. En effet, la palynologie ne livre qu'une perception déformée des environnements du fait de biais inhérents à la discipline. Ces derniers ont été intégrés dans un modèle mathématique qui permet d'estimer les proportions de chaque taxon dans le couvert végétal régional (DAVID *et*

al. 2012). L'autre nouveauté réside dans l'utilisation d'un système de gestion de base de données relationnel (SGBDR) qui permet d'obtenir des valeurs moyennes pour chacun des taxons (MAGUET 2013). Enfin, une attention particulière est portée au peuplement humain et à la proximité des séquences avec des sites archéologique. De ce fait, après un exposé de l'aspect méthodologique de chacune des démarches, nous développerons les résultats obtenus par chacune des approches puis nous procéderons à leur confrontation qui nous permettrons de dégager les principales conclusions

I - Méthodologie

A) Les études palynologiques

a) Implantation des séquences et acquisition des données

Afin d'établir l'histoire de la végétation régionale mais aussi d'appréhender l'impact des sociétés humaines sur le milieu, l'option a été prise de n'étudier que des séquences de fonds de vallées ; milieu qui s'avère particulièrement riche, d'une part, en zones humides et organiques, propices à la palynologie et d'autre part, en sites archéologiques diachroniques (LEROYER 1989). Les séquences polliniques ont été sélectionnées selon trois logiques : la variabilité géographique, la hiérarchie des réseaux hydrographiques et la relation avec les occupations humaines (cf. Fig. 17). Afin de vérifier une possible variabilité géographique des enregistrements, différents bassins alluviaux (Oise, Marne, Seine, Yonne) ont été échantillonnés selon un transect nord-ouest à sud-est. L'impact éventuel de la hiérarchie des réseaux hydrographiques est appréhendé par une sélection de profils appartenant aux axes majeurs, à leurs affluents et aux marais qui leur sont associés. L'aspect archéologique est traité par le biais du lien plus ou moins prononcé des profils avec des implantations humaines : carottages dans des zones exemptes d'occupation, dans des secteurs de fort peuplement pendant une période et, enfin, directement associés à un site. Si la morphologie du fond de vallée s'y prête, on peut alors réaliser plusieurs profils qui s'éloignent progressivement de l'habitat (LEROYER 1997,1998). Cette démarche permet de disposer de longues séquences de référence qui traversent l'Holocène conjointement à des profils temporellement plus courts mais beaucoup plus dilatés et le plus souvent associés à des occupations. Ainsi, les informations sont hiérarchisées et il est réellement possible d'appréhender l'impact anthropique selon les périodes (LEROYER 1997, LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006a).

L'échantillonnage a été effectué sur les coupes dégagées à l'occasion des travaux d'archéologie préventive ou sur des carottes, extraites avec une sondeuse mécanique (Sédidrill 140). Les préparations ont été réalisées au laboratoire de palynologie du Centre national de Préhistoire selon le protocole de Girard et Renault-Miskovsky (1969) : l'absence d'acétolyse permettant de reconnaître toute contamination par des stocks polliniques subactuels. L'étude a été menée avec une rigueur méthodologique, destinée à assurer la représentativité des données : maillage serré des prélèvements, élimination des échantillons peu fiables, décomptes élevés, obtention d'une large diversité taxinomique, estimation des concentrations absolues par la méthode volumétrique (COUR 1974) et vérification de toutes les variations des fréquences

relatives par des modifications des sommes de base et une confrontation aux valeurs absolues. Les données ont été traitées avec le logiciel Gpalwin (GOEURY 1988).

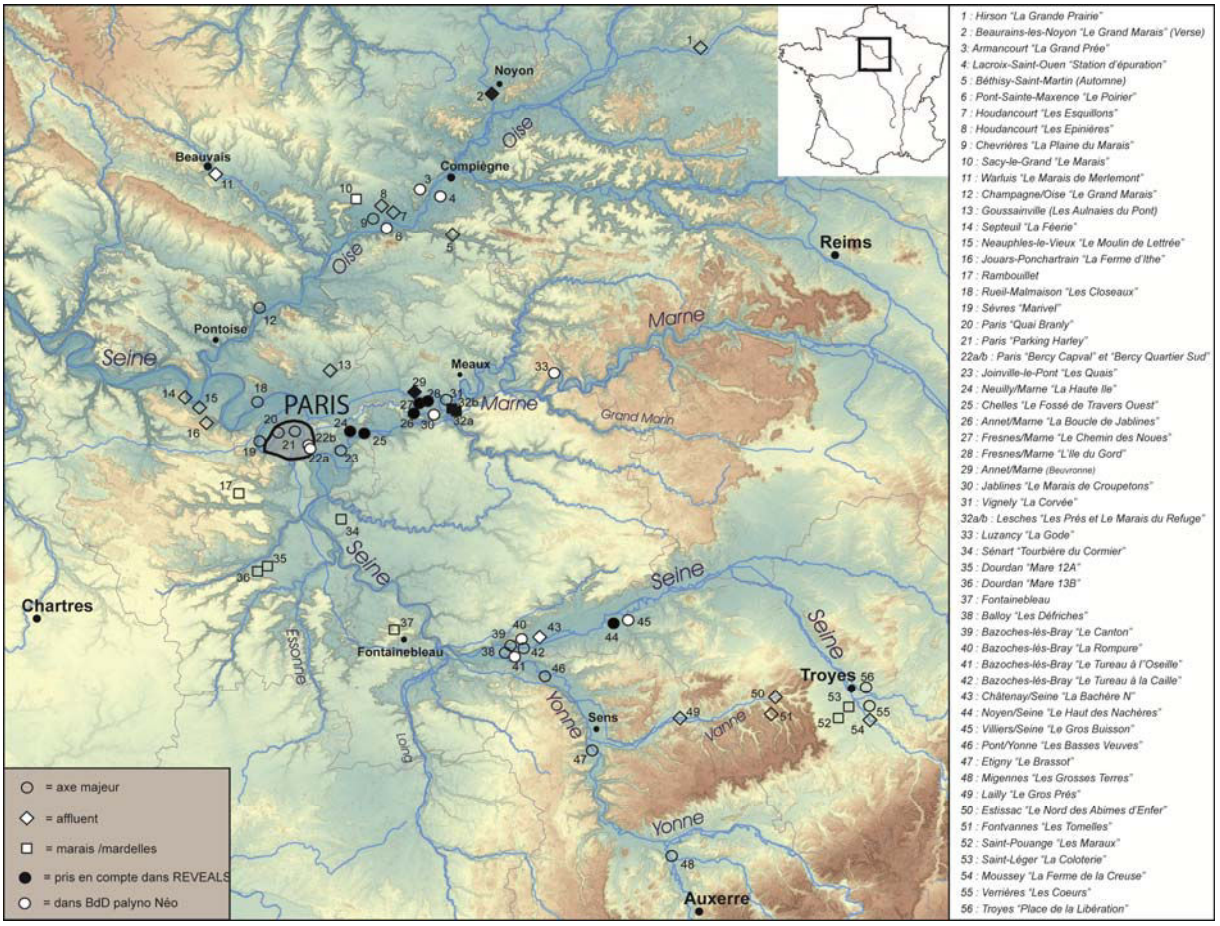


Fig. 17 : Carte de localisation des études palynologiques tardi-et-postglaciaires du Bassin parisien avec individualisation des séquences couvrant le Néolithique et des profils intégrés à la modélisation

b) Le corpus des données documentant le Néolithique

Le corpus de données polliniques couvrant le Néolithique s'avère particulièrement développé avec 527 échantillons, issus de 33 séquences réparties sur 21 sites différents (cf. Fig. 17 et Fig. 18). Leur distribution respecte globalement le protocole d'échantillonnage général puisqu'ils illustrent les trois bassins alluviaux (Oise, Marne et Seine). Ces 33 profils relèvent principalement des axes majeurs mais aussi de tributaires : la Verse pour l'Oise, la Beuvronne pour la Marne et l'Auxence pour la Seine. En revanche, seuls les bassins de l'Oise et de la Marne ont livré des séquences de marais (Sacy et Lesches). Dans ce corpus, le bassin aval de la Marne est privilégié puisqu'il regroupe 40% des séquences étudiées (42% des échantillons) alors que la Bassée (vallée de la Seine) et la moyenne vallée de l'Oise totalisent respectivement 36, 4% et 15 % des sites (24, 9% et 20% des échantillons). S'y ajoute les sites de Bercy, appartenant à la vallée de la Seine mais situés juste en amont de la confluence avec la Marne : ils représentent 9,1% des séquences mais 12,7% des échantillons.

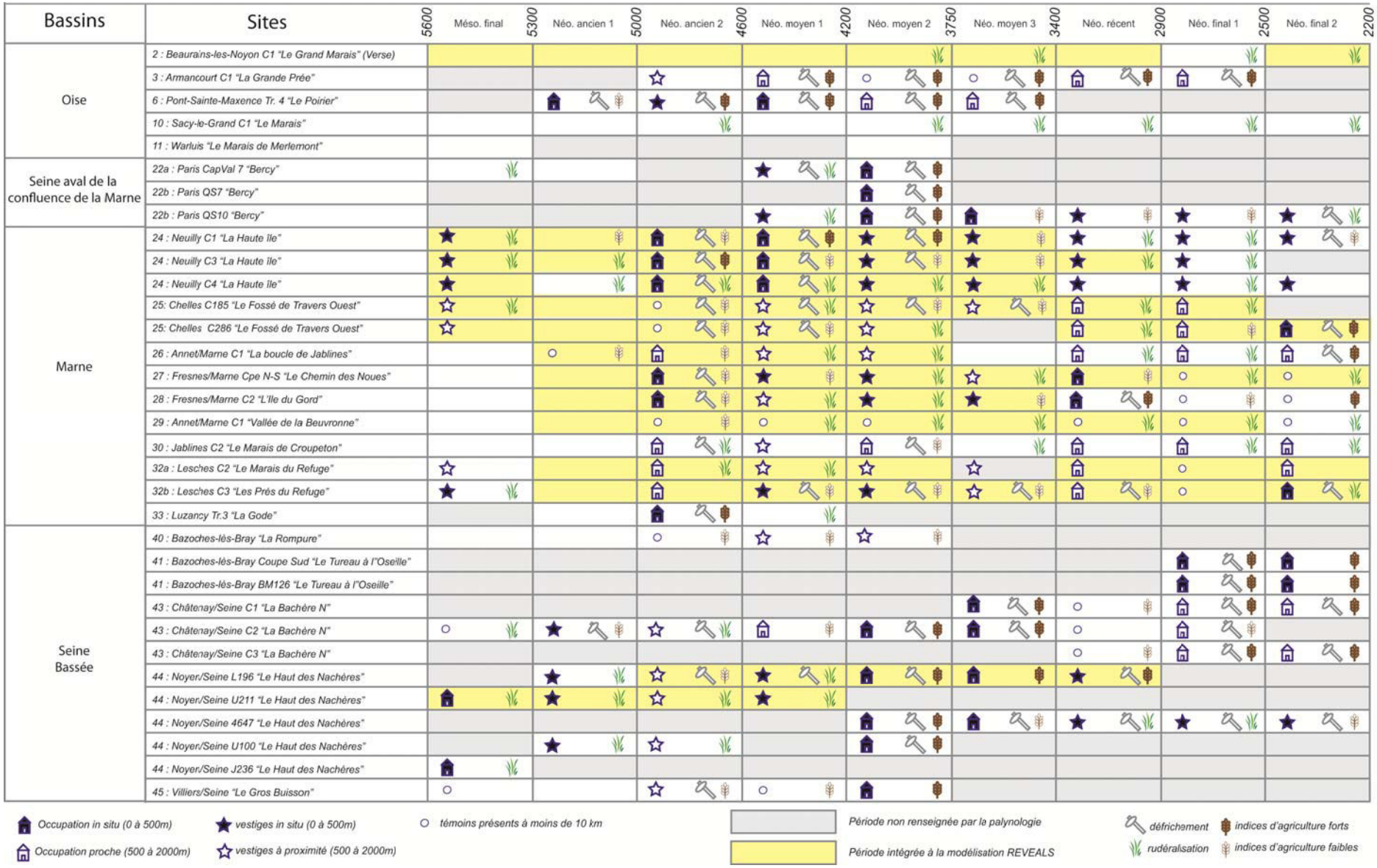

Bassins
Sites
5600
Méso. final
5300
Néo. ancien 1
5000
Néo. ancien 2
4600
Néo. moyen 1
4200
Néo. moyen 2
3750
Néo. moyen 3
3400
Néo. récent
2900
Néo. final 1
2500
Néo. final 2
2200
Oise
2 : Beaurains-lès-Noyon C1 "Le Grand Marais" (Verse)
3 : Armancourt C1 "La Grande Prée"
6 : Pont-Sainte-Maxence Tr. 4 "Le Poirier"
10 : Sacy-le-Grand C1 "Le Marais"
11 : Warluis "Le Marais de Merlemont"
Seine aval de la confluence de la Marne
22a : Paris CapVal 7 "Bercy"
22b : Paris QS7 "Bercy"
22b : Paris QS10 "Bercy"
Marne
24 : Neuilly C1 "La Haute île"
24 : Neuilly C3 "La Haute île"
24 : Neuilly C4 "La Haute île"
25: Chelles C185 "Le Fossé de Travers Ouest"
25: Chelles C286 "Le Fossé de Travers Ouest"
26 : Annet/Marne C1 "La boucle de Jablines"
27 : Fresnes/Marne Cpe N-S "Le Chemin des Noues"
28 : Fresnes/Marne C2 "L'Ile du Gord"
29 : Annet/Marne C1 "Vallée de la Beuvronne"
30 : Jablines C2 "Le Marais de Croupeton"
32a : Lesches C2 "Le Marais du Refuge"
32b : Lesches C3 "Les Prés du Refuge"
33 : Luzancy Tr.3 "La Gode"
Seine Bassée
40 : Bazoches-lès-Bray "La Rompure"
41 : Bazoches-lès-Bray Coupe Sud "Le Tureau à l'Oseille"
41 : Bazoches-lès-Bray BM126 "Le Tureau à l'Oseille"
43 : Châtenay/Seine C1 "La Bachère N"
43 : Châtenay/Seine C2 "La Bachère N"
43 : Châtenay/Seine C3 "La Bachère N"
44 : Noyen/Seine L196 "Le Haut des Nachères"
44 : Noyen/Seine U211 "Le Haut des Nachères"
44 : Noyen/Seine 4647 "Le Haut des Nachères"
44 : Noyen/Seine U100 "Le Haut des Nachères"
44 : Noyen/Seine J236 "Le Haut des Nachères"
45 : Villiers/Seine "Le Gros Buisson"
Occupation in situ (0 à 500m)
Occupation proche (500 à 2000m)
vestiges in situ (0 à 500m)
vestiges à proximité (500 à 2000m)
témoins présents à moins de 10 km
Période non renseignée par la palynologie
Période intégrée à la modélisation REVEALS
défrichement
rudéralisation
indices d'agriculture forts
indices d'agriculture faibles

Fig. 18 : Tableau récapitulatif des séquences polliniques couvrant le Néolithique renseignant l'enregistrement des marqueurs d'anthropisation et la présence de découvertes archéologiques

Le « gradient archéologique » est également respecté avec 3 profils dénués de toute relation archéologique durant toute la période et des séquences liées à des occupations (vestiges épars ou habitat découverts sur place ou à quelques distance) ou implantées dans un secteur peuplé durant le Néolithique (cf. Fig. 18).

c) La base de données polliniques

L'ensemble des données couvrant le Néolithique a été intégré dans un système de gestion de base de données relationnel (SGBDR). Dans cette base, les enregistrements polliniques ainsi que les informations liées aux sites, aux profils et aux échantillons sont stockés sous forme de tables (MAGUET 2013). Celles-ci sont reliées entre elles par un système de relations, qui repose sur l'utilisation de clés primaires (ou identifiants), correspondant au premier champ de chacune des tables. Le stockage des données palynologiques sous forme d'un SGBDR permet d'éviter la redondance d'un grand nombre de données textuelles, et de réaliser des requêtes regroupant les données issues de différents profils. Les requêtes sont des commandes SQL (System Query Language) qui permettent d'effectuer des opérations et d'établir des critères de sélection, avant d'afficher les résultats sous formes de nouvelles tables ou de formulaires. Le problème récurent rencontré lors de la constitution de bases de données palynologiques (LEROYER *et al.* 2009, LEROYER *et al.* 2014) réside dans l'attribution chronologique des échantillons, du fait de leur diversité : calage basé sur la zonation pollinique, datations diverses (C14, dendrochronologie, matériel archéologique), modèles âge/profondeur. De ce fait, il a été décidé de fonctionner avec des intervalles de temps et non des dates ponctuelles : les fenêtres temporelles adoptées sont les mêmes que celles définies pour la modélisation (cf. I. B. b.). Incluant l'ensemble des résultats disponibles pour la période, la base de données repose un corpus de 527 échantillons provenant de 33 séquences.

B) La modélisation des données polliniques

a) Le modèle REVEALS

Si les analyses palynologiques apportent d'abondantes informations sur la végétation du passé, de nombreuses études sur les relations entre la pluie pollinique et la végétation ont montré, depuis longtemps, que la palynologie fournit une image biaisée du paysage végétal (BARTHELEMY 1985, HEIM 1970). Ces déformations relèvent des différences en matière de productivité pollinique et de dispersion du pollen, ainsi que de la structure de la végétation environnant le point de sondage pollinique (PRENTICE 1985,1988, SUGITA 1993,1994). Ces paramètres, intégrés de façon intuitive dans les interprétations des données polliniques, ont pu être quantifiés grâce à une formulation mathématique : le LRA (Landscape Reconstruction Algorithm) (SUGITA 2007a,b). Basé sur le LRA, le modèle REVEALS (Regional Estimates of VEgetation Abundance from Large Sites) (SUGITA 2007a), permet d'estimer les proportions de

chaque taxon dans le couvert végétal régional. Il a été validé par un test effectué sur des séquences polliniques lacustres dans deux régions de Suède : les grands ensembles de la végétation présente sont bien mieux reconstitués par le modèle REVEALS que par les données polliniques initiales (HELLMAN *et al.* 2008a).

Pour fonctionner, le modèle nécessite la connaissance de la productivité pollinique des différents taxons ainsi que la fonction de dispersion et de dépôt du pollen. La productivité pollinique relative, nommée usuellement PPE (*Pollen Productivity Estimate*), a été mesurée pour de nombreux taxons végétaux dans 11 régions du nord et de l'est de l'Europe (BROSTRÖM *et al.* 2008); elle a ensuite été moyennée pour obtenir une valeur considérée comme applicable à l'ensemble de l'Europe (MAZIER *et al.* 2010, MAZIER *et al.* 2012). La vitesse de chute dans l'air des grains de pollen des différents taxons a été calculée en tenant compte de leur taille, de leur densité et de leur morphologie afin d'aboutir à une valeur chiffrée traduisant le potentiel de dispersion propre au pollen de chaque espèce. D'autres paramètres influent sur la fonction de dispersion du pollen dans le modèle REVEALS : la taille des bassins de sédimentation et la nature du collecteur (tourbière ou lac). A ce niveau, l'application du modèle REVEALS aux données polliniques du Bassin parisien ne satisfait pas totalement aux conditions initialement établies par Sugita (2007a) pour des séquences lacustres. L'utilisation du modèle sur des corpus de données non-idéaux a, néanmoins, déjà été effectué (FYFE *et al.* 2013), dans le cadre du programme LANDCLIM (LAND cover – CLIMate interactions in NW Europe during the Holocene) (GAILLARD *et al.* 2010) qui vise notamment à évaluer empiriquement la pertinence des résultats de modélisation du couvert végétal.

b) Application aux données du Bassin parisien

Les contraintes méthodologiques du modèle REVEALS ont conduit à ne sélectionner qu'une partie des séquences disponibles dans le corpus de données du Bassin parisien. En effet, la nécessité d'établir un modèle d'âge pour chacune d'entre elles élimine de fait les séquences discontinues et toutes celles qui ne présentent pas un minimum de trois datations sur une partie au moins du profil (MAZIER *et al.* 2012). Ainsi, sur les 33 séquences disponibles au départ, seules 14 ont été sélectionnées pour participer au calcul de la végétation estimée ; issues de 10 sites, elles totalisent 242 échantillons (cf. Fig. 17 et Fig. 18). Elles proviennent principalement du bassin aval de la Marne qui regroupe 78% des profils modélisés (83% des échantillons) alors que la Bassée et la moyenne vallée de l'Oise représentent respectivement 14,3% et 7 % des sites (10, 7% et 5,8% des échantillons). La partie parisienne de la vallée de la Seine n'a pas été prise en compte.

Les résultats de modélisation du couvert végétal sont obtenus sous la forme d'estimations renseignant des intervalles de temps et non des dates ponctuelles. Ces intervalles couvrent des périodes de 300 à 500 ans dont les bornes chronologiques ont été définies, autant que faire se peut, sur la base de périodes culturelles relatives aux sociétés du nord-ouest de la France. Néanmoins, certaines fenêtres temporelles ne correspondent pas exactement aux limites des périodes culturelles. De surcroît, des noms d'usage leurs ont été affectés ; s'ils renvoient à une terminologie culturaliste, ils ne sont utilisés que dans le seul but de faciliter la discussion.

Enfin, seuls 23 taxons sont utilisés pour les modélisations alors que la liste floristique complète pour la période néolithique s'élève à 191 taxons. Ces 23 taxons correspondent, néanmoins, aux principaux ligneux contribuant à l'histoire de la végétation ; s'y ajoutent quelques herbacées qui illustrent les zones de prairies (Poacées) et les activités agro-pastorales (*Plantago media, Plantago lanceolata, Rumex acetosa et Cerealia*). Les Cypéracées ont du être exclues des quantifications.

II - Les résultats

A) Structure de la végétation

a) Hiérarchie des taxons d'après les données polliniques durant le Néolithique

Les temps néolithiques sont couverts par les palynozones régionales VII et VIIIa du référentiel régional. Elles sont respectivement définies par l'essor du tilleul (*Tilia*), l'apparition de l'if (*Taxus)* et la progression de l'aulne (*Alnus*) pour la zone VII et par l'extension de l'aulne dans tous les profils de fonds de vallées pour la première partie de la zone VIII (LEROYER 1997,2006a, LEROYER *et al.* 2011). Notre but ici n'est pas de reconstituer l'histoire de la végétation régionale mais de vérifier la structuration de la couverture végétale et l'évolution des principaux taxons telles qu'elles sont transcrite par les deux bases de données : la base globale (527 échantillons) et la base restreinte utilisée par REVEALS (242 échantillons) dont sont exclues les Cypéracées. (cf. Fig. 19). Ces variations peuvent aussi être comparées aux enregistrements perçus dans les différentes séquences.

Quelque soit la base de données considérée, les ligneux prédominants sont successivement le noisetier (*Corylus*) puis l'aulne (*Alnus*). Cependant, si *Corylus* reste majoritaire jusqu'à 4600 cal. BC dans la base restreinte, il est dépassé par *Alnus* dès 5000 cal. BC dans la base globale (cf. Fig. 19). Dans celle-ci, il connaît ses valeurs maximales entre 2500 et 2200 cal. BC alors qu'il les atteint plus précocement (2900-2500 cal. BC) dans la base restreinte (cf. Fig. 19 et Fig. 20). En fait, l'examen des différents profils témoigne d'une large variabilité chronologique de la prédominance de l'aulne : il peut être majoritaire dès 5300 cal. BC (Pont-Sainte-Maxence, Beaurains-lès-Noyon, Châtenay), à partir de 5000 cal. BC (Chelles, Jablines), 4600 cal. BC (Annet « Beuvronne », Fresnes « Le Chemin des Noues »), 4200 cal. BC (Neuilly, Bercy, Noyen, Villiers), 3750 cal. BC (Fresnes « L'Ile du Gord », Lesches), 3400 cal. BC (Annet-sur-Marne « La Boucle de Jablines »), voire rester effacé comme dans les marais de Sacy.

Les Cypéracées et les Poacées interviennent ensuite. Les premières ont une représentation globalement équivalente à celle de *Corylus* à partir de 5000 cal. BC : place invérifiable dans la base restreinte dont elles sont exclues. En revanche, les Poacées y apparaissent privilégiées, occupant toujours le second rang alors qu'elles sont bien souvent supplantées par *Corylus* à partir de 4600 cal. BC dans la base globale. L'examen des différents profils montre que les Cypéracées et les Poacées sont majoritaires avant l'essor de l'aulne dans la plupart des séquences du bassin de la Marne (Neuilly, Lesches, Fresnes «L'Ile du Gord » et « Le Chemin des Noues », Annet « La Boucle de Jablines » et « vallée de la Beuvrone) : ainsi s'explique la meilleure représentation des Poacées dans la base restreinte, principalement composée de profils du bassin de la Marne.

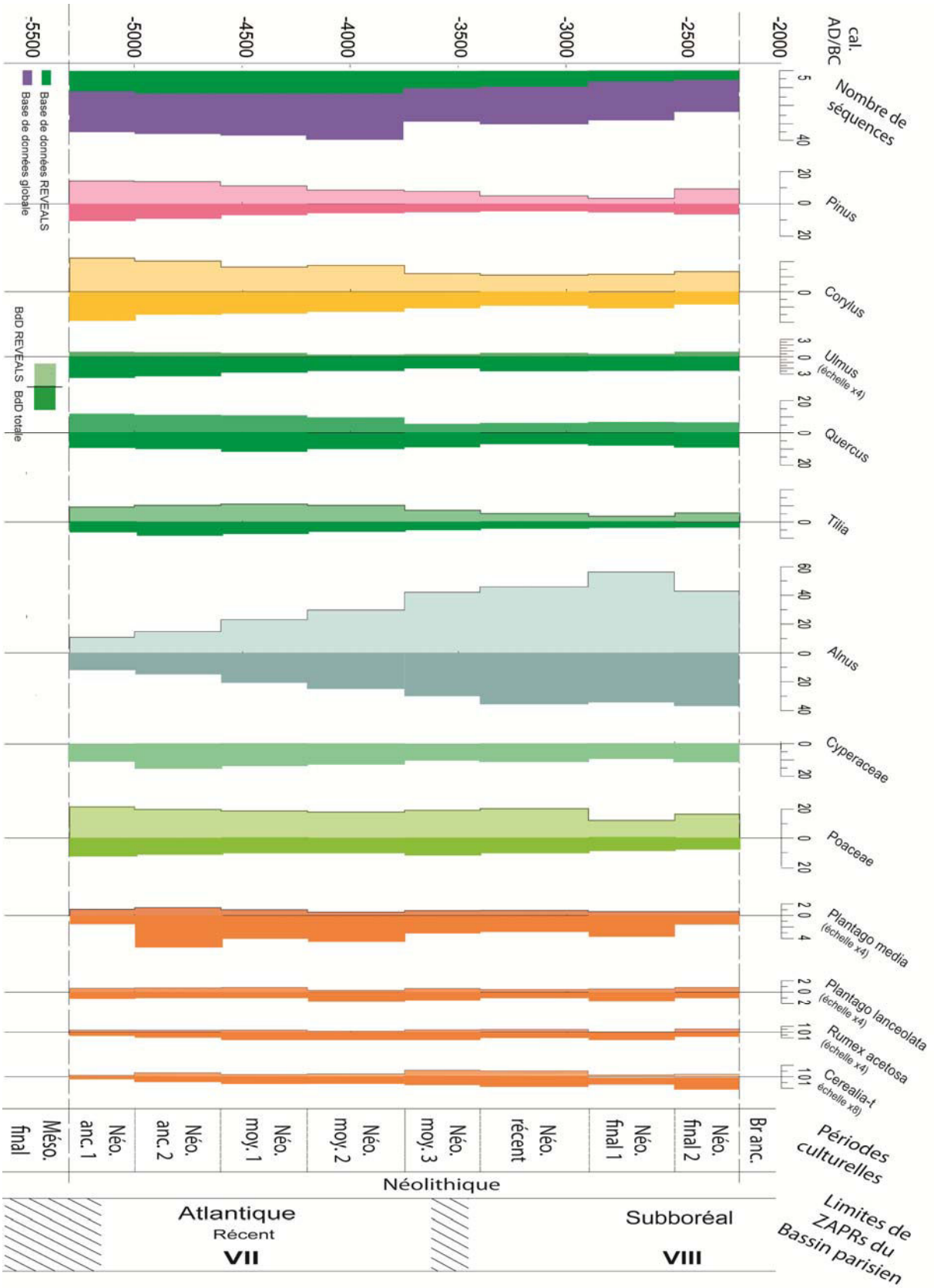


Fig. 19 : Evolution des principaux taxons selon les deux bases de données

Les deux bases de données restituent une place similaire au trio pin (*Pinus*) - chêne (*Quercus*) - tilleul (*Tilia*) dont les courbes se croisent sans cesse. En fait, l'examen des différents profils traduit une forte variabilité de représentation de ces taxons. Ainsi avant l'essor de l'aulne, le chêne peut être majoritaire devant le noisetier (Bercy, Lesches, Sacy) : *Quercus* étant toujours mieux perçu dans les marais. Cependant, à Fresnes-sur-Marne, Noyen-sur-Seine et Bazoches-lès-Bray, cette première place peut aussi être occupée par le pin qui reste toujours assez abondant en Bassée au contraire de la vallée de l'Oise. Le tilleul qui connaît sa représentation maximale entre 5000 et 3750 cal. BC, peut être relativement abondant (Beaurains-lès-Noyon, Bercy) ou rester assez effacé comme à Noyen-sur-Seine.

L'orme (*Ulmus*) et le plantain (*Plantago sp.*) interviennent ensuite avec des valeurs moyennes assez proches (3 à 5%) dans la base globale alors que les plantains (*Plantago media*) sont toujours moins développés que les ormes dans la base restreinte. Les autres marqueurs d'anthropisation (*Plantago lanceolata, Rumex acetosa, Cerealia*), pris en compte dans les deux bases, sont encore plus effacés.

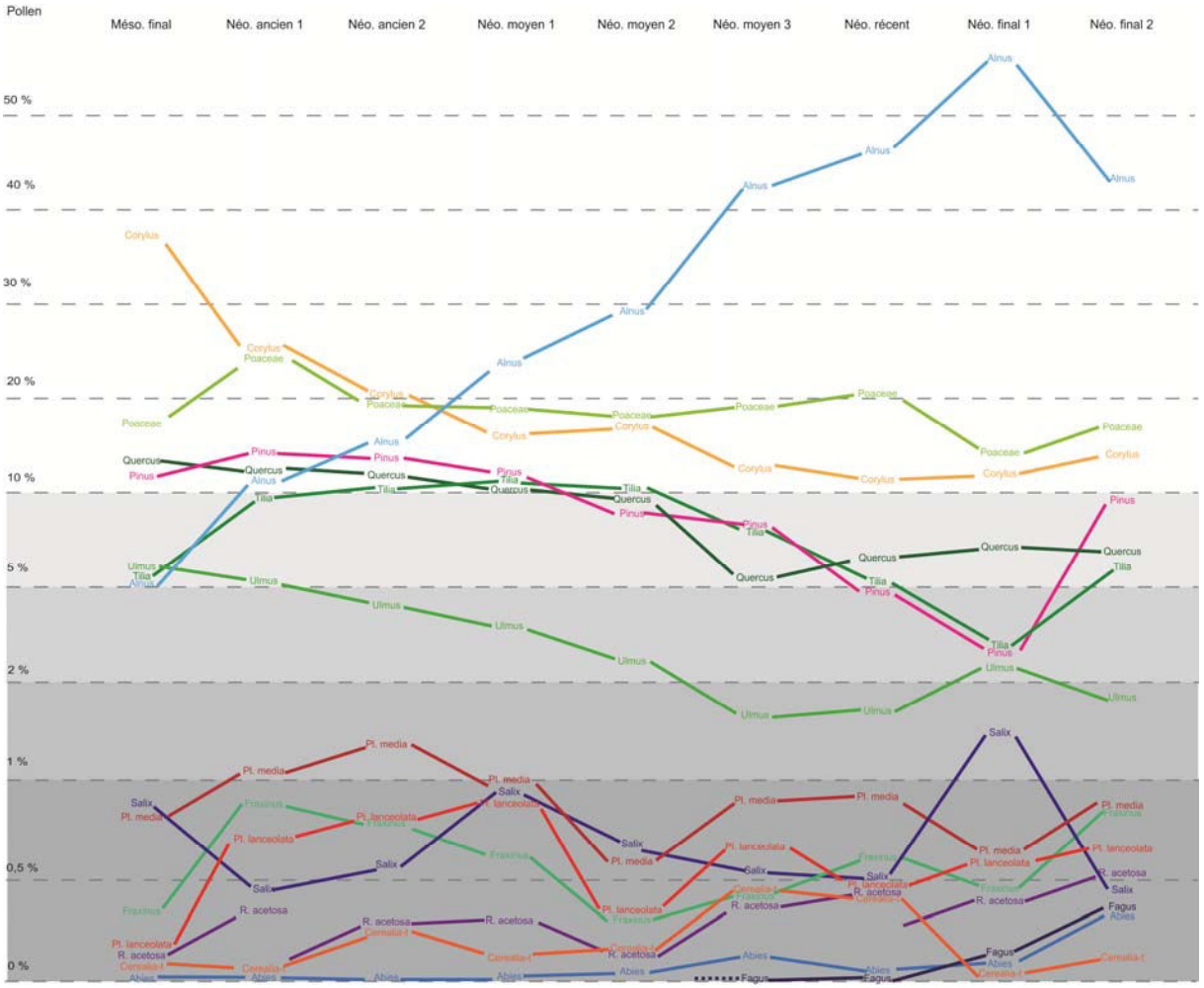


Fig. 20 : Hiérarchie des principaux taxons selon les comptages polliniques utilisés pour la modélisation

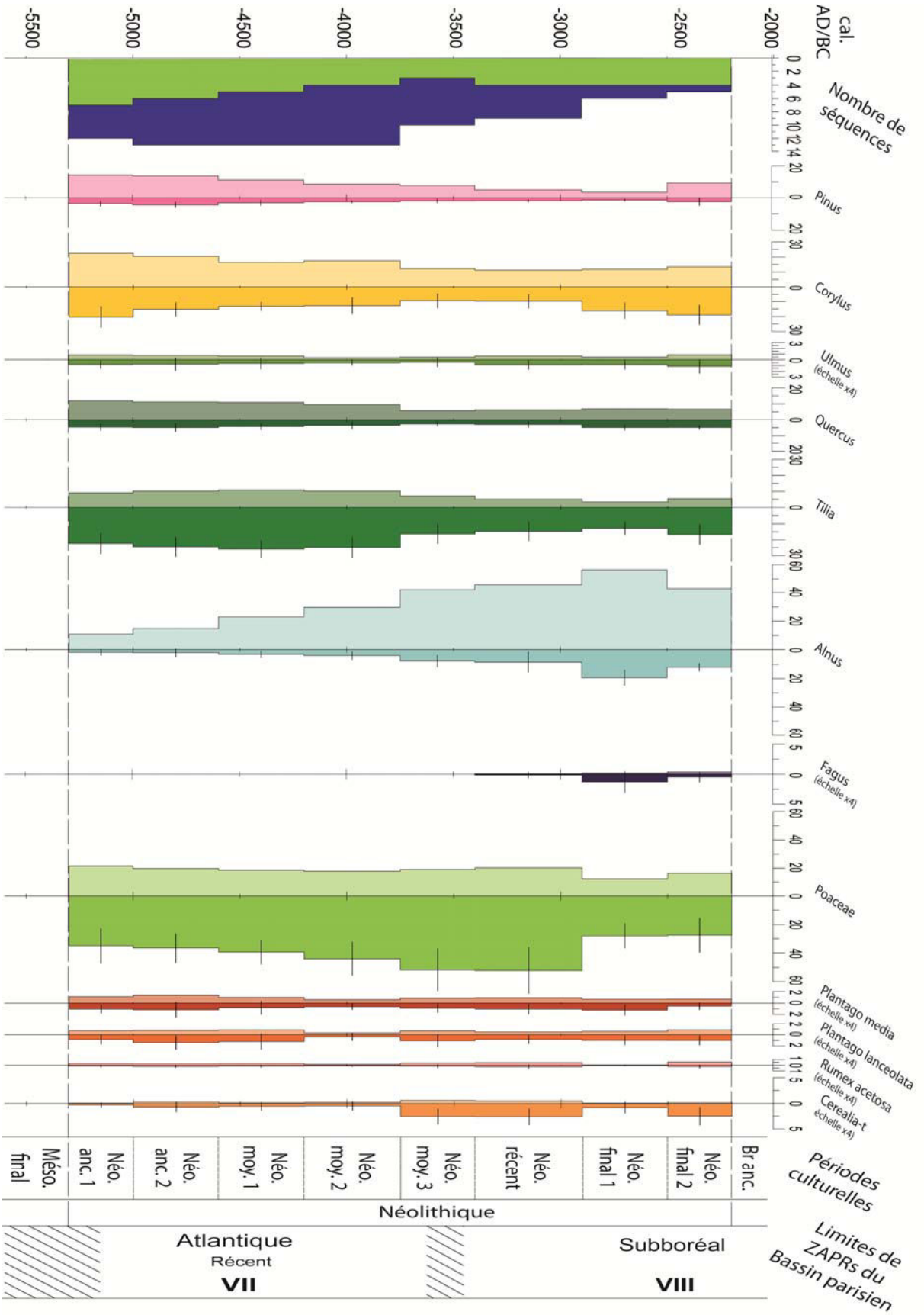


Fig. 21 : Évolution des principaux taxons selon les comptages polliniques et leur modélisation par REVEALS

b) Influence de la modélisation sur la hiérarchie des taxons durant le Néolithique

Si l'on retrouve une dynamique de la végétation estimée assez semblable à celle décrite par les comptages polliniques (cf. Fig. 21), les proportions entre les différents taxons se trouvent cependant souvent modifiées par le modèle.

On distingue trois grandes catégories de taxons suivant leurs proportions relatives (cf. Fig. 22). Le groupe de tête est composé de Poaceae, *Tilia* et *Corylus* avec des taux toujours supérieurs ou égaux à 10% du couvert végétal estimé. Le groupe intermédiaire comprend *Ulmus*, *Quercus* et *Pinus*, dans des proportions oscillant entre 2 et 10% du total. Enfin, le dernier groupe rassemble l'ensemble des taxons minoritaires dont les proportions relatives ne dépassent pas les 2%, avec *Salix*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Abies*, *Cerealia type*, *Rumex acetosa*, *Plantago lanceolata* et *media*.

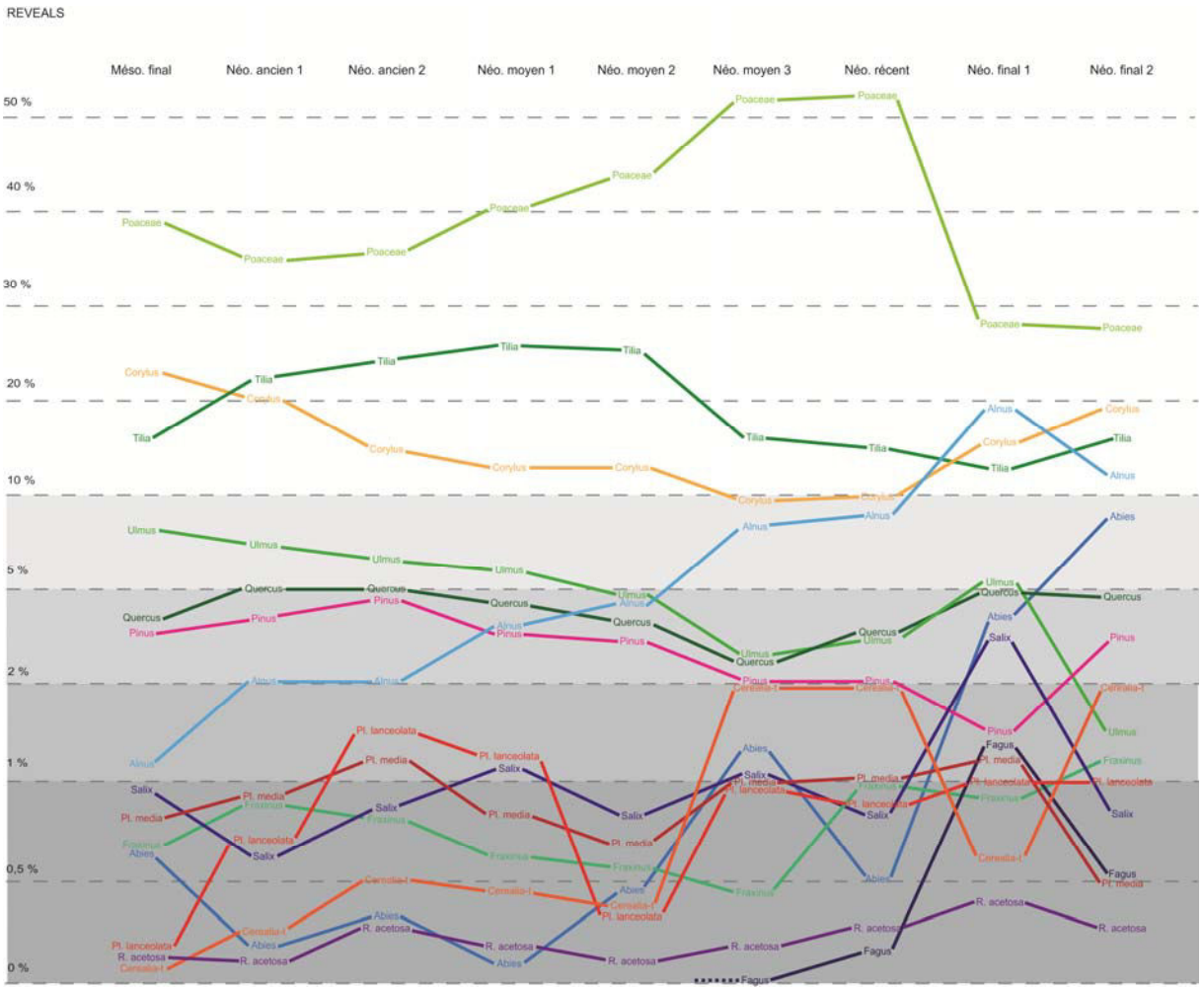


Fig. 22 : Hiérarchie des principaux taxons dans la végétation modélisée par REVEALS

Un seul taxon va voir ses proportions suffisamment modifiées au cours de la période pour se hisser de groupe en groupe, depuis celui des essences minoritaires aux groupes intermédiaire puis majoritaire (cf. Fig. 22). Il s'agit d'*Alnus* qui se trouve être, de loin, le taxon le plus largement

minoré, de par sa PPE très importante. Contrairement à l'image ressortant des analyses polliniques (cf. Fig. 21), il ne domine pas du tout le couvert végétal estimé et présente des proportions (1-7%) tout à fait comparables à celles de *Quercus* ou *Pinus* au cours de l'Atlantique récent (2-5%) et ne les dépasse qu'à partir du Subboréal (10-20%). Ces deux derniers taxons sont eux aussi minorés, mais dans des proportions moindres par rapport à *Alnus*. L'effet de la modélisation sur *Corylus* et *Ulmus* est plus ambigu et dépend des proportions des taxons qui leurs sont opposés sur chaque période reconstruite, ce qui n'empêche pas *Corylus* de ressortir comme le taxon arboréen majoritaire (10-25%), avec *Tilia* (15-25%), pour l'ensemble du Néolithique. *Tilia* doit lui sa position de taxon majoritaire à la conjugaison d'une faible PPE et d'une vitesse de chute du pollen importante, induisant une forte majoration de ses proportions relatives. *Fagus* est également fortement majoré mais sa représentation dans les comptages polliniques est tellement faible qu'il demeure un taxon mineur dans la végétation estimée (0-3%). Il atteint néanmoins des proportions comparables à celles d'*Ulmus* et *Pinus* au Néolithique final. Par soucis de lisibilité, *Fraxinus*, *Salix* et *Abies* ont été ôtés de la figure 2 car présents sur la période mais dans de faibles proportions (1-3%). Seul *Abies* atteint des proportions notables en toute fin de la reconstruction (8%) grâce à une extrêmement forte majoration par le modèle, même s'il est pourtant quasiment absent des comptages polliniques.

Tout comme pour les ligneux, les proportions des taxons non arboréens dans la végétation estimée sont pondérés par les PPE relatives à chaque essence. Ainsi, la part des Poacées est largement majorée par rapport aux comptages polliniques (cf. Fig. 21). Les proportions de céréales sont elles aussi clairement amplifiées par la modélisation. Dans une moindre mesure, l'incidence des espèces rudérales (*Plantago lanceolata, Plantago media, Rumex acetosa*) est également légèrement majorée.

B) L'anthropisation du milieu

a) Les enregistrements polliniques

La réponse des données polliniques à l'occupation humaine va être abordée par deux approches : la fréquence des enregistrements d'indices polliniques d'anthropisation (IPA) et les valeurs moyennes de ces indicateurs tels que relatées par les bases de données. La fréquence des enregistrements d'IPA's est elle-même confrontée à la densité, au types et à la proximité des témoins archéologiques dans chacun des secteurs alluviaux (cf. Fig. 18). Les valeurs moyennes des ces indicateurs (cf. Fig. 19) sont restituées au travers de deux corpus de données qui ne tiennent compte que de certains des IPA's (*Plantago sp. ou Pl. media, Plantago lanceolata, Rumex acetosa, Cerealia*). A ces tendances générales peuvent être juxtaposées les variations propres à chacune des séquences polliniques.

La première fenêtre temporelle (5600-5300 cal BC) couvre la phase finale du Mésolithique. Si le Mésolithique final n'est pas une période culturelle très documentée au niveau régional (VALENTIN *et al.* 2013) plusieurs séquences polliniques profitent néanmoins d'un bon contexte archéologique : 2 des profils de Noyen-sur-Seine (MORDANT 1992, MORDANT *et al.* 2013) sont directement liés à une occupation des lieux tandis que des vestiges ont été découverts à Neuilly-sur-Marne et à Lesches « Les Prés du Refuge » (CONFALONIERI & LE JEUNE 2013). De fait, si un peu plus de la moitié du corpus général bénéficie d'un lien archéologique (occupations ou vestiges

plus ou moins proches), la proportion est beaucoup plus élevée (85%) dans la base de données restreinte. Cette différence se traduit par une perception différente de l'anthropisation du milieu : une hausse des rudérales accompagnée d'une irrégularité des courbes des principaux ligneux est perceptible dans 38% des séquences du corpus général pour 57% du corpus restreint (cf. Fig. 18). Toutefois, les valeurs moyennes des taxons rudéraux restent basses : elles sont un peu plus élevées dans la base globale (1, 6% pour *Plantago major/media*, 0,9 % pour *Plantago lanceolata* et 0,8 % pour *Rumex acetosa*) que dans la base restreinte où elles sont toujours inférieures à 1% (cf. Fig. 19 et Fig. 20).

La deuxième fenêtre (5300-5000 cal BC) couvre *a priori* les débuts de la colonisation néolithique. Dans la région, elle est représentée par le Rubané récent du Bassin Parisien (RRBP) mais cet horizon culturel n'a été reconnu que dans les vallées de l'Aisne et de l'Oise (DUBOULOZ 2012). Les vallées de la Seine et de la Marne ne connaissent qu'une occupation du Rubané final qui correspond aux prémices de la phase suivante, le BVSG. (Blicquy - Villeneuve-Saint Germain) et se met en place aux alentours de 5000 cal BC (LANCHON 2008,2012). Par ailleurs, en Bassée, la dernière occupation mésolithique de Noyen-sur-Seine se déroule pendant cette période (MORDANT *et al.* 2013). De ce fait, la part des séquences dénuées de tout contexte archéologique est plus élevée que précédemment : 60 % du corpus total et 67% du corpus restreint (cf. Fig. 18). Une seule séquence pollinique (Pont-Sainte-Maxence dans la vallée de l'Oise) est associée à un habitat rubané mais elle n'est pas prise en compte dans la base de données utilisée pour REVEALS. Les profils de Noyen-sur-Seine sont toujours liés à l'occupation mésolithique tandis que ceux de Châtenay-sur-Seine et d'Annet-sur-Marne bénéficient de la présence de groupes du Rubané final dans le secteur. Cette variabilité archéologique implique que la majorité des profils (61% et 66% du corpus restreint) ne traduisent aucune trace d'anthropisation. Lorsque ces dernières sont enregistrées, elles correspondent principalement à une hausse des cortèges rudéraux. La céréaliculture n'est enregistrée que dans les profils, plus ou moins liés à une occupation néolithique. Si les valeurs moyennes des Poacées et des Cypéracées reculent (cf. Fig. 19 et Fig. 20), celles des plantains progressent très légèrement : une différence se marque dans la perception des oseilles qui augmentent dans la base restreinte alors qu'elles diminuent dans la base totale. Les valeurs moyennes du type *Cerealia* sont très basses (0, 35%).

La troisième fenêtre temporelle (5000-4600 cal BC) couvre la phase BVSG (Blicquy - Villeneuve-Saint-Germain). Cette culture est bien représentée régionalement et tout particulièrement dans le bassin aval de la Marne (LANCHON 2008,2012) où, de ce fait, toutes les séquences polliniques bénéficient d'un contexte archéologique (cf. Fig. 18). Au regard du poids du bassin de la Marne dans les bases de données (56% et 77% du corpus restreint), la part des profils dénués de contexte archéologique est très faible (8%). De même, seules 13% des séquences ne livrent aucune trace d'anthropisation (15, 4% de la base restreinte) ; la présence de céréales et/ou de défrichement est perçue dans plus de moitié des profils. Les deux sont enregistrés conjointement lorsqu'il y a une occupation sur les lieux. Si les valeurs moyennes de tous les indices d'anthropisation sont en hausse quelque soit le corpus pris en compte, cette progression reste, néanmoins, de faible amplitude (cf. Fig. 19 et Fig. 20). Seul l'essor de *Plantago sp*. se marque nettement dans la base totale. Les valeurs moyennes des Poacées diminuent à nouveau mais ce retrait est pallié par la hausse des Cypéracées, vérifiée dans la base générale.

La quatrième fenêtre temporelle (5600-4200 cal BC) couvre la première étape du Néolithique moyen, caractérisée régionalement par la culture du Cerny qui voit la construction des

premières enceintes monumentales (DUBOULOZ *et al.* 1991). Des vestiges de cette période sont connus dans tous les secteurs étudiés mais aucun ne traduit une densité de peuplement aussi forte que celle du bassin aval de la Marne durant le BVSG. De ce fait, la proportion de séquences polliniques bénéficiant d'un contexte archéologique est légèrement moins élevée (88%) et elles sont plutôt liées à des vestiges épars qu'à des habitats (cf. Fig. 18). Cette relation archéologique moins forte ne se marque aucunement par une baisse de la fréquence des enregistrements d'activités humaines : elle reste stable dans le corpus total et augmente même dans la base restreinte (92% des profils pour 85% au BVSG). En revanche, céréaliculture et défrichements sont moins souvent enregistrés au bénéfice des cortèges rudéraux : évolution un peu moins marquée pour les défrichements dans la base restreinte. La prise en compte des valeurs moyennes des principaux IPA traduit une autre évolution (cf. Fig. 19 et Fig. 20). Ainsi, les valeurs moyennes de *Plantago lanceolata* et de *Rumex acetosa* progressent très légèrement alors que celles de *Plantago media* diminuent. Si le type *Cerealia* est en légère baisse dans la base restreinte, sa valeur moyenne augmente quelque peu dans la base totale. Les Poacées restent stables quelque soit le corpus et les Cypéracées sont en moyenne un peu moins développées.

La cinquième fenêtre temporelle (4200-3750 cal BC) couvre le Néolithique moyen II, porté dans le Bassin parisien par différents groupes culturels : Chasséen, Michelsberg, Groupe de Noyen (DUBOULOZ *et al.* 1989, MORDANT 1984a). Les témoins de ces cultures sont particulièrement abondants en vallée de la Seine et de ce fait, la presque totalité des séquences polliniques y sont associées à des occupations (enceintes ou maisons). Les habitats sont un peu moins fréquents dans les vallées de la Marne et de l'Oise où les profils polliniques sont plutôt liés à des vestiges épars (cf. Fig. 18). Si les données bénéficiant d'un contexte archéologique sont à peine plus nombreuses que durant le Néolithique moyen I, près de 40% d'entre-elles sont liées à des occupations *in situ* dans le corpus général où le bassin de la Seine regroupe 34% des séquences. Il en est tout autrement pour le corpus restreint qui comprend 84% de profils issus du bassin de la Marne : à peine 8% des séquences y sont associées à des occupations pour 77% profitant de la présence de vestiges archéologiques épars. Cette différence entre les deux corpus ne se marque pas dans les proportions générales de séquences livrant des traces d'anthropisation qui sont en légère hausse dans les deux (92%). En revanche, elle a un impact notable sur les perceptions de la céréaliculture et des défrichements : elles progressent par rapport à la période Cerny dans la base de données générale (respectivement 61 et 53,8 % du corpus) mais diminuent dans la base restreinte (38, 5% du corpus) où une rudéralisation du milieu est principalement enregistrée. La prise en compte des valeurs moyennes des principaux IPA traduit également une nette différence (cf. Fig. 19 et Fig. 20). Ainsi, tous les taxons rudéraux chutent dans le corpus restreint alors qu'ils progressent dans la base totale : seuls les céréales et les Poacées témoignent d'une même stabilité quelque soit le corpus.

La sixième fenêtre temporelle (3750-3400 cal BC) couvre la fin du Néolithique moyen II, caractérisé par l'émergence du groupe de Balloy aux côtés des cultures déjà en place (MORDANT 1984a). Durant cette période, assez mal cernée d'un point de vue archéologique, il est difficile de définir une densité de peuplement différente de la phase précédente sauf en Bassée où est reconnu le groupe de Balloy (cf. Fig. 18). Le corpus restreint intégrant un peu plus de séquences extérieures au bassin aval de la Marne, la part de profils liés à des occupations y est un peu plus élevée (10%) mais reste bien inférieure à celle du corpus général (30%) ; les profils associés à des vestiges épars y restent majoritaires. En dépit du « flou » archéologique, la période comprise entre 3750 et 3400 cal BC constitue un seuil puisque toutes les séquences polliniques livrent des

traces d'anthropisation. De surcroît, les profils témoignant de cultures céréalières y sont plus fréquents dans les deux bases de données : 68% de la base totale et 60%de la base restreinte. En revanche, les enregistrements de défrichements y sont plus rares (37% et 20%). En termes de valeurs moyennes des principaux IPA (cf. Fig. 19 et Fig. 20), la période constitue également un seuil dans le corpus restreint avec une hausse de tous les marqueurs d'anthropisation et des Poacées. Cette évolution est moins nette dans la base globale où seules les valeurs moyennes des céréales et des Poacées progressent ; les plantains diminuent et les oseilles stagnent.

La septième fenêtre temporelle (3400-2900 cal BC) couvre le Néolithique récent caractérisé par l'émergence de la culture Seine-Oise-Marne (S.O.M.) qui est bien représentée dans les trois secteurs alluviaux (BAILLOUD 1979, SALANOVA *et al.* 2011). Durant cette période, la proportion des séquences issues du bassin aval de la Marne progresse dans le corpus global (57%) : secteur qui témoigne d'une plus forte proportion de profils liés à des habitats (*in situ* ou à quelques distances) alors que ceux de la Bassée bénéficient au mieux de la présence de vestiges épars (cf. Fig. 18). Contrairement à la phase précédente, plus de 22% des séquences ne livrent aucune trace d'anthropisation et celles ne témoignant que d'une rudéralisation du milieu sont majoritaires (33% et 44%). Les profils qui attestent la céréaliculture sont moins nombreux: ils ne représentent plus que 38% du corpus total et 33% du corpus restreint pour 68% et 60 % lors de la phase précédente. L'enregistrement de défrichements est également plus rare : ils ne sont perçus que dans seulement 23 % des profils du corpus global pour 36% auparavant (22% du corpus restreint). En revanche, l'examen des valeurs moyennes (cf. Fig. 19 et Fig. 20) obtenues à partir de la base de données générale traduit une hausse des occurrences de céréales et une baisse des valeurs des taxons rudéraux. Les Poacées sont un peu moins abondantes mais les Cypéracées progressent. La base de données restreinte témoigne, quant à elle, du maintient des Poacées et des IPAs à l'exception de *Plantago lanceolata*.

La huitième fenêtre temporelle (2900-2500 cal BC) couvre le début du Néolithique final, période principalement illustrée par des vestiges épars et du funéraire puisque l'habitat est assez mal connu (BLANCHET 1984a,1988,1989b, SALANOVA *et al.* 2011). Durant cette période, les deux bases de données diffèrent considérablement puisque la part des séquences basséennes augmente dans le corpus global alors que ce secteur n'est pas du tout pris en compte dans le corpus réduit. Cette différence interfère considérablement sur le nombre de sites liés à des occupations puisque celles-ci se trouvent principalement en Bassée. De ce fait, les séquences liées à une occupation (*in situ* ou proches) sont majoritaires dans la base globale (45%) alors que le corpus restreint voit dominer les profils ne bénéficiant que d'un lien archéologique dans le secteur (cf. Fig. 18). Les proportions de séquences sans traces d'anthropisation sont également très différentes selon les corpus : elles sont moins abondantes (9%) que lors du Néolithique récent dans la base générale alors qu'elles s'accroissent considérablement (33%) dans la base restreinte. De même, la part des profils attestant la céréaliculture ou un défrichement est relativement élevée dans le corpus général (respectivement 40% et 32%), marquant une hausse par rapport au Néolithique récent. Au contraire, le corpus restreint ne comprend aucun profil relatant un défrichement et seulement 17% d'entre-eux témoignent de céréaliculture. En revanche, quelque soit le corpus pris en compte, les profils ne livrant que des rudérales sont majoritaires (45 et 50%). Les valeurs moyennes des différents indices d'anthropisation traduisent moins de disparité entre les deux bases de données (cf. Fig. 19 et Fig. 20). L'une comme l'autre témoignent d'une baisse des pourcentages moyens des céréales et des

Poacées. Cependant, si la base globale atteste une augmentation de tous les taxons rudéraux, les valeurs moyennes de *Plantago media* chutent dans la base restreinte.

La neuvième fenêtre temporelle (2500-2200 cal BC) couvre la fin du Néolithique final, période pour laquelle les données sur le peuplement régional sont équivalentes à la précédente (BLANCHET 1984a,1988, SALANOVA *et al.* 2011). Le corpus utilisé pour REVEALS est réduit, n'intégrant qu'une séquence provenant de la vallée de l'Oise aux côtés de celles de la Marne (cf. Fig. 18). Si les profils dénués de tout contexte archéologique sont un peu plus nombreux (11 et 20%), les deux bases de données voient, néanmoins, dominer les séquences liées à une occupation (proche ou *in situ*). Quelque soit le corpus, la proportion de profils attestant la céréaliculture et/ou des défrichements est en hausse mais les enregistrements de rudérales seules restent quand même majoritaires dans la base utilisée pour REVEALS. Une différence se marque dans la fréquence des données sans trace d'anthropisation : en hausse dans le corpus général au contraire du corpus restreint. Les valeurs moyennes des différents indices d'anthropisation traduisent une plus grande disparité entre les deux bases de données (cf. Fig. 19 et Fig. 20). Si l'une comme l'autre témoignent d'une progression des pourcentages moyens des céréales, la base globale atteste une baisse de tous les taxons rudéraux et des Poacées qui augmentent dans le corpus restreint.

b) Les quantifications des marqueurs d'anthropisation

En préambule, nous devons nous rappeler que les quantifications en terme d'anthropisation du couvert végétal reposent sur un corpus restreint qui n'intègre pas toutes les données disponibles. Les différences perçues dans les enregistrements polliniques en fonction des sites pris en compte et de leur relation avec les occupations humaines doivent donc nous rester présentes à l'esprit.

Dès le Mésolithique final, le couvert végétal comprend une part de taxons rudéraux, principalement des plantains : *Plantago media*.est majoritaire mais *Plantago lanceolata* et *Rumex acetosa* sont perçus (cf. Fig. 21 et Fig. 22). Les Poacées occupent une place non négligeable dans le paysage estimé.

La seconde fenêtre temporelle (5300-5000 cal. BC) qui couvre le début de la colonisation néolithique atteste une hausse de *Cerealia* type et des taxons rudéraux excepté *Rumex*. Si la progression du plantain lancéolé se marque plus nettement, il reste effacé derrière *Plantago sp*. Les valeurs estimées de la représentation de ces différents taxons n'excèdent toutefois jamais le seuil des 1%. Les Poacées reculent mais conservent la première place au sein du couvert végétal estimé.

Le passage à la troisième période (5000-4600 cal. BC), contemporaine de la culture BVSG, témoigne d'une nette hausse de tous les marqueurs d'anthropisation (*Ceralia* type et rudérales) tandis que la courbe des Poacées reste stable. *Plantago lanceolat*a supplante *Plantago media* dans la végétation estimée ; tous deux ont des valeurs supérieures à 1%.

Durant le Néolithique moyen I (4600-4200 cal. BC), on observe une légère diminution des marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal régional, nuancée par l'avancée corrélative des Poacées. *Plantago lanceolat*a reste plus abondant que *Plantago media* dans la végétation estimée et conserve des valeurs supérieures à 1%.

Le passage au Néolithique moyen II (4200-3750 cal. BC) se marque par une baisse notable de *Plantago lanceolata* : qui est à nouveau effacé derrière *Plantago media*. Les autres taxons marqueurs diminuent légèrement mais ils conservent des proportions quasiment identiques à la période précédente. Les valeurs de Poacées marquent une nouvelle progression.

La fenêtre temporelle suivante (3750-3400 cal. BC) se démarque par une progression importante des Poacées et de tous les IPAs. La hausse la plus notable est celle de *Cerealia* type dont les valeurs estimées atteignent près de 2%. *Plantago lanceolata* connaît aussi une augmentation notable et sa représentation est équivalente à celles de *Plantago media*.

Durant le Néolithique récent (3400-2900 cal. BC), les valeurs des Poacées et des IPAs stagnent et le taux d'anthropisation reste élevé. Seul *Plantago lanceolata* baisse légèrement : il est à nouveau supplanté par *Plantago media*.

Le passage au Néolithique final (2900-2500 cal. BC) tranche avec la précédente période dans le couvert végétal estimé. En effet, la part de *Cerealia* type et des Poacées diminue fortement. En revanche, les plantains et les oseilles demeurent stables voire progressent très légèrement.

La fin du Néolithique (2500-2200 cal. BC) traduit une reprise des proportions de *Cerealia* type, jusqu'à des taux précédemment atteints entre 3750 et 2900 cal. BC. Ce regain de *Cerealia* type est accompagné par un déclin de *Plantago media* et en moindre force de *Rumex acetosa*. Les valeurs des Poacées restent stables.

Ces modifications successives des proportions des indices d'activités agro-pastorales ont permis d'individualiser quatre phases d'anthropisation dans la végétation estimée.

La première (5600-5000 cal. BC) est caractérisée par une faible représentation des marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal estimé, significative d'une emprise restreinte des populations en présence sur leur environnement. Corrélativement, l'expansion de *Tilia* sur les versants, le déclin de *Corylus* et la diminution de la part des Poacées dans le paysage plaident pour une relative fermeture du milieu.

La deuxième phase (5000-3750 cal. BC) débute par une hausse notable de l'ensemble des marqueurs d'anthropisation, perçue entre 5000 et 4600 cal. BC. Ensuite (4600-4200 cal. BC), on assiste à une stagnation, voire une très légère régression, des marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal régional. Cependant, une avancée des Poacées conjointement à un recul de tous les ligneux évoque un début d'ouverture du paysage. La fin de cette période (4200-3750 cal. BC) traduit une baisse plus marquée de *Plantago lanceolata*.

La troisième (3750-2900 cal. BC) s'individualise par une progression importante de la part de *Cerealia* type et des Poacées, accompagnée par une hausse notable des proportions de *Plantago lanceolata*. Celles de *Rumex acetosa* sont également en très légère augmentation. Les valeurs des

IPAs restent stables durant les deux fenêtres temporelles comprises dans cette troisième phase. Cette période témoigne d'une baisse conséquente des taxons arboréens excepté Alnus qui poursuit son essor dans les fonds de vallées : évolution qui plaide pour une ouverture du milieu. Si la rupture de pente dans la dynamique des différents taxons est claire au passage à cette troisième phase, on est néanmoins toujours bien dans la même dynamique générale d'anthropisation, même si celle-ci semble subir une accélération.

Le passage à la quatrième phase d'anthropisation (2900-2200 cal. BC) est particulièrement tranché du fait de la baisse conséquente des proportions de Poacées et de *Cerealia* type dans la végétation estimée. En revanche, les autres marqueurs (*Plantago, Rumex*) progressent très légèrement. Corrélativement, on assiste à une reprise de la plupart des taxons arboréens (excepté *Tilia* et *Pinus*). Dès la deuxième fenêtre (2500-2200 cal. BC), comprise dans cette dernière phase d'anthropisation, les valeurs de *Cerealia* progressent mais celles des Poacées restent basses. D'une façon plus générale, on constate un retour assez important du couvert forestier dans ce paysage du Néolithique final du Bassin parisien, associé à un net recul des prairies et un développement plus irrégulier des taxons marqueurs d'anthropisation.

III - Confrontation et synthèse

La confrontation des conclusions acquises 1) sur la base des 33 séquences polliniques couvrant la période 5600-2200 cal. BC, 2) des valeurs moyennes obtenues pour les principaux taxons à partir d'un système de gestion de base de données relationnel (SGBDR) et 3) au travers de l'estimation des proportions de chaque taxon dans le couvert végétal régional par le modèle REVEALS demande avant toute chose un examen approfondi du corpus pris en compte pour chacune de ces approches. Les impératifs liés au modèle REVEALS (trois datations, aucun hiatus) ont impliqué la non-prise en compte de plus de la moitié des profils polliniques : 19 ont été rejetés sur les 33 disponibles. Cette sélection drastique accentue la répartition inégale des profils selon les bassins alluviaux, déjà existante dans le corpus global. La quantification de la végétation effectuée par REVEALS illustre principalement le contexte du bassin aval de la Marne (78% des profils modélisés) alors que la partie parisienne de la vallée de la Seine n'est pas du tout représentée dans la modélisation. De ce fait, la proportion des séquences, liées ou non à des occupations humaines, varie souvent passablement selon qu'on considère le corpus global ou celui sélectionné pour la modélisation.

En terme d'histoire de la végétation, la dynamique relatée par le couvert végétal estimé vient corroborer la zonation régionale avec la reconnaissance des palynozones VII et VIIIa, respectivement définies par l'essor du tilleul, l'apparition de l'if et la progression de l'aulne pour la zone VII et par l'extension de l'aulne dans tous les profils de fonds de vallées pour la première partie de la zone VIII (cf. Fig. 21). En revanche, les proportions entre les différents taxons se trouvent souvent considérablement modifiées par le modèle. Ainsi, la part des Poacées est largement majorée par rapport aux comptages polliniques, de même dans une moindre mesure que celle des céréales et des espèces rudérales (*Plantago lanceolata, Plantago media, Rumex acetosa*). L'autre modification majeure réside dans l'incidence de l'aulne et du tilleul dans le couvert végétal estimé. Contrairement à l'image ressortant des analyses polliniques (cf. Fig. 22), l'aulne ne domine pas du tout le couvert végétal estimé et présente des proportions tout à fait

comparables à celles du chêne ou du pin durant la zone régionale VII (Atlantique récent) et ne les dépasse qu'à partir de la zone VIII (Subboréal). En contrepartie, la forte majoration du tilleul fait qu'il devient le ligneux majoritaire durant l'essentiel de la période. De ce fait, le couvert végétal estimé apparaît beaucoup plus ouvert et anthropisé que ne le laissent entendre les comptages polliniques tandis que les boisements correspondent principalement à des tillaies claires et que des aulnaies réduites s'implantent dans les fonds de vallées.

L'évolution de l'impact des sociétés néolithiques sur le milieu a été abordée par différents biais ; fréquence et caractérisation des enregistrements d'anthropisation dans les 33 séquences polliniques, valeurs moyennes des indices d'agriculture fournis par les deux bases de données et estimation de l'importance des formations liées aux activités humaines dans le couvert végétal modélisé. Ces différents enregistrements ont systématiquement été calibrés par la prise en compte du contexte archéologique propre aux différentes séquences polliniques. Ainsi, selon le corpus considéré et les critères mis en œuvre, une certaine variabilité des résultats a pu être constatée. Quelque soit l'approche, quatre principales phases d'anthropisation peuvent, néanmoins, être discernées durant la période comprise entre 5600 et 2200 cal. BC.

La première phase (5600-5000 cal. BC) couvre la fin des temps mésolithiques et le début de la colonisation néolithique. Dès le Mésolithique final, le lien étroit de plusieurs séquences polliniques avec des occupations humaines se traduit par une hausse du cortège rudéral ; constat palynologique qui s'accorde avec la stabilisation des groupes de la fin du Mésolithique mise en avant par les archéologues (MORDANT 1992, VALENTIN *et al.* 2013). Durant la période suivante (5300-5000 cal. BC), les valeurs moyennes des indices d'anthropisation restent basses mais stables quelque soit le corpus de données pris en compte (cf. Fig. 19). En revanche, le nombre de profils polliniques attestant des activités humaines diminue considérablement. Ces constats contradictoires renvoient à l'état du peuplement durant cette période. Les premiers colons rubanés arrivent dans la vallée de l'Oise (DUBOULOZ 2012) tandis que perdurent les derniers mésolithiques à Noyen-sur-Seine (MORDANT *et al.* 2013), Dans la vallée de la Marne, quelques profils sont uniquement associés à des occupations du Rubané final, qui se mettent en place aux alentours de 5000 cal BC (LANCHON 2012). Dans le couvert végétal estimé (cf. Fig. 21), la faible représentation des marqueurs d'anthropisation et le peu d'évolution perçue entre ces deux périodes permet également de les regrouper dans une unique phase, significative d'une emprise restreinte des populations en présence sur leur environnement.

La deuxième phase s'étend de 5000 à 3750 cal. BC : elle couvre donc le Néolithique ancien (BVSG), et l'essentiel du Néolithique moyen (Cerny et Néolithique moyen II). Elle débute par une hausse notable de l'anthropisation, transcrite par tous les indicateurs. Une différence se marque ensuite selon le corpus considéré. Une augmentation progressive de l'impact anthropique est relatée par le corpus général (fréquence des enregistrements et valeurs moyennes des IPAs) alors que le corpus restreint utilisé pour REVEALS traduit une tendance régressive dès la seconde fenêtre temporelle (Cerny). Celle-ci est toutefois quelque peu tempérée par la hausse des Poacées. Le passage à la période BVSG (5000-4600 cal BC) se marque donc par un accroissement conséquent des enregistrements d'activités humaines, par une hausse des valeurs moyennes des indices d'anthropisation et de leur incidence dans le couvert végétal estimé. Cette évolution renvoie aux données sur le peuplement du Bassin parisien qui connaît alors sa réelle colonisation néolithique : la seconde phase du courant danubien menant à une distribution géographique plus large des occupations, incluant alors plateaux et vallées des affluents

(DEMOULE & VAQUER 1989). Le bassin aval de la Marne témoigne ainsi d'une densité de sites remarquable (LANCHON 2012) et la plupart des séquences polliniques bénéficient alors d'un contexte archéologique *in situ* (cf. Fig. 18). Durant le Cerny (4600-4200 cal. BC), le nombre d'enregistrements de céréaliculture et défrichement diminue (cf. Fig. 18) mais une légère hausse des valeurs moyennes de *Cerealia* et de *Plantago lanceolata* est relatée par la base de données totale corrélativement à un petit retrait de *Plantago sp*. (cf. Fig. 19). Cette évolution n'est pas perçue dans la modélisation : on assiste alors à une stagnation, voire une très légère régression, des marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal régional conjointement à une avancée des Poacées (cf. Fig. 22). Ces différences trouvent leur fondement dans les données sur le peuplement. Les sites attribués au Cerny sont répartis dans l'ensemble des vallées du Bassin parisien mais aucune ne livre une concentration d'occupation aussi dense que celle du bassin aval de la Marne durant le BVSG (CONSTANTIN *et al.* 1997). De ce fait, la proportion de séquences polliniques directement liées à des habitats est moins élevée et ce, d'autant plus dans le corpus restreint qui privilégie le bassin de la Marne (cf. Fig. 18). Durant le Néolithique moyen II (4200-3750 cal. BC), la variabilité des corpus pris en compte interfère considérablement sur la perception de l'anthropisation du milieu. Ainsi, la proportion de profils attestant des cultures céréalières et/ou des défrichements est beaucoup moins élevée dans la base restreinte, où les profils liés à des occupations sont plus rares (cf. Fig. 18). De même, la progression des valeurs moyennes des taxons rudéraux dans le corpus total (cf. Fig. 19) s'oppose à leur retrait dans le corpus restreint et dans la modélisation qui atteste même une baisse notable de *Plantago lanceolata* (cf. Fig. 21). En revanche, les deux approches témoignent de la stabilité des céréales. Enfin, la modélisation indique alors une hausse conséquente des Poacées qui évoque une ouverture du milieu (cf. Fig. 22). La prise en compte de différents indicateurs vient donc tempérer l'impression de légère déprise humaine durant le Néolithique moyen, transcrite par la modélisation des données polliniques. Elle s'accorde ainsi mieux avec les sources archéologiques qui attribuent à cette période une plus forte insertion dans les terroirs. Ainsi, l'exploitation accrue du milieu dès le Cerny (CONSTANTIN *et al.* 1997) et la généralisation des mises en culture durant le Néolithique moyen II (DUBOULOZ *et al.* 1991) peuvent expliquer le maintien des marqueurs d'anthropisation malgré la relation moindre avec les occupations humaines.

La troisième phase s'étend de 3750 à 2900 cal. BC : elle atteste les plus fortes perceptions de céréaliculture de toute la période néolithique. En effet, malgré un certain « flou » archéologique, la période comprise entre 3750 et 3400 cal BC témoigne d'une meilleure perception de l'anthropisation : présence d'IPAs dans tous les profils, hausse du nombre de séquences attestant la céréaliculture, valeurs moyennes de céréales en progression. Le corpus restreint accentue encore cet effet de seuil avec aussi une hausse des valeurs moyennes des taxons rudéraux, perçue précédemment dans le corpus global. Outre la progression importante des céréales, la modélisation relate aussi une hausse notable des proportions de *Plantago lanceolata* et des Poacées, Celles de *Rumex acetosa* sont en très légère augmentation (cf. Fig. 21 et Fig. 22). Les bornes chronologiques de cette fenêtre temporelle recouvrant la fin du Néolithique moyen II, il est probable que nous enregistrions alors l'impact de ces groupes sur le milieu : la réponse de la végétation apparaissant légèrement différée. Il renvoie donc à la plus forte insertion dans les terroirs et à la généralisation des pratiques agricoles mises en avant par les données archéologiques (DUBOULOZ *et al.* 1991) et ce, d'autant plus que le lien des séquences polliniques avec des occupations humaines n'est pas toujours clairement attesté. (cf. Fig. 18). Durant le Néolithique récent (3400-2900 cal. BC), le nombre de séquences attestant des traces d'anthropisation et plus particulièrement des indices d'agriculture marque un retrait alors que

les valeurs moyennes de *Cerealia* type se maintiennent, voire progressent encore dans la base de données globale (cf. Fig. 19). En revanche, les taxons rudéraux y diminuent plus fortement. La modélisation témoigne alors d'une remarquable stabilité des la part des IPAs et d'une légère progression des Poacées (cf. Fig. 21). Cette évolution relève pour partie de la proportion plus élevée des séquences issues du bassin aval de la Marne, secteur qui témoigne d'une plus forte proportion de profils liés à des habitats (*in situ* ou à quelques distances) alors que ceux de la Bassée bénéficient au mieux de la présence de vestiges épars (cf. Fig. 18). Elle s'accorde également avec les sources archéologiques qui plaident alors pour une intensification des occupations dans la région (BLANCHET 1989b).

La quatrième phase d'anthropisation couvre le Néolithique final (2900-2200 cal. BC) : elle témoigne d'une pause dans la perception de l'anthropisation du milieu. Le passage à cette dernière phase est particulièrement tranché dans la modélisation du couvert végétal du fait de la baisse conséquente des proportions de Poacées et de *Cerealia* type (cf. Fig. 21 et Fig. 22). En revanche, les autres marqueurs (*Plantago, Rumex*) progressent très légèrement. Cette accentuation du phénomène dans la végétation estimée trouve pour partie son origine dans la composition des corpus pris en compte pour la période qui va de 2900 à 2500 cal. BC. Ils marquent alors de nettes différences puisque la majorité de séquences sont liées à une occupation dans la base globale au contraire du corpus restreint (cf. Fig. 18). Cette différence interfère clairement sur la perception d'une céréaliculture ou de défrichements, beaucoup plus rarement enregistrés dans le corpus restreint que dans le corpus global. Les disparités sont moindres au niveau des valeurs moyennes des IPAs (cf. Fig. 19) puisque une baisse des céréales et des Poacées est attestée quelque soit le corpus de même qu'une légère progression des taxons rudéraux (excepté *Plantago media* dans le corpus restreint). La période suivante est renseignée par une proportion accrue de séquences liées à une occupation mais aussi de profils dénués de tout contexte archéologique (cf. Fig. 18). Le nombre de données attestant des cultures céréalières de même que les valeurs moyennes de celles-ci sont en hausse quelque soit le corpus pris en compte. En revanche, une baisse des valeurs moyennes de tous les taxons rudéraux et des Poacées est relatée par la base globale alors que ces taxons progressent dans la base restreinte (cf. Fig. 19). La modélisation accentue la reprise du type *Cerealia* qui retrouve une représentation équivalente à celle atteinte durant la troisième phase d'anthropisation (cf. Fig. 22). En revanche, la part des Poacées et de *Plantago lanceolata* reste stable, à des valeurs assez basses tandis que celle de *Plantago sp.* et de *Rumex* diminue encore. La pause, voire la déprise, enregistrée dans la perception de l'anthropisation ne trouve pas de réel écho dans les sources archéologiques : même si l'habitat du Néolithique final reste mal connu, de nombreux vestiges domestiques ont été mis au jour dans la région (SALANOVA *et al.* 2011). La réduction du corpus pris en compte dans la modélisation et la composition de celui-ci pour la période 2900-2500 cal. BC interfère considérablement sur la perception de cette déprise mais ne justifie pas totalement la baisse des céréales et des Poacées enregistrée durant cette fenêtre temporelle par tous les indicateurs.

Conclusions

La présente synthèse sur l'évolution du paysage végétal et de son anthropisation durant le Néolithique se démarque des précédents exercices menés sur le sujet par 1) une modélisation des données polliniques qui mène à restituer plus justement la structure du couvert végétal

régional, 2) l'utilisation d'une base de données qui permet d'obtenir des valeurs moyennes pour chacun des taxons et 3) l'ajout de nouvelles études.

Ces différentes approches ne concernant pas des corpus de données similaires, les interprétations ont été accompagnées d'un examen approfondi de la relation des profils polliniques pris en compte avec les vestiges archéologiques. Si les grandes tendances de la dynamique de la végétation sont corroborées, la perception du paysage est totalement modifiée par la modélisation. Le couvert végétal estimé s'avère beaucoup plus ouvert et anthropisé que ne le laissent entendre les comptages polliniques. De plus, la part des aulnaies y est considérablement réduite et les boisements apparaissent dominés par des tillaies claires. Malgré quelques divergences dans la perception de l'anthropisation du milieu et de son évolution, quatre phases principales ont pu être dégagées.

Les trois premières traduisent une incidence irrégulière mais de plus en plus marquée des populations sur l'environnement depuis la fin du Mésolithique jusqu'au Néolithique récent.

De 5600 à 5000 cal. BC, l'emprise des Hommes sur le milieu apparaît restreinte.

La deuxième phase (5000 à 3750 cal. BC) débute par une hausse notable de l'anthropisation, transcrite par tous les indicateurs. Ensuite les informations sont contradictoires : augmentation progressive des activités d'après la base de données polliniques globale mais tendance régressive d'après la modélisation. Ces différences relèvent essentiellement du corpus utilisé et de son contexte archéologique.

La troisième phase (3750-2900 cal. BC) atteste les plus fortes perceptions de céréaliculture de toute la période néolithique. Elle constitue un seuil notable qui relève de l'impact des groupes du Néolithique moyen II avec une réponse légèrement différée de la végétation puis des activités des Hommes du Néolithique récent.

Au contraire, la quatrième phase d'anthropisation (2900-2200 cal. BC) témoigne d'une pause dans la perception de l'anthropisation du milieu. Celle-ci s'avère particulièrement marquée dans la modélisation durant la période qui va de 2900 à 2500 cal. BC : phénomène à nouveau accentué par la diminution du nombre de profils associés à des vestiges archéologiques dans le corpus restreint. Sans parler de réelle déprise, les activités des hommes du Néolithique final restent moins bien perçues à l'échelle du centre-est du Bassin parisien.

Ces résultats qui permettent de discerner une dynamique de l'anthropisation durant les temps néolithiques, soulignent aussi à quel point durant ces périodes, la perception de l'anthropisation reste tributaire de la proximité avec des occupations humaines.

Environnement et anthropisation du milieu durant l'âge du Bronze dans le Bassin parisien : l'apport des données polliniques et de la modélisation du couvert végétal

Leroyer Chantal, David Rémi, Mazier Florence, Allenet de Ribemont Gisèle, Lanos Philippe, Dufresne Philippe

(Article publié dans les actes du Séminaire Archéologique de l'Ouest 2012
Dir. Mélin Muriel et Mougne Caroline)

Résumé

Grâce à l'archéologie préventive, les fonds de vallées du Bassin parisien ont bénéficié de nombreuses études palynologiques. Si des synthèses ont déjà été proposées pour le Néolithique ou l'âge du Fer, l'exercice n'a pas encore été tenté pour l'âge du Bronze. Cette période reste une des moins documentées par la palynologie, même si le corpus de données n'est pas négligeable avec 25 séquences réparties sur 20 sites. A cette approche « classique » s'ajoute une modélisation des données polliniques qui vise à restituer plus justement la structure du couvert végétal. Les interprétations issues des deux approches ont donc été confrontées, ouvrant une voie de réflexion sur la perception du paysage et des activités de l'époque.

Alors que l'aulne domine l'essentiel des comptages polliniques, sa représentation dans la végétation se trouve largement minorée par la modélisation. De ce fait, les boisements paraissent plutôt dominés par le noisetier indiquant un couvert forestier clairsemé. L'importance prise par les Poacées dans la végétation estimée offre des possibilités accrues de pâture pour les troupeaux. La relative abondance des marqueurs d'activité agro-pastorale récuse l'hypothèse d'une éventuelle déprise humaine au début de l'âge du Bronze, laissant ouvert le débat sur un accroissement de l'impact anthropique au Bronze final.

Mots-clés : palynologie, Bassin parisien, âge du Bronze, modèle REVEALS, anthropisation.

Abstract

Due to rescue archeology, flood plains of the Paris Basin have benefited of numerous palynological studies. If syntheses were already proposed for the Neolithic or Iron Age, the exercise was not yet tried for the Bronze Age. This period is one of the least documented by palynology, even if the corpus of data is not negligible with 25 sequences spread over 20 sites. To this "classical" approach is added a modeling pollen data which aims at reconstructing more precisely the structure of the vegetation cover Interpretations from both approaches were thus confronted, opening a way of reflection on the perception of the landscape and the activities of the period.

While alder dominates most of the pollen counts, its representation in the estimated vegetation is largely reduced. Therefore, the forest seems rather dominated by hazel indicating a sparse tree cover. The importance of Poaceae in estimated vegetation offers increased opportunities for grazing herds. The relative abundance of anthropogenic indicators rejects the hypothesis of a possible human abandonment during early Bronze Age, leaving the question of increased human impact in late Bronze Age open.

Key words : palynology, Paris Basin, Bronze age, REVEALS model, anthropisation.

Introduction

Avec l'essor de l'archéologie préventive, le Bassin parisien a connu, depuis une bonne vingtaine d'années, un développement conséquent des études paléoenvironnementales (CHAUSSE *et al.* 2008, KRIER *et al.* 1996, LEROYER *et al.* 1997, PASTRE *et al.* 1997, PASTRE *et al.* 2001, PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2003). Principalement développées dans les fonds de vallées, ces recherches pluridisciplinaires incluent de nombreuses analyses polliniques qui ont permis d'appréhender les transformations du paysage végétal sous les influences du climat et/ou de l'Homme durant le Tardi-et-Postglaciaire (LEROYER 1997, LEROYER *et al.* 2011). A l'heure actuelle, cette synthèse repose sur l'étude de 53 sites, soit 91 séquences polliniques qui proviennent presque toutes de paléochenaux (principaux et secondaires) ou d'anciennes zones palustres développées en marge des paléoécoulements (cf. Fig. 23). Ces milieux sont principalement remblayés par des argiles plus ou moins organiques ou des tourbes, dont la mise en place s'est établie au rythme de la déconnection d'avec les apports alluviaux longitudinaux (CHAUSSE *et al.* 2008). Ils restent aujourd'hui encore alimentés par les aquifères fluviaux qui maintiennent des conditions humides propices à la conservation du pollen piégé dans ces dépôts. Outre leur potentiel paléoenvironnemental, les fonds de vallées présentent aussi l'intérêt d'avoir été largement fréquentés, voire occupés, par des groupes humains. Ils s'avèrent donc également propices aux études sur l'anthropisation du milieu. Si l'abondance des données polliniques a déjà permis de proposer des conclusions sur l'impact environnemental de certaines phases culturelles, telles le Néolithique (LEROYER 2003,2004,2006a) ou l'âge du Fer (LEROYER 2006b, LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006a), l'exercice n'a pas encore été tenté pour l'âge du Bronze. En effet, cette période reste une des moins documentées par la palynologie même si le corpus de données n'est pas négligeable avec 25 séquences, réparties sur 20 sites couvrant la période (cf. Fig. 23). Nous allons donc présenter ici une première synthèse sur l'environnement et son

anthropisation durant l'âge du Bronze dans le Bassin parisien. A cette approche « classique », s'ajoute une modélisation des données polliniques qui vise à restituer plus justement la structure du paysage végétal. En effet, la palynologie ne livre qu'une perception déformée des environnements du fait de biais inhérents à la discipline. Ces derniers ont été intégrés dans un modèle mathématique qui propose une autre lecture des données (DAVID *et al.* 2012). Les interprétations issues des deux approches -les enregistrements polliniques et leur modélisation- pourront donc être confrontées. De ce fait, après un exposé de l'aspect méthodologique de chacune des démarches, nous développerons nos résultats puis nous procéderons à la comparaison des conclusions.

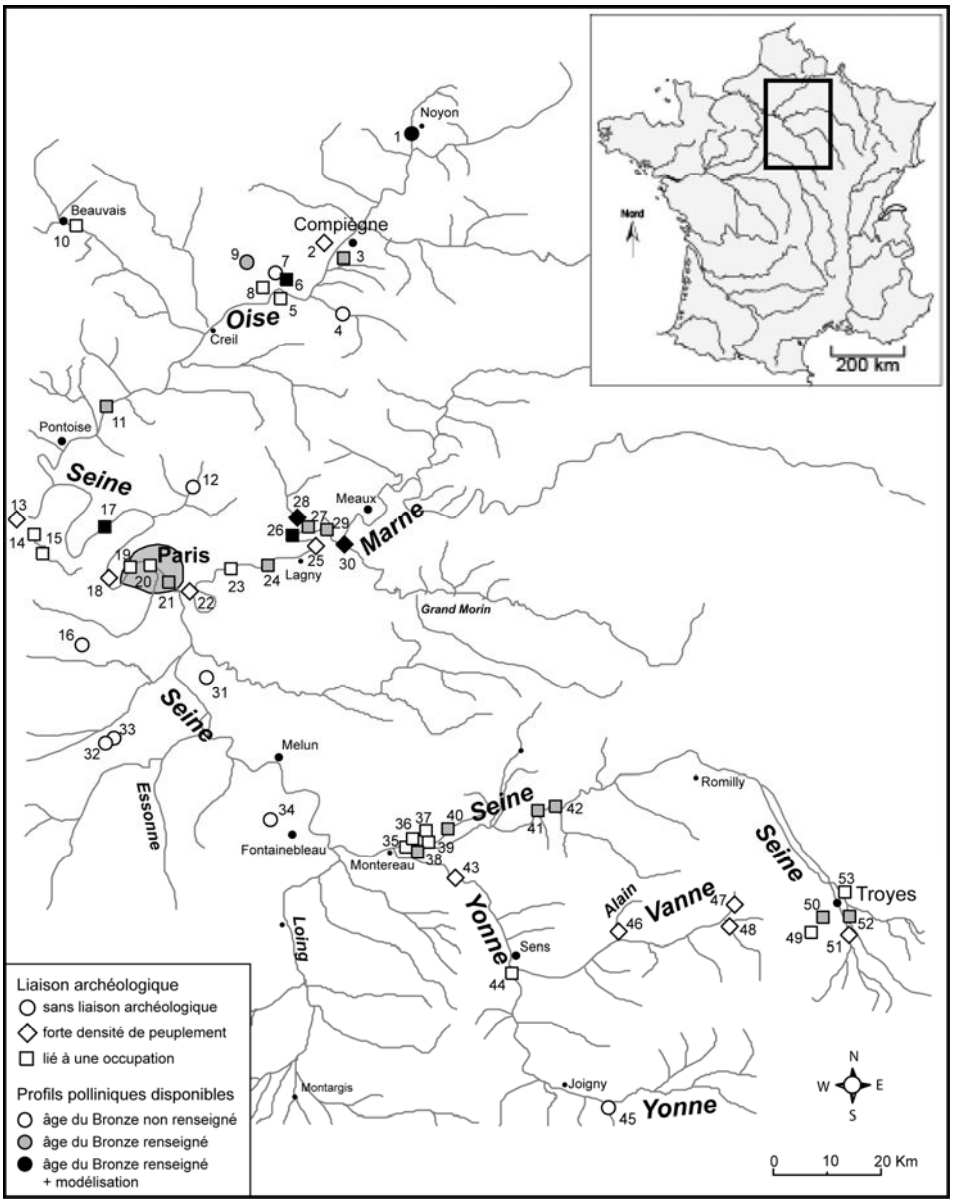


Fig. 23 : Carte de localisation des études palynologiques tardi-et-postglaciaires du Bassin parisien avec individualisation des séquences couvrant l'âge du Bronze et des profils intégrés à la modélisation.

I - Les études palynologiques

A) Problématique et méthodologie

Afin de répondre à notre problématique initiale, soit définir l'histoire de la végétation et suivre l'impact des occupations humaines sur l'environnement végétal, les séquences polliniques ont été sélectionnées selon une répartition qui obéit à trois logiques (cf. Fig. 23).

La première vise à appréhender une variabilité géographique avec l'échantillonnage de différents bassins alluviaux (Seine, Oise, Marne, Yonne, Vanne) selon un transect nord-ouest à sud-est. La seconde tient compte de la hiérarchie des réseaux hydrographiques selon un gradient allant des axes majeurs à leurs affluents et aux marais qui leur sont associés. La troisième privilégie le contexte archéologique, avec une liaison plus ou moins forte des profils avec des implantations humaines : carottages dans des zones exemptes d'occupation, dans des secteurs de fort peuplement pendant une période et, enfin, directement associés à un site. Si la morphologie du fond de vallée s'y prête, on peut alors réaliser plusieurs profils qui s'éloignent progressivement de l'habitat (LEROYER 1997,1998). Cette démarche permet de disposer de longues séquences de référence qui traversent l'Holocène conjointement à des profils temporellement plus courts mais bien dilatés et associés à des occupations. Ainsi, les informations sont hiérarchisées et il est réellement possible d'appréhender l'impact anthropique selon les périodes (LEROYER 1997, LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006a). Malgré le corpus assez réduit des données couvrant l'âge du Bronze, le protocole est respecté puisque les trois bassins (Oise, Marne et Seine) sont documentés et que l'on dispose pour chacun d'eux d'enregistrements issus de l'axe majeur, d'un tributaire (Verse, Beuvronne, Auxence) et d'un marais associé (Sacy, Lesches, Saint-Léger). Le « gradient archéologique » est également respecté avec douze sites liés à des occupations (vestiges épars du Bronze ancien ou moyen ; habitat du Bronze final), deux implantés dans un secteur peuplé durant le Bronze final et six dénués de lien archéologique qui servent de référence (cf. Fig. 23).

L'échantillonnage a été effectué sur les coupes dégagées à l'occasion des travaux d'archéologie préventive ou sur des carottes, extraites avec une sondeuse mécanique (Sédidrill 140). Les préparations ont été réalisées au laboratoire de palynologie du Centre national de Préhistoire selon le protocole de M. Girard et J. Renault-Miskovsky (1969) : l'absence d'acétolyse permettant de reconnaître toute contamination par des stocks polliniques subactuels.

L'étude a été menée avec une rigueur méthodologique, destinée à assurer la représentativité des données : maillage serré des prélèvements, élimination des échantillons peu fiables, décomptes élevés, obtention d'une large diversité taxinomique, estimation des concentrations absolues par la méthode volumétrique (COUR 1974) et vérification de toutes les variations des fréquences relatives par des modifications des sommes de base et une confrontation aux valeurs absolues. Les données ont été traitées avec le logiciel Gpalwin (GOEURY 1988).

L'appréciation des contextes environnementaux fait référence à des acquis sur la dispersion pollinique (BARTHELEMY 1976,1985, BROSTRÖM *et al.* 2008, HEIM 1970, TRIAT-LAVAL 1978) et à des principes d'écologie (BOURNERIAS 1979, FARE *et al.* 2001, MONTEGUT 1987, RAMEAU *et al.* 1989). Enfin, les activités humaines sont appréhendées par les indices de pratiques agro-pastorales

(BEHRE 1981,1986, BRUN 2007, RICHARD & GERY 1993) mais aussi de l'évolution des ligneux (AABY 1986, JALUT 1991, LEROYER 1997, RICHARD 1995) ; il doit y avoir une convergence des enregistrements pour envisager une phase d'anthropisation.

B) Les résultats

L'ensemble des analyses a permis d'établir l'histoire de la végétation durant l'Holocène par l'individualisation de sept zones d'assemblage pollinique régionales (ZAPR) ou palynozones régionales, numérotées de IV à X et calées par 232 datations ^{14}C (cf. Fig. 24). L'ensemble des travaux montre que la dynamique de végétation s'avère identique de l'Oise à la Seine, sans impact particulier de la hiérarchie des réseaux hydrographiques (LEROYER 1997, LEROYER *et al.* 2011). En revanche, les contextes locaux sont clairement enregistrés : épaisseur de la lame d'eau, importance des boisements ripariaux et anthropisation du milieu. L'impact anthropique constitue un des principaux facteurs de variation des enregistrements. Le « gradient » dans la proximité des séquences polliniques avec des occupations permet de vérifier l'importance des activités humaines ; celles-ci ne sont perceptibles à quelques distances des habitats qu'à partir de la fin du Néolithique (LEROYER 1997,1998, LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006a, LEROYER 2006a).

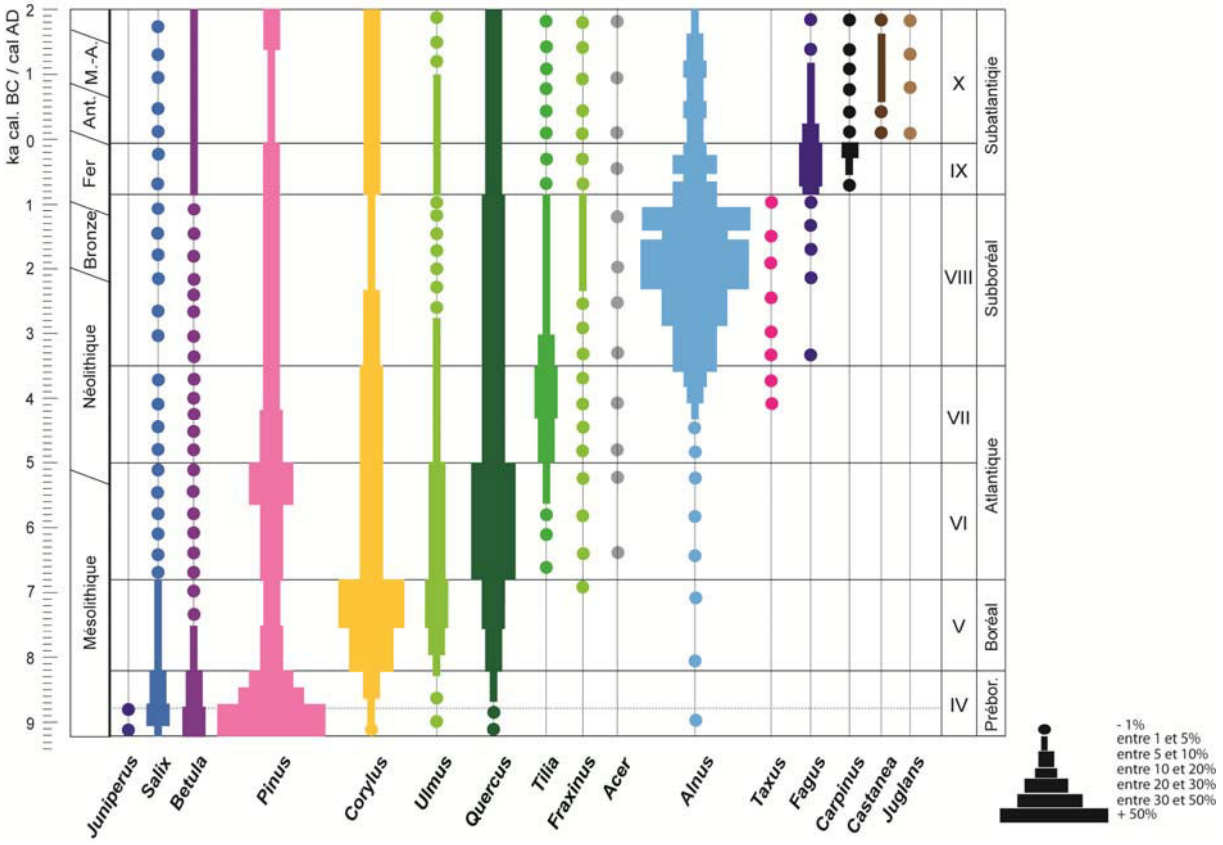


Fig. 24 : Diagramme de synthèse résumant l'histoire de la végétation holocène du Bassin parisien.

a) Les assemblages polliniques durant l'âge du Bronze

L'âge du Bronze se déroule durant la seconde partie de la zone régionale VIII (cf. Fig. 24). Cette dernière, corrélée au Subboréal, est globalement définie par une large prédominance de l'aulne (*Alnus*) devant le chêne (*Quercus*), le noisetier (*Corylus*) ou le pin (*Pinus*) tandis que le hêtre (*Fagus*) commence à s'implanter. Les marqueurs d'activités agro-pastorales (céréales, messicoles, rudérales et adventices) sont régulièrement enregistrés mais leur courbe reste souvent basse et parfois sub-continue. Cette définition générale des assemblages polliniques de la deuxième partie de la zone VIII doit, cependant, être modulée dans le détail puisqu'une des caractéristiques de la période réside dans la variabilité des occurrences des différents ligneux comme des indices d'anthropisation.

Ainsi, l'aulne (*Alnus*), taxon généralement prédominant, a une courbe irrégulière dans les différents diagrammes polliniques avec des chutes ponctuelles à des valeurs très faibles. De surcroît, son incidence est variable selon les profils sans que ces différences puissent être imputées à leur appartenance à un bassin hydrographique (cf. Fig. 25). Les occurrences de l'aulne, généralement comprises entre 30 et 50%[1], peuvent atteindre 60-70% dans le bassin aval de la Marne (Vignely « La Corvée », Fresnes-sur-Marne « Le Chemin des Noues ») comme en Bassée (Villiers-sur-Seine « Le Gros Buisson ») alors qu'il ne représente pas plus du quart des stocks polliniques à Beaurains-les-Noyon (vallée de la Verse) et à Verrières (vallée de la Seine). Il peut même être effacé derrière le chêne comme dans les marais de Sacy (bassin de l'Oise) et Rueil-Malmaison (vallée de la Seine). Le noisetier (*Corylus*), qui se place souvent au second rang derrière l'aulne, connait une représentation ordinaire de 10-20% mais qui varie de 5% (Beaurains-lès-Noyon ; Rueil-Malmaison) à 40% (Vignely dans le bassin aval de la Marne). Le chêne (*Quercus*) a des occurrences presque équivalentes, généralement comprises entre 10 et 20%. Elles peuvent, cependant, atteindre 40% à Sacy ou Rueil-Malmaison ou chuter à 5% dans certains profils du bassin aval de la Marne (Fresnes-sur-Marne, Lesches). L'orme (*Ulmus*) et le tilleul (*Tilia*) ont des fréquences qui oscillent le plus souvent aux alentours de 5-7% mais qui varient, de fait, de 1 à 15%. Si l'orme s'efface fréquemment derrière le tilleul, la situation peut s'inverser comme à Villiers-sur-Seine (15%). Le frêne (*Fraxinus*) dépasse rarement des valeurs de 5% mais il peut atteindre le seuil des 10% (Bercy), voire de 15% (Châtenay et Villiers-sur-Seine). En revanche, il est absent dans les marais de Lesches (bassin aval de la Marne). Le hêtre (*Fagus*) a généralement une représentation plus faible (1 à 3%), d'autant qu'il est encore souvent sporadique, voire absent dans plusieurs profils du bassin aval de la Marne ; il atteint, néanmoins, des valeurs assez fortes à Villiers-sur-Seine (10%).

Cette variabilité, reconnue pour les principaux ligneux présents durant l'âge du Bronze, se vérifie aussi pour les herbacées. Ainsi, les Poacées comme les Cypéracées représentent ordinairement 15 à 25% du total mais elles peuvent atteindre des valeurs beaucoup plus élevées (40% de Cypéracées à Rueil-Malmaison et 50% de Poacées à Bercy) ou plus faibles (moins de 10% à Vignely). Si le cortège rudéral a, le plus souvent, une incidence de 5-7%, celle-ci peut varier de 3 à 10%.

[1] Toutes les fréquences annoncées reposent sur des sommes de base restreintes dont sont exclus tous les taxons de la végétation locale (*Alnus*, *Salix*, amphibies, Cypéracées, aquatiques, fougères).

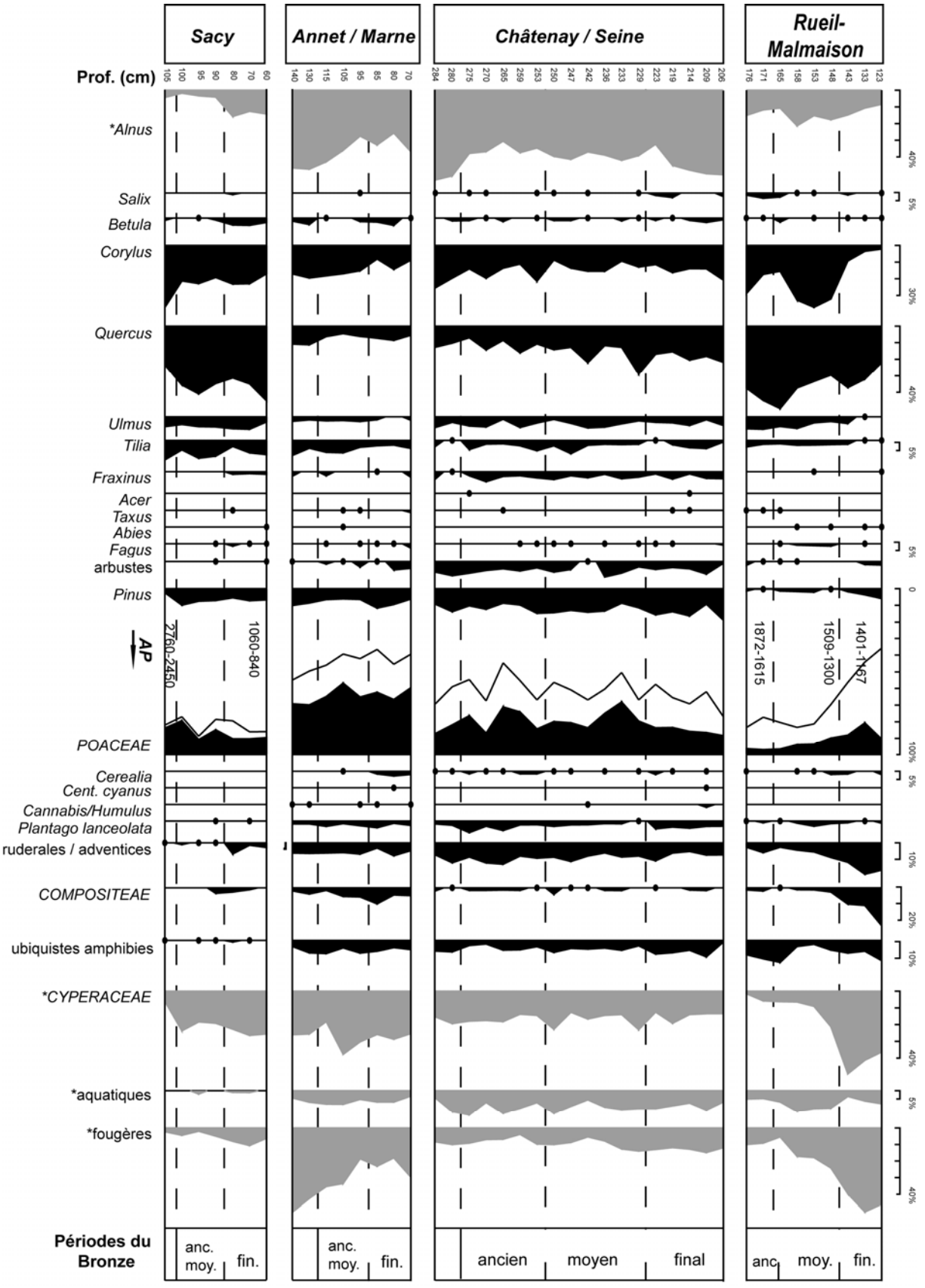


Fig. 25 : diagrammes polliniques simplifiés de Rueil-Malmaison, Châtenay-sur-Seine, Annet-sur-Marne et Sacy pour la période de l'âge du Bronze (Alnus, Cypéracées, aquatiques et fougères exclus des sommes de base).

Au sein de ces rudérales, la présence du plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*) est attestée sur tous les profils mais il peut rester sporadique (Villiers-sur-Seine, Lesches, Vignely, Sacy). Si ses fréquences sont généralement de 2-3%, il dépasse le seuil des 5% à Champagne-sur-Oise et à Noyen-sur-Seine. Enfin, les céréales (*Cerealia*), qui restent totalement absentes des profils de Sacy et de Lesches, présentent au mieux une courbe sub-continue avec des occurrences de 1 à 2% ; elles atteignent, néanmoins des valeurs de 5% à Fresnes-sur-Marne dans un niveau contemporain de l'occupation des lieux durant le Bronze final.

b) Paysage végétal et emprise humaine

Ces différentes données indiquent qu'un environnement encore assez boisé persiste durant l'âge du Bronze, au moins dans les fonds de vallées : des ripisylves y sont implantées tandis que les chênaies se développent en périphérie sur les versants et les plateaux. Même s'il n'est pas aisé sur la base des seuls enregistrements polliniques de cerner la transition entre la forêt alluviale qui peut comprendre des chênes et la chênaie de versant, ces boisements n'apparaissent pas homogènes que ce soit dans leur composition, leur étendue ou leur densité. Alors que certains profils attestent la présence d'aulnaies assez pures (cf. Fig. 25 : Annet-sur-Marne ou Châtenay-sur-Seine), d'autres témoignent de peuplements mixtes où noisetiers, frênes, ormes et chênes se mêlent aux aulnes, au moins en périphérie des zones les plus humides (cf. Fig. 25 : Sacy ou Rueil-Malmaison). Si les aulnaies apparaissent assez denses, les formations périphériques, telles qu'elles sont perçues à Rueil-Malmaison ou à Sacy, semblent beaucoup plus clairsemées au regard de l'abondance des ligneux héliophiles (noisetiers, bouleaux). La structure des boisements de versant est plus difficile à appréhender du fait du filtre constitué par la ripisylve (Barthélémy, 1976). Ils semblent surtout correspondre à des chênaies mixtes où ormes et tilleuls peuvent jouer un rôle notable et où les hêtres commencent à se développer. Bien que les taux de pollens arboréens soient élevés, des espaces herbacés participent également à l'environnement. Les berges des cours d'eau accueillent des groupements hygrophiles, composés de Cypéracées et de diverses plantes amphibies, qui peuvent se développer sous le couvert des ripisylves ou constituer des prairies humides, voire marécageuses, à leurs abords. Des prairies plus sèches occupent les zones exondées ; elles comprennent une flore rudérale plus ou moins abondante qui souligne leur utilisation en pâtures. Enfin, l'enregistrement régulier de pollen de céréales indique l'existence de parcelles cultivées sans qu'il soit possible d'en définir l'étendue.

Si l'incidence de ces divers groupements peut varier en fonction de la position des profils au sein de la plaine alluviale, favorisant plutôt l'aulnaie ou la chênaie-frênaie, les principales modifications relèvent de l'occupation des lieux et des activités de leurs habitants à une période donnée. En effet, depuis le Néolithique moyen II, l'installation d'un groupe humain en fond de vallée se marque par le défrichement de la ripisylve, parfois accompagné mais le plus souvent suivi de l'exploitation du chêne (LEROYER 1997,1998,2006a). L'attaque de l'aulnaie semble destinée à dégager des sols pour l'habitat et le pâturage des troupeaux, à faciliter l'accès au cours d'eau et parfois à utiliser l'aulne pour l'édification de palissades comme à Villiers-sur-Seine (LEROYER *et al.* sous-presse). Dans tous les cas, l'ouverture de l'aulnaie profite aux prairies humides qui s'implantent sur les sols libérés. L'utilisation de ces zones herbeuses en pâtures semble inégale : elle apparait moins marquée à Annet-sur-Marne qu'à Châtenay-sur-Seine et surtout qu'à Rueil-Malmaison durant le Bronze final (cf. Fig. 25). De même, la perception des

cultures céréalières est plus ou moins claire : variabilité qui peut relever de la proximité des parcelles comme de leur extension. Elle renvoie donc à la relation des profils polliniques avec des occupations humaines : lien difficile à établir pour les phases ancienne et moyenne de l'âge du Bronze puisque l'habitat de ces périodes est très mal connu dans le Bassin parisien (BILLARD *et al.* 1996, BLANCHET 1989a, BLANCHET & TALON 2005, GOUGE & PEAKE 2005). Seule la découverte de vestiges épars documente le peuplement humain durant le Bronze ancien et moyen alors que les sites (habitats et nécropoles) du Bronze final sont clairement identifiés et très abondants. Les archéologues soulignent le biais taphonomique à l'origine de cette situation même si une certaine déprise humaine ne peut être totalement écartée (BLANCHET & TALON 2005, GOUGE & PEAKE 2005). De fait, les données palynologiques vont contribuer à percevoir le peuplement régional par le biais des marqueurs d'anthropisation. La démarche consiste à vérifier le comportement des indices d'activité humaine sur les 13 profils polliniques qui couvrent le passage du Néo récent/final au Bronze ancien puis à observer leur évolution durant les différentes phases de l'âge du Bronze, ceci en tenant compte de la liaison avec des occupations humaines (cf. Fig. 26).

Bassins	Sites	Bronze ancien	Bronze moyen	Bronze final
Oise	1 : Beaurains-les-Noyon "Le Grand Marais" (Verse)	IPA faibles	IPA faibles	IPA forts
	3 : Lacroix-Saint-Ouen "Station d'épuration"	Vestiges + IPA forts		Occupation + IPA forts
	6 : Houdancourt "Les Esquillons"			IPA forts
	9 : Sacy-le-Grand "Le Marais"			
	11 : Champagne/Oise "Le Grand Marais"	Vestiges + IPA forts	Vestiges + IPA forts	
Seine aval de la confluence de la Marne	17 : Rueil-Malmaison "Les Closeaux"	IPA faibles	Vestiges + IPA forts	Occupation + IPA forts
	21 : Paris "Bercy"	IPA forts	IPA forts	Vestiges + IPA forts
Marne	24: Chelles "Le Fossé de Travers Ouest"	IPA faibles	IPA faibles	IPA faibles
	26 : Fresnes/Marne "Le Chemin des Noues"	IPA forts	IPA faibles	
	27 : Fresnes/Marne "L'Ile du Gord"	IPA forts	IPA forts	Occupation + IPA forts
	28 : Annet/Marne (Beuvronne)	IPA faibles	IPA faibles	Occupation dans le secteur + IPA forts
	29 : Vignely "La Corvée"	Vestiges + IPA forts		
	30 : Lesches "Les Prés du Refuge"	Vestiges + IPA faibles		IPA faibles
	30 bis : Lesches "Le Marais du Refuge"			
Seine Bassée	38 : Bazoches-lès-Bray "Le Tureau à l"Oseille"	Vestiges + IPA forts		
	40 : Châtenay/Seine "La Bachère N"	Vestiges + IPA forts	Vestiges + IPA forts	Occupation dans le secteur + IPA forts
	41 : Noyen/Seine "Le Haut des Nachères"	Vestiges + IPA forts		
	42 : Villiers/Seine "Le Gros Buisson"	IPA faibles	IPA faibles	Occupation + IPA forts
Seine Plaine de Troyes	50 : Saint-Léger "La Coloterie"			Occupation + IPA forts
	52 : Verrières "Les Coeurs"			Occupation + IPA forts

Occupation sur les lieux — Occupation dans le secteur — Vestiges archéologiques sur les lieux — IPA forts — IPA faibles

Fig. 26 : tableau récapitulatif des séquences polliniques couvrant l'âge du Bronze renseignant l'enregistrement des marqueurs d'anthropisation et la présence de découvertes archéologiques.

Aucun déclin des marqueurs d'anthropisation n'est perçu lors du passage au Bronze ancien. Au contraire, les 13 séquences témoignent alors d'un léger recul de l'aulne synchrone d'une petite progression des herbacées de prairies, du cortège rudéral et parfois de la présence de

pollen de céréales. Cette évolution se vérifie clairement sur les diagrammes polliniques d'Annet-sur-Marne et de Châtenay-sur-Seine (cf. Fig. 25).

Alors que seuls 7 des 17 sites couvrant la période du Bronze ancien sont associés à des vestiges archéologiques épars (cf. Fig. 26), des IPA (indices polliniques d'anthropisation) sont perçus dans presque tous les profils mais ce, avec plus ou moins d'intensité. Ainsi, malgré l'absence de découverte archéologique à côté des séquences de Rueil-Malmaison et d'Annet-sur-Marne, on constate une apparition ponctuelle de céréales et une timide progression des rudérales, concomitantes d'un léger recul de l'aulne (cf. Fig. 25). A Châtenay-sur-Seine ou à Noyen-sur-Seine, le retrait de l'aulne est à peine plus marqué mais la hausse du cortège rudéral - tout particulièrement celle du plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*)- est flagrante et la courbe des céréales est continue : des vestiges du Bronze ancien ont été mis au jour à proximité de ces deux sites. Enfin, à Vignely, un profond défrichement de l'aulnaie est perçu (LEROYER *et al.* soumis). De fait, on ne perçoit donc aucune déprise humaine au début de l'âge du Bronze, voire plutôt une légère accentuation des activités dans les séquences polliniques du Bassin parisien.

Seuls 3 des 13 profils couvrant le Bronze moyen sont associés à des vestiges archéologiques (cf. Fig. 26). L'arrivée d'un groupe humain à Rueil-Malmaison se marque clairement par l'exploitation du chêne et le développement des activités agro-pastorales (cf. Fig. 25). A Champagne-sur-Oise, la stabilité des marqueurs d'anthropisation renvoie au maintien d'une fréquentation des lieux durant les phases ancienne et moyenne de l'âge du Bronze. En revanche, à Châtenay-sur-Seine, les échantillons contemporains du Bronze moyen témoignent d'une petite diminution de l'emprise humaine : légère reprise de l'aulne, occurrences plus faibles des céréales et du plantain lancéolé (cf. Fig. 25). Si l'abandon des berges de la Marne à Vignely se traduit par un large essor de l'aulnaie et la disparition des céréales, le phénomène se marque moins clairement à Lacroix-Saint-Ouen dans l'Oise. Les autres profils, dénués de contexte archéologique durant le Bronze ancien comme le Bronze moyen, traduisent peu de changement entre ces deux périodes, que les indicateurs d'anthropisation soient faibles (Beaurains-lès-Noyon, Chelles, Annet-sur-Marne, Villiers-sur-Seine) ou plus forts (Bercy, Fresnes-sur-Marne).

Avec le passage au Bronze final, le lien archéologique des profils polliniques est plus conséquent : 9 des 15 séquences concernées sont associées à des vestiges. Six d'entre-elles sont implantées à côté d'un habitat ou d'une nécropole, deux autres sont dans une zone où les sites sont abondants tandis que des vestiges de la période ont été découverts à Bercy (cf. Fig. 26). Cette forte densité des occupations du Bronze final est bien illustrée par les séquences polliniques qui témoignent d'activités agro-pastorales accompagnées le plus souvent de défrichements mais leur amplitude se marque avec plus ou moins de force. A Rueil-Malmaison (cf. Fig. 25) ou à Saint-Léger et Verrières dans la Plaine de Troyes, l'association des profils à des occupations entraîne la perception directe des activités des habitants des lieux : défrichement des boisements alluviaux mais aussi de la chênaie au profit de zones de prairies utilisées en pâtures et mise en culture des sols exondés. Si l'attaque de l'aulnaie est clairement enregistrée à Fresnes-sur-Marne, l'exploitation du chêne est moins perceptible alors que cultures et élevage sont pratiqués à peu de distance par les occupants des lieux. Situé à quelques distances de cet habitat, le profil d'Annet-sur-Marne relate, de même, un net développement des activités agricoles associées à une éclaircie de la ripisylve (cf. Fig. 25). En revanche, la proximité d'une nécropole à Châtenay ne se traduit pas par un essor durable des marqueurs d'anthropisation. Après un bref développement des cultures céréalières et une éclaircie ponctuelle de l'aulnaie,

celle-ci reprend au contraire quelque importance et les activités agro-pastorales semblent diminuer (cf. Fig. 25). A Bercy, les boisements ne paraissent pas non plus être profondément altérés. Cependant, le chêne est exploité et l'aulnaie locale comme les formations à ormes sont éclaircies, entraînant une meilleure perception du pin. Les sols ainsi libérés, sont essentiellement colonisés par des Poacées, des Cypéracées et des fougères. Des cultures céréalières sont attestées mais la rudéralisation du milieu est assez faible. Enfin, les séquences des marais de Lesches et de Sacy, dénuées de tout contexte archéologique, transcrivent un milieu à peine marqué par l'empreinte humaine : on perçoit au mieux à Sacy une petite progression du cortège rudéral concomitante d'un très léger retrait du chêne qui profite aux aulnes et bouleaux (cf. Fig. 25).

Les séquences polliniques ne traduisent donc aucun déclin majeur des marqueurs d'anthropisation durant les phases ancienne et moyenne de l'Age du Bronze : les rudérales conservent des fréquences conséquentes, les céréales sont plus ou moins sporadiques, les courbes des principaux ligneux sont fluctuantes et celle de l'aulne est le plus souvent régressive. Ces observations sont significatives d'une continuité du peuplement ; interprétation qui conforte les constatations des archéologues sur la difficulté à reconnaître les vestiges d'habitat du Bronze ancien et moyen (BILLARD *et al.* 1996). La forte densité des occupations du Bronze final est ensuite nettement illustrée par les séquences polliniques mais l'incidence des interventions humaines (défrichement, céréaliculture, pastoralisme) est variable. Cette variabilité peut relever du type d'occupation : fréquentation régulière à Bercy, nécropole à Châtenay ou habitats (Rueil-Malmaison, Fresnes, Saint-Léger, Verrières…). Même si l'impact anthropique peut être moins fort qu'au Bronze ancien (Châtenay-sur-Seine) ou quasi inexistant (Lesches, Sacy), la tendance générale semble, néanmoins, être à une légère accentuation de l'anthropisation du milieu durant le Bronze final qu'il y ait, ou non, un site à proximité.

II – La modélisation

A) Problématique

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'étude des séquences polliniques permet de suivre les dynamiques des différents taxons au cours du temps, de cerner les phases d'anthropisation et ainsi de définir une histoire de la végétation. Elle fournit des informations détaillées sur l'environnement végétal entourant le site de prélèvement.

Certains paramètres demeurent cependant partiellement ou totalement indéterminés à la suite d'une analyse pollinique. L'origine des grains de pollen déposés dans le sédiment reste ainsi largement méconnue du fait de la multiplicité des parcours possibles entre le lieu de production du grain et son point de sédimentation. Le mode de transport du pollen va largement influer sur la représentation pollinique d'une essence végétale dans le sédiment. Les taxons anémophiles (vent) et hydrogames (eau) qui dispersent de grandes quantités de pollen seront largement surreprésentés dans les sédiments issus de zones humides, tandis que les entomophiles (insectes), ornithophiles (oiseaux) ou cheiroptérophiles (chauves-souris) qui produisent des quantités de pollen considérablement inférieures seront eux nettement sous-représentés. L'image du paysage fournie par l'étude palynologique d'un site est donc biaisée par

ces différences de productivité pollinique. Si cette remarque doit être prise en considération lorsque l'on tente de reconstruire les paysages du passé, elle doit néanmoins être relativisée. En effet, la plupart des taxons qui structurent visuellement le paysage (grand ligneux, herbacées) ont un mode de pollinisation anémophile et sont donc bien représentés dans les dépôts sédimentaires.

Parmi ces taxons anémophiles certains peuvent produire nettement plus de pollen que d'autres. Ces différences de productivité pollinique entre les espèces vont constituer un biais dans la reconstitution des paléoenvironnements à partir des séquences polliniques, certaines essences se trouvant surreprésentées par rapport à d'autres alors sous-représentées.

La taille, la surface, la forme générale des grains de pollen ainsi que leur densité suivant les taxons vont également influer sur la pluie pollinique. Un grain de faible densité avec une morphologie lui permettant de rester longtemps en suspension dans les airs aura un taux de dispersion plus important qu'un grain plus dense avec une portance plus faible (HEIM 1970).

A tout ceci vient s'ajouter un dernier facteur, la conservation inégale des grains de pollen des différents taxons (HAVINGA 1984). La structure des grains, propre à chaque espèce, va leur conférer une résistance à la dégradation plus ou moins grande. Ceci peut à terme faire varier de façon non négligeable les proportions d'un type de pollen dans un enregistrement pollinique et par là même fausser la représentation du paléoenvironnement du site.

Pour toutes ces raisons, un spectre pollinique ne peut donc pas être directement considéré comme une représentation parfaitement fidèle de la végétation mais plutôt comme une image de celle-ci observée après réflexion sur de multiples miroirs déformants. La modélisation que nous avons effectuée à partir des données polliniques tend à inverser le processus de déformation de cette image de la végétation de l'âge du Bronze du Bassin parisien. Les formules mathématiques jouent alors le rôle de lentilles de correction, reproduisant à l'inverse les déformations induites par les différents biais, dans le but d'obtenir une image plus nette du couvert végétal de l'époque.

B) Méthode

Le modèle que nous avons utilisé pour cette étude a été développé par S. Sugita et les membres des programmes POLLANDCAL, puis LANDCLIM, avec pour objectif d'intégrer un maximum des biais décrits plus haut pour permettre d'estimer quantitativement les proportions de chaque taxon dans le couvert végétal.

Le premier de ces facteurs, la productivité pollinique relative, correspond au ratio du nombre moyen de grains de pollen émis par une plante d'un taxon donné par rapport au nombre moyen de grains émis par une plante du taxon des Poaceae. On la nomme usuellement PPE pour *Pollen Productivity Estimate*. Elle a été mesurée pour de nombreux taxons végétaux dans 11 régions du nord et de l'est de l'Europe (BROSTRÖM *et al.* 2008). Ces mesures effectuées pour les mêmes taxons dans plusieurs régions européennes ont ensuite été moyennées selon un protocole visant à obtenir une valeur considérée comme applicable à l'ensemble de l'Europe (MAZIER *et al.* 2010, MAZIER *et al.* 2012).

La vitesse de chute dans l'air des grains de pollen des différents taxons dépend de leur taille, de leur densité et de leur morphologie. Elle intègre ces trois paramètres pour aboutir à une valeur chiffrée traduisant le potentiel de dispersion propre au pollen de chaque espèce. Lorsque cette vitesse n'a pas été mesurée en laboratoire, elle a été calculée selon la loi de sédimentation dans les fluides de Stokes.

Les PPE européens (MAZIER *et al.* 2012) sont reportés dans un tableau au côté des vitesses de chute dans l'air des grains de pollen pour chaque taxon (cf. Tab. 5).

Taxon	Production pollinique relative/Poaceae PPE (SE)	Vitesse de chute dans l'air des grains de pollen (m/s)
Abies	6.88 (1.44)	0.120
Alnus	9.07 (0.10)	0.021
Artemisia	3.48 (0.20)	0.025
Betula	3.09 (0.27)	0.024
Calluna vulgaris	0.82 (0.02)	0.038
Carpinus	3.55 (0.43)	0.042
Ceralia-t	1.85 (0.38)	0.060
Corylus	1.99 (0.20)	0.025
Fagus	2.35 (0.11)	0.057
Filipendula	2.81 (0.43)	0.006
Fraxinus	1.03 (0.11)	0.022
Juniperus	2.07 (0.04)	0.016
Picea	2.62 (012)	0.056
Pinus	6.38 (0.45)	0.031
Plantago lanceolata	1.04 (0.09)	0.029
Plantago media	1.27 (0.18)	0.024
Plantago montana	0.74 (0.13)	0.030
Poaceae	1.00 (0.00)	0.035
Quercus	5.83 (0.15)	0.035
Rumex acetosa-t	2.14 (0.28)	0.018
Salix	1.22 (0.11)	0.022
Secale	3.02 (0.05)	0.060
Tilia	0.80 (0.03)	0.032
Ulmus	1.27 (0.05)	0.032

Tab. 5 : Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des PPE européens et des vitesses de chute dans l'air des grains de pollen des taxons étudiés.

a) Formulation mathématique du modèle REVEALS

Le modèle REVEALS s'exprime comme suit (SUGITA 2007a):

$$\hat{V}_{i,k} \equiv \frac{n_{i,k}/\hat{\alpha}_{i,k} \cdot \int_R^{z_{max}} g_i(z)\, dz}{\sum_{j=1}^{t} n_{j,k}/\hat{\alpha}_{j,k} \cdot \int_R^{z_{max}} g_j(z)\, dz}$$

Avec $\hat{V}_{i,k}$: estimation de l'abondance relative de l'espèce *i* autour du site *k* (sans dimension)
$n_{i,k}$: nombre de grains de pollen de l'espèce *i* au site *k* (en grains)
$\hat{\alpha}_i$: productivité pollinique de l'espèce *i* (sans dimension)
g_i : fonction de dispersion et déposition du pollen de l'espèce *i* (lac ou tourbière)
Z_{max} : distance maximale d'origine du pollen de la végétation régionale (en mètres)
r : rayon du bassin de sédimentation *k* (en mètres)
t : nombre total de taxons utilisés pour calculer la composition de la végétation

Ce modèle signifie que la proportion de chaque taxon dans la végétation régionale est exprimée comme étant le résultat du ratio du nombre de grains de pollen comptés pour chaque taxon, pondéré par leur productivité pollinique respective et par une fonction de dispersion et dépôt du pollen, par rapport à la somme totale de ces facteurs pour chaque taxon (SUGITA 2007a).

b) Autres facteurs déterminants dans la reconstitution du couvert végétal

La taille des bassins de sédimentation (r) est un des paramètres influant sur la fonction de dispersion du pollen dans le modèle REVEALS (g_i). En effet, plus les dimensions du bassin de dépôt sont importantes, plus la zone environnant le site de prélèvement décrite par les proportions de pollen contenu dans les sédiments est étendue. Pour illustrer cette affirmation, la figure 27 présente les résultats de la végétation estimée par REVEALS à partir de paysages simulés, sous la forme d'une succession de diagrammes où les abscisses correspondent aux différents sites et les ordonnées aux proportions des taxons dans la végétation estimée (SUGITA 2007a).

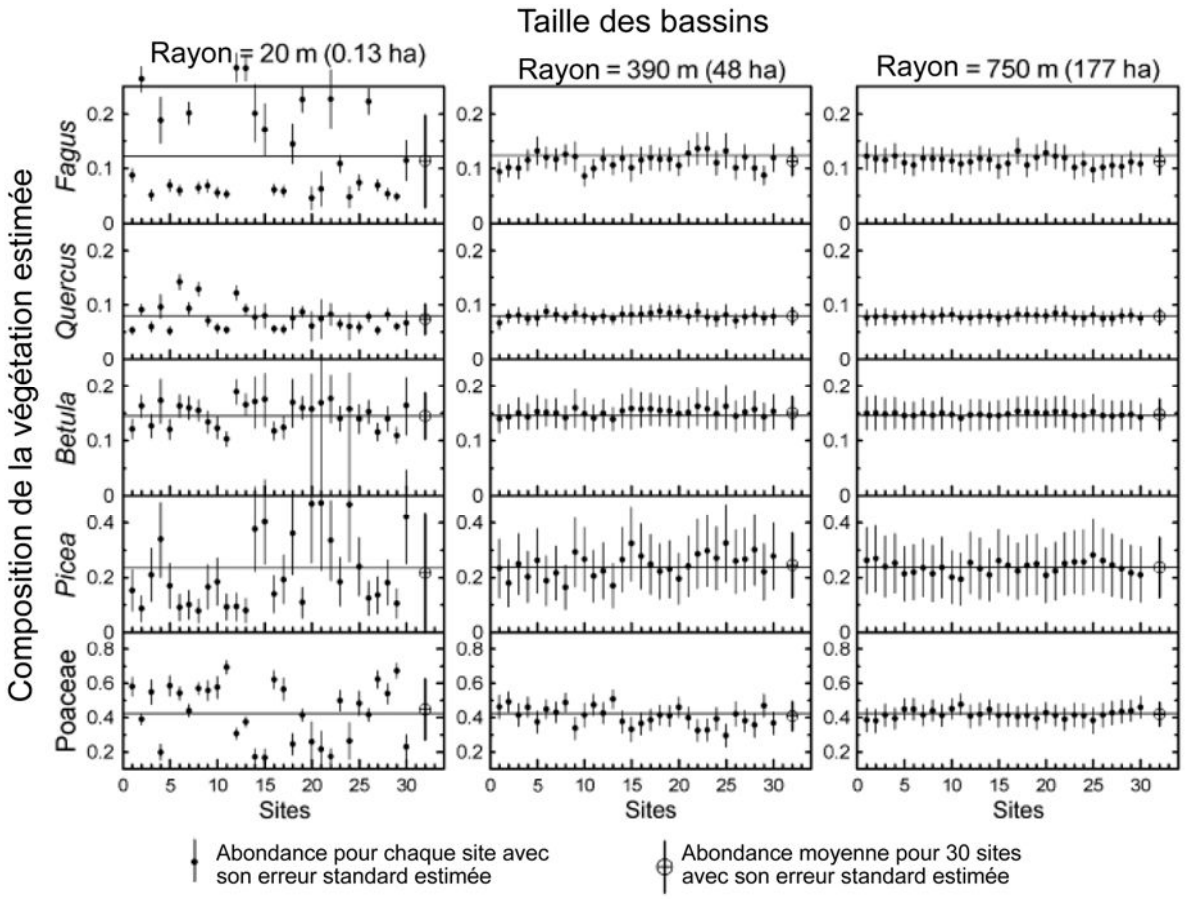


Fig. 27 : Impact des dimensions des bassins de dépôt simulés sur les proportions moyennes de différents taxons dans la végétation estimée par REVEALS et sur leurs écarts-types (modifié d'après Sugita, 2007).

On peut observer que les simulations de grands bassins permettent d'obtenir une moyenne à écart type réduit car les valeurs estimées pour chacun des sites sont faiblement dispersées autour de celle-ci. Plus on diminue la taille des bassins, plus les valeurs estimées vont varier entre les sites, reflétant ainsi l'impact grandissant de la végétation locale sur la pluie pollinique. Les moyennes présentent alors de forts écarts types.

Cependant, on peut observer que les valeurs des moyennes restent semblables, pour peu que l'on dispose d'un nombre suffisant de sites, et ce que l'on simule de grands ou de petits bassins de sédimentation. Dans notre étude, les sites du Bassin parisien correspondent plutôt à des bassins de petite à moyenne dimension (0,16 à 12 ha), mais leur nombre nous permet d'en tirer des informations sur le couvert végétal à une échelle plus régionale.

La nature du remblaiement dans les bassins de sédimentation joue également un rôle dans le calcul de la végétation estimée (MAZIER *et al.* 2012). Afin de traduire plus fidèlement le parcours des grains de pollen, la fonction de dispersion du pollen (g_i) utilisée pour le calcul est différente selon qu'il s'agit d'une tourbière ou d'un lac. La première version, la plus simple, décrit le mode de sédimentation du pollen en tourbière où, une fois déposé à la surface du bassin, le pollen est directement enfoui sous les couches sédimentaires suivantes (PRENTICE 1985). La seconde est plus complexe car le parcours du pollen est plus tourmenté pour des dépôts lacustres que tourbeux. En effet, la formule doit traduire la remobilisation du pollen du fond du lac par des courants convectifs annuels qui brassent le pollen sur toute la colonne d'eau (SUGITA 1993,1994, SUGITA *et al.* 1999) avant que celui-ci ne puisse être définitivement déposé au fond et enfoui.

c) Validation du modèle REVEALS

Ce modèle a été testé sur des séquences polliniques lacustres dans deux régions de Suède (HELLMAN *et al.* 2008a). Les résultats des estimations de la végétation par REVEALS comparés avec la végétation actuelle en place montrent que le modèle reconstitue bien les grands ensembles de végétation tels que les terrains boisés ou les herbacées. Il fournit aussi des estimations raisonnables pour des taxons individuels comme *Pinus*, *Picea*, *Betula*, *Corylus*, *Alnus*, *Tilia*, *Salix*, *Juniperus*, Gramineae, *Cerealia-type* et *Secale-type*. Les résultats semblent cependant moins concluants dans cette étude pour *Quercus*.

d) Application aux données du Bassin parisien

Les contraintes méthodologiques du modèle REVEALS nous ont conduits à ne sélectionner qu'une partie des séquences disponibles dans le *corpus* de données du Bassin parisien. En effet, la nécessité d'établir un modèle d'âge pour chacune d'entre elles élimine de fait les séquences discontinues et toutes celles qui ne présentent pas un minimum de trois datations sur une partie au moins du profil (MAZIER *et al.* 2012). Ainsi, sur 25 séquences disponibles au départ, seulement 8 ont été sélectionnées pour participer au calcul de la végétation estimée (cf. Fig. 23).

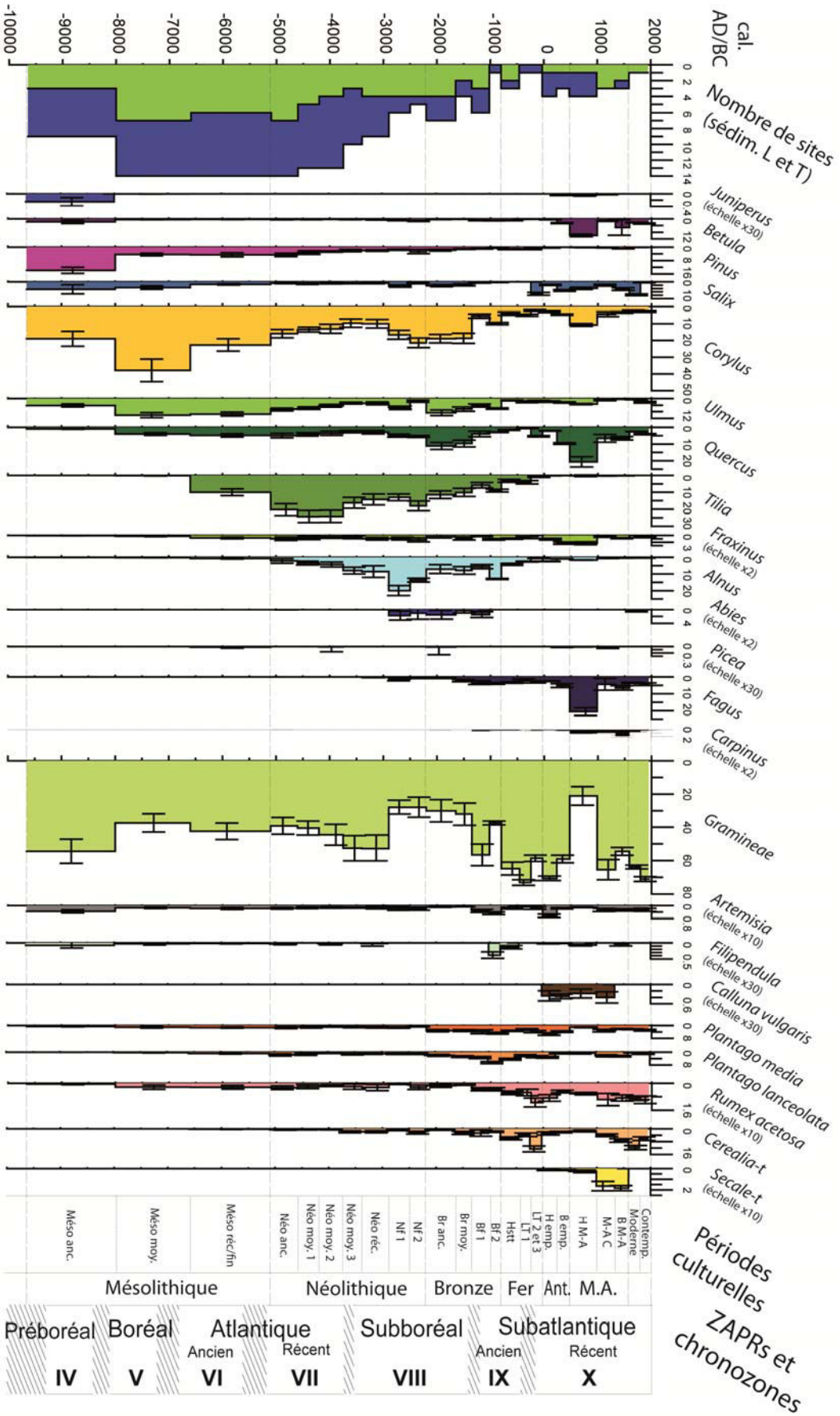


Fig. 28 : Évolution de la végétation holocène du Bassin parisien modélisée par REVEALS.

C) Résultats des estimations du couvert végétal de l'âge du Bronze du Bassin parisien

Le diagramme (cf. Fig. 28) illustre les résultats de modélisation du couvert végétal obtenus pour le Bassin parisien sur l'ensemble de l'Holocène. Les périodes culturelles ont ici servi de cadre temporel à la modélisation de la végétation. Les ZAPR correspondantes sont indiquées à droite. Des échelles variables ont été définies pour certains taxons faiblement représentés afin d'améliorer leur visibilité. Le facteur multiplicateur est alors signalé sous le nom du taxon.

Le nombre de séquences polliniques renseignant chaque période est représenté à gauche. La partie verte de l'histogramme indique le nombre de profils pour lesquels la nature sédimentaire tourbeuse a conduit à appliquer la fonction de dispersion des tourbières. La partie bleue regroupe ceux dont la sédimentation plus silteuse nous a orientés vers celle des lacs.

Cet histogramme peut être considéré comme une représentation graphique de la crédibilité à accorder aux résultats de chaque période puisque le nombre de séquences vient compenser la taille réduite des bassins et permet d'obtenir des moyennes cohérentes pour les proportions des différents taxons dans la végétation estimée (SUGITA 2007a). Cependant, la taille réduite des bassins de dépôt amène à des écarts-types importants autour de ces moyennes.

Pour la période de l'âge du Bronze, le nombre de séquences polliniques intégrées dans la modélisation est de 7 pour le Bronze ancien, 4 pour le Bronze moyen et 6 pour le Bronze final 1. Un seul profil pollinique renseigne le Bronze final 2 ce qui rend la reconstruction de la végétation de cette phase culturelle non significative. En effet, une unique séquence, issue d'un bassin de petite dimension, ne permet clairement pas de satisfaire aux conditions de la modélisation telles qu'énoncées par S. Sugita (2007a). Les résultats obtenus pour cette période ne seront donc pas commentés ici.

a) Proportions estimées des taxons arboréens dans le couvert végétal

Durant l'âge du Bronze, *Quercus, Ulmus, Alnus, Tilia* et *Corylus,* déclinent graduellement (cf. Fig. 28). Ce déclin général des taxons forestiers durant l'âge du Bronze masque cependant des dynamiques propres à chacune de ces essences. En effet, si la chute des proportions de *Tilia* et *Corylus* débute vraiment au Bronze ancien, celle d'*Alnus* intervient dès le Néolithique final 2. *Quercus* et *Ulmus* ont quant à eux connu tout d'abord une augmentation de leurs proportions entre Néolithique final 2 et Bronze ancien avant d'inverser la tendance entre Bronze ancien et Bronze moyen. Sur la période de l'âge du Bronze uniquement, *Alnus* est le seul à conserver des proportions assez stables, bien qu'il ait entamé un léger recul par rapport au Néolithique final 2, recul qui se poursuivra ensuite au cours de l'âge du Fer. *Quercus*, *Ulmus*, *Corylus* et *Tilia* voient leurs proportions diminuer de façon plus claire durant la période. *Fagus* est le seul taxon arboréen qui progresse depuis le Néolithique jusqu'à la fin de l'âge du Bronze. Il se stabilise ensuite à l'âge du Fer.

Si l'on retrouve une dynamique de végétation semblable à celle décrite par les comptages polliniques (cf. Fig. 24), les proportions entre les différents taxons sont souvent modifiées (cf. Fig. 28).

Alnus est de loin le taxon le plus largement minoré par la modélisation, de par sa PPE très importante. Contrairement à l'image ressortant des analyses polliniques, il ne domine pas du tout le couvert végétal estimé par la modélisation et présente des proportions tout à fait comparables à celles de *Quercus*, *Ulmus* ou *Tilia*. *Quercus*, *Corylus* et *Fraxinus* sont quant à eux légèrement minorés ce qui n'empêche pas *Corylus* de ressortir comme le taxon majoritaire pour l'âge du Bronze. *Fagus*, *Tilia* et *Ulmus* sont légèrement majorés, plaçant *Tilia* juste derrière *Corylus* et légèrement devant *Quercus*. *Ulmus* a des proportions presque comparables à celles de *Quercus*. *Fagus* est peu représenté, malgré sa dynamique ascendante. *Fraxinus*, *Pinus*, *Betula* et *Salix* sont présents mais dans de très faibles proportions.

b) Proportions estimées des taxons non arboréens dans le couvert végétal

Après la recolonisation du milieu par les ligneux au Néolithique final et jusqu'au début du Bronze ancien, la part des Poacées augmente exponentiellement dans la végétation estimée, et ce jusqu'à la fin de l'âge du Bronze, avec un saut quantitatif net entre Bronze moyen et Bronze final 1. Elles sont accompagnées par les céréales et le cortège des rudérales (cf. Fig. 28).

Les traces d'activités agropastorales semblent donc s'intensifier progressivement jusqu'au Bronze final 1, depuis un niveau minimal atteint au Néolithique final. Si l'on exclue la période trop peu documentée du Bronze final 2, cette dynamique semble se poursuivre à l'âge du Fer.

Tout comme pour les ligneux, les proportions des taxons non arboréens dans la végétation estimée sont pondérés par les PPE relatives à chaque essence. Ainsi, la part des Poacées est largement majorée par rapport aux comptages polliniques. Les proportions de céréales sont elles aussi assez clairement amplifiées par la modélisation. Dans une moindre mesure, l'incidence des espèces rudérales (*Plantago lanceolata, Plantago media, Rumex acetosa*) est également légèrement majorée.

III - Confrontation et discussion

La confrontation des données polliniques et de leur modélisation permet d'affiner notre perception du paysage végétal et de son anthropisation durant l'âge du Bronze.

L'information la plus notable réside dans la forte minoration du rôle de l'aulne. Du statut de taxon très largement majoritaire, il passe à celui d'un ligneux n'excédant pas 12% du couvert végétal régional. Il ne semble donc former qu'une forêt galerie, restreinte aux berges des cours d'eau, S'il était déjà évident sur la base des seules données écologiques que l'aulne n'occupait pas la majeure partie du Bassin parisien comme certaines fréquences polliniques le laissent présumer, l'intérêt de la modélisation est de proposer une quantification à son extension. Si les aulnaies ne se trouvent localisées que sur les berges, leur densité autour des points de prélèvement crée toutefois un filtre à la perception des autres taxons : facteur qui n'est pas

intégré dans le modèle REVEALS. On peut en déduire que l'aulne était encore moins abondant que ne l'annonce la modélisation, au contraire des autres essences végétales qui devaient jouer un rôle plus important dans le paysage. En périphérie des aulnaies, les données polliniques laissent envisager un développement graduel de formations allant de chênaies-frênaies en plaines d'inondation puis en chênaies mixtes (chênes, ormes, tilleuls, érables et quelques hêtres) sur les plateaux. La modélisation souligne un rôle beaucoup plus important du tilleul dans ces formations où *Tilia* apparaît majoritaire devant le chêne et l'orme. Si le frêne apparaît très effacé dans la modélisation, cela relève en partie d'un biais d'échantillonnage puisque les séquences de Bassée où il est le plus abondant (Châtenay et Villiers) n'ont pas pu être prises en compte. De même, la part du hêtre dans les boisements de plateaux semble plus importante que les apparitions ponctuelles et sporadiques dont témoignent les comptages polliniques. Il est estimé à des proportions maximales de 5,5% sur l'ensemble de la région à la fin de l'âge du Bronze, laissant présumer des concentrations encore un peu plus élevées dans ses milieux de prédilection. Les proportions du noisetier ne sont globalement pas modifiées par la modélisation : il devient ainsi le ligneux majoritaire de la période. Pouvant participer autant aux boisements alluviaux qu'aux formations de plateaux, ce taxon héliophile témoigne de peuplements clairs, ou de forêts parsemées de nombreuses clairières autour desquelles il peut se développer abondamment.

La couverture herbacée apparait beaucoup plus étendue dans la modélisation. Cependant, les valeurs atteintes par les Poacées ne sont pas directement proportionnelles aux étendues des espaces de prairie puisqu'elles peuvent également pousser sous le couvert des arbres. Elles confortent, dans ce cas, l'hypothèse de boisements suffisamment clairs pour permettre leur développement. Cette majoration des proportions de Poacées implique des surfaces de pâture importantes pour les troupeaux, soulignées par l'augmentation notable des cortèges rudéraux à partir du Bronze ancien. Leur progression linéaire jusqu'au Bronze final dans la végétation estimée apparait irrégulière dans les comptages polliniques. De même, le regroupement des données sous forme de moyennes dans la modélisation contribue à une perception homogène de la hausse des cultures céréalières masquant ainsi la sporadicité des occurrences de pollen de céréales sur les différents profils.

De fait, tous les marqueurs d'anthropisation se trouvent légèrement majorés par la modélisation. Celle-ci indique une franche accentuation de l'emprise humaine sur le paysage tout au long de l'âge du Bronze qui n'apparait pas aussi clairement dans les données polliniques. L'analyse détaillée de l'ensemble des profils polliniques, y compris ceux non retenus pour la modélisation, laisse supposer un processus plus complexe. Nous l'avons vu, les indices polliniques d'activités agro-pastorales et de défrichements peuvent varier sur une même séquence en fonction de la proximité des sites archéologiques. Néanmoins, la carence d'informations archéologiques sur le peuplement durant le Bronze ancien et moyen (BILLARD *et al.* 1996, BLANCHET & TALON 2005, GOUGE & PEAKE 2005) ne permet pas de vérifier si la hausse de l'anthropisation souvent perçue au Bronze final relève réellement d'une accentuation de l'emprise humaine ou simplement d'une plus grande proximité avec les sites, particulièrement abondants à cette période. Si la modélisation fait apparaître une augmentation régionale de l'agropastoralisme au cours de l'âge du Bronze, localement les données polliniques ne montrent pas d'augmentation systématique des valeurs des indices d'agriculture durant le Bronze final mais plutôt un enregistrement plus fréquent de ces marqueurs.

Enfin, on ne peut pour le moment totalement exclure l'hypothèse d'un biais d'échantillonnage, le nombre encore restreint de séquences étudiées pour l'ensemble du Bassin parisien sur la période n'excluant pas la possibilité d'obtenir un schéma différent. Ce biais a pu être accentué par l'élimination de certaines séquences pour la modélisation. Toutefois, l'examen de la figure 4 montre que cette sélection ne modifie pas tellement l'image de l'anthropisation de chaque période. En effet, les proportions de séquences présentant des IPA faibles à forts, ainsi que des vestiges archéologiques ou des occupations attestées semblent être conservées au sein du « pool » de séquences modélisées.

Conclusion

Cette première synthèse palynologique sur l'âge du Bronze est documentée par 25 séquences réparties sur 20 sites dont 8 ont été intégrées à une modélisation du couvert végétal. La confrontation des deux approches ouvre une voie de réflexion sur la perception du paysage et des activités de l'époque, sachant que de nouvelles données permettront d'étoffer et de vérifier les résultats de cette première synthèse.

Ainsi, la part de l'aulne qui domine l'essentiel des comptages polliniques se trouve largement minorée tandis que le tilleul semble jouer un rôle non négligeable dans les boisements. Ceux-ci paraissent néanmoins dominés par le noisetier, essence de lumière, qui indique un couvert forestier clairsemé. Cette interprétation semble confortée par l'importance prise par les Poacées dans la végétation estimée qui offre des possibilités accrues de pâture pour les troupeaux. Une confrontation avec les données archéozoologiques permettrait de vérifier les espaces nécessaires au bétail.

La relative abondance des marqueurs d'activité agro-pastorale récuse l'hypothèse d'une éventuelle déprise humaine au début de l'âge du Bronze, laissant ouvert le débat sur un accroissement de l'impact anthropique au Bronze final. Les données géomorphologiques vont dans le sens de cette hausse de l'emprise humaine sur l'environnement puisque la période du Bronze final correspond à une phase de déstabilisation du milieu dans les fonds de vallées imputée à l'anthropisation (PASTRE *et al.* 2002b, PASTRE *et al.* 2003). Une étude paléoclimatique régionale permettrait de dissocier les influences respectives de l'anthropisation et/ou d'une éventuelle péjoration climatique sur la modification du régime hydrique.

2 - EVOLUTION DU COUVERT VEGETAL DU MASSIF ARMORICAIN

2.1. CHRONOLOGIE DES SEQUENCES POLLINIQUES DU MASSIF ARMORICAIN

Le cadre chronologique des séquences polliniques du Massif Armoricain utilisées dans cette étude n'est pas basé sur des limites de palynozones de portée régionale (ZAPRs) mais sur les datations radiocarbone obtenues pour chaque profil concerné. En effet, les palynologues qui ont travaillé à la reconstruction de l'évolution holocène de la végétation armoricaine ont fait des choix méthodologiques différents de ceux qui ont été faits par Leroyer (1997) pour le Bassin parisien. Si certains ont mis en place une « zonation régionale embryonnaire » (BARBIER 1999) relative à leur zone d'étude (Mayenne (BARBIER 1999), Bassin aval de la Loire (CYPRIEN 2001), Bassin de l'Erdre (OUGUERRAM 2002)), celle-ci repose généralement à la fois sur la comparaison des mesures radiocarbone obtenues sur les différents sites et sur l'analyse des similitudes entre les différentes Zones d'Assemblage Pollinique Locales (ZAPLs).

La réalisation d'un modèle hiérarchique bayésien nécessite que les contraintes d'antéro-postériorité (contraintes stratigraphiques et contraintes de succession entre palynozones) qui sont imposées aux informations *a priori* (datations ^{14}C) soient absolument indépendantes de celles-ci. Cette condition *sine qua non* n'étant pas vérifiée dans le cas des séquences polliniques du Massif armoricain, le calcul des âges estimés de limites de palynozones n'a donc pas pu être mené à bien. En revanche, du fait de ce choix méthodologique consistant à accorder aux datations radiocarbone un rôle déterminant lors de la corrélation des zones polliniques locales, les auteurs ont généralement cherché à obtenir un nombre plus conséquent de dates pour chacun de leurs profils polliniques.

Le nombre minimum de 3 datations par profil pollinique continu, fixé comme seuil minimal par Mazier *et al.* (2012) pour intégrer la séquence à la modélisation du couvert végétal, a ici aussi été retenu. Cette condition nous a amené à exclure une large partie des 202 séquences recensées par Gaudin (2004) sur l'ensemble du Massif armoricain. Cette sélection stricte des données a tout de même abouti à la prise en compte de 41 profils polliniques, soit près du double des 21 séquences qui avaient pu être conservées pour le Bassin parisien. Avec une somme de 227 datations ^{14}C associées à l'ensemble de ces profils, soit une moyenne de 5,5 dates par séquence, le ratio du nombre de mesures radiocarbone par rapport au nombre de profils polliniques s'avère plus favorable qu'en Bassin parisien qui comptait 95 dates (radiocarbone et limites de ZAPRs) pour 21 profils soit 4,5 dates par séquence.

C'est donc sur la seule base des mesures radiocarbone que des modèles d'âges ont été produits pour les 41 sondages sélectionnés (cf. Annexe 4). Seules les datations considérées douteuses, voire clairement faussées, par les auteurs des analyses polliniques ont été écartées de notre étude. De même que pour le Bassin parisien, les modèles d'âges ont été calculés au travers de différents programmes, RenCurve v03/2013 (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.) et CLAM v1.0.2 (BLAAUW 2010), en fonction du nombre de datations disponibles pour chaque profil pollinique. Les hypothèses associées avec les différents modes d'interpolation sont ici aussi différentes selon le programme et le type d'interpolation utilisée.

Deux programmes différents ont donc été utilisés, en fonction du nombre de datations disponibles pour chaque profil, pour calculer les âges estimés des profondeurs non datées, par interpolation entre les profondeurs datées par mesure radiocarbone. La courbe de calibration utilisée dans les deux cas est la courbe IntCal09.14C (REIMER *et al.* 2009) pour l'hémisphère nord. Le logiciel RenCurve v03/2013 (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.) modélise via une

spline cubique uni-variée les datations entre les profondeurs datées, en affectant une contrainte monotone croissante aux résultats, c'est-à-dire en forçant le calcul pour toujours obtenir une datation plus ancienne pour un niveau donné par rapport au niveau qui lui est directement sus-jacent.

La version RenCurve v03/2013 présente de nombreuses améliorations par rapport à la version v08/2011. Elle prend en compte les contraintes stratigraphiques. De plus, un niveau hiérarchique d'erreur est introduit sur les datations elles-mêmes, permettant une pénalisation automatique des outliers ou des points dont les datations sont en contradiction avec la stratigraphie (modèle temporel du « Fait ») (LANOS & DUFRESNE 2012). L'*a priori* sur le coefficient de lissage repose sur une loi de type « shrinkage » (CONGDON 2010) dans les deux versions. En revanche, la variance des points par rapport à la courbe est ici estimée *a posteriori* alors qu'elle était fixée à une valeur faible (0.1) dans la version v08/2011. Les densités de date *a priori* sur les points sont les densités calibrées issues des datations radiocarboniques : il n'y donc pas de perte d'information à ce niveau. RenCurve v03/2013 permet un affichage de la grille des densités de probabilité des valeurs de profondeur en fonction du temps, ce qui permet l'affichage 3D couleur, le calcul du mode et celui de la moyenne. Enfin, la comparaison des densités de date *a priori* et *a posteriori* permet de détecter lesquels des points sont des outliers. Dans ce type de calcul, il n'est pas nécessaire de faire un tri préalable parmi les données, pourvu que le nombre d'outliers potentiels ne représente pas une proportion importante dans la série.

Un minimum de 4 datations est requis pour effectuer cette opération. Comme pour le Bassin parisien, l'utilisation du logiciel CLAM v1.0.2 (BLAAUW 2010) pour calculer les modèles d'âge des séquences du Massif armoricain s'est limitée à la réalisation de plus simples extrapolations linéaires entre les profondeurs datées. Les modèles d'âge des séquences présentant seulement 3 datations radiocarbone ont ainsi été construits à l'aide de ce second logiciel.

Les séquences polliniques du Massif armoricain, bien que plus généreusement pourvues en datations (10 à 3 dates ^{14}C par profil) que celles du Bassin parisien (7 à 3 dates ^{14}C ou limites de ZAPRs), n'en demeurent pas moins loin du seuil de 24 dates fixé par Telford *et al.* (2004a) pour obtenir des modèles d'âge proches de la réalité à partir de courbes splines. Néanmoins, tout comme dans le cas des séquences du Bassin parisien, l'utilisation d'une spline uni-variée nous a tout de même paru préférable chaque fois que cela était envisageable (cf. Tab. 6) pour éviter d'appliquer aux données l'hypothèse rarement réaliste de changements de taux de sédimentation intervenant toujours au niveau des profondeurs datées qui est sous-entendue par une interpolation linéaire. Les courbes splines sont sensibles à la position relative des dates le long du profil et permettent ainsi à ce taux de varier entre les niveaux datés.

Les deux logiciels reposent sur un calcul bayésien qui prend en compte les dates ^{14}C disponibles et leurs profondeurs relatives. Ils fonctionnent tous deux par la génération d'un certain nombre d'itérations selon la méthode Monte-Carlo par Chaînes de Markov (MCMC). Dans CLAM v1.0.2 le nombre d'itérations est paramétré par défaut à 1000, permettant ainsi d'obtenir des résultats quasiment instantanés. Cette quantité relativement restreinte d'itérations ne pose pas problème dans le cas de modèles d'âge basés sur une simple extrapolation linéaire et ne comportant que peu de dates. En revanche, pour réaliser des modèles d'âge plus complexes, basés sur des splines cubiques bayésiennes comme c'est le cas pour RenCurve v03/2013, ce nombre d'itérations à été porté à 100 000. Ces calculs demandent donc un temps non négligeable (autour d'une dizaine de minutes).

Tab. 6 : Liste des profils polliniques du Massif armoricain ayant suscité la réalisation d'un modèle d'âge et métadonnées relatives au nombre et au type de datations disponibles, au modèle utilisé et à l'âge unique estimé.

Site	Séquence	Nombre de datations	Type de datations	Logiciel utilisé	Age unique estimé
Ancenis	–	7	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Ballée	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Carquefou	Sondage	7	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Champtocé	–	7	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Cordemais	–	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Erdeven	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Fogéo	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Gesvres	–	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Glatinié	–	10	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Kerpenhir	–	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Langazel	100	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
La Vie	–	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Lévaré	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Lisle	–	7	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Malingue	–	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Masserac	2	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Mazerolles	–	8	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Méron	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Motte Bertier	–	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Munet	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Murin	–	7	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Nay	–	8	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Oudon	–	10	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Poupinière	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Saint Jean du Doigt	–	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Suscinio	–	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Le Teilleul	C1	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Le Teilleul	C2	8	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
La Verderie	Haut	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Langazel	15	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	mode
Breil	DD'	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	moyenne HDP
Logné	–	5	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	moyenne HDP
Le Perrey	–	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	moyenne HDP
Rohu Pargo	–	4	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	moyenne HDP
Saint Ursin	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	moyenne HDP
Thévalles	–	6	mesures ^{14}C	RenCurve v03/2013	moyenne HDP
La Baforière	–	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Carquefou	Tranchée	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Le Fourneau	Inférieur	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Pont er Bellec	–	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée
Rezé	–	3	mesures ^{14}C	CLAM v1.0.2	moyenne pondérée

Afin de ramener à une date unique l'ensemble de la plage de valeurs possibles pour chaque profondeur, exprimé par la FDP (Fonction de Densité de Probabilité) et résumé par l'intervalle HDP (de plus Haute Densité de Probabilité) à 95%, plusieurs méthodes peuvent être employées. La nature fréquemment multimodale et généralement asymétrique des FDPs des datations ^{14}C calibrées nous a amené à choisir le mode, préconisé par Michczyński (2007), ou plus exactement la moyenne de l'intervalle HDP à 5%, comme méthode de détermination préférentiel des âges uniques estimés pour chaque profondeur de séquence lorsque les modèles d'âge ont été calculés sous RenCurve v03/2013. Cependant, dans certains cas, la nature plus versatile du mode, soulignée par Telford *et al.* (2004b) et Michczyński (2007), entraine les résultats du modèle vers des reconstructions jugées irréalistes (inversions stratigraphiques). Dans ces quelques cas (6 sur 36 séquences modélisées sous RenCurve v03/2013), la moyenne de l'HPD à 95% a donc dû être utilisée comme dans la version v08/2011 (cf. Tab. 6). Lorsque les modèles d'âge ont été calculés sous CLAM v1.0.2, c'est la moyenne pondérée des FDPs qui est automatiquement fournie par le logiciel (BLAAUW 2010). Celle-ci convient également à l'allure complexe et couramment multimodale des FDPs des datations ^{14}C calibrées (TELFORD *et al.* 2004b).

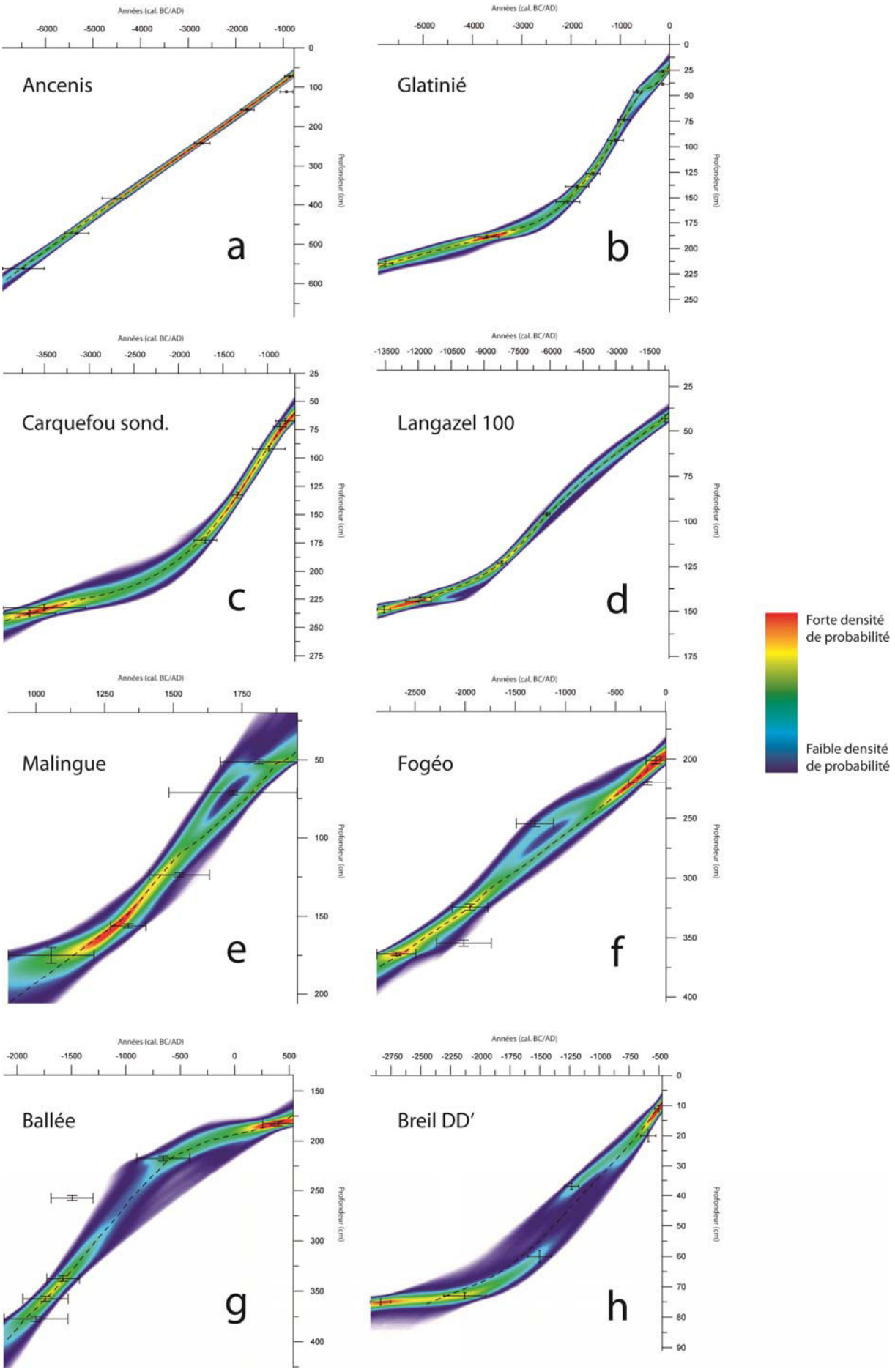
Les figures 29a à 29h représentent des exemples caractéristiques de modèles d'âge réalisés à partir du logiciel RenCurve v03/2013. L'évolution la plus évidente par rapport à la version v08/2011 consiste en la représentation graphique de la densité de probabilité relative aux âges estimés pour chaque profondeur de la séquence. La gamme de couleurs froides à chaudes, fonction du niveau de probabilité du résultat, ajoute une troisième dimension aux deux classiquement utilisées par les modèles âge-profondeur. Cette nouvelle propriété permet en quelque sorte d'évaluer le niveau de confiance associé à chaque partie de la reconstruction chronologique. Ce niveau va varier tout au long du profil en fonction de la conjonction de plusieurs facteurs.

La séquence d'Ancenis (cf. Fig. 29a), bien que présentant des datations ^{14}C quasiment alignées sur l'ensemble du profil (excepté l'une d'elles qui est considérée par le calcul comme étant hors tendance), voit la densité de probabilité des âges estimés par le modèle progressivement diminuer au fur et à mesure de l'augmentation de l'incertitude associée avec les mesures radiocarbone renseignant les couches les plus profondes de la carotte.

Pour la séquence de Glatinié (cf. Fig. 29b), c'est davantage la position relative des datations qui va provoquer une chute de la densité de probabilité. En effet, la deuxième et la troisième date (les datations sont ici numérotées à partir du sommet de la séquence) s'écartent toutes deux légèrement de l'alignement général ce qui pousse le modèle à tenter différentes hypothèses, diminuant ainsi la probabilité de chacune.

Les modèles d'âge des profils Carquefou sondage et Langazel 100 (cf. Fig. 29c et Fig. 29d) illustrent le troisième facteur influençant la probabilité des reconstructions, la distance en profondeur ou en années entre les dates. Cet éloignement augmentant, le niveau de confiance dans l'extrapolation qui est opérée entre les mesures radiocarbone va aller diminuant. A l'inverse, plus les datations sont resserrées dans le temps et la profondeur, plus la densité de probabilité associée avec l'âge estimé est forte.

Fig. 29 : Exemples de modèles d'âges relatifs aux séquences polliniques du Massif armoricain. Les cases a, b, c, d, e, f, g et h représentent des modèles d'âge réalisés sous RenCurve v03/2013 (Lanos et al. 2004, Lanos et Philippe in prep..). Dans celles-ci, l'âge unique estimé pour chaque profondeur correspond à la courbe en pointillés noire et la gamme des densités de probabilité l'entourant est illustrée par un dégradé arc-en-ciel s'interrompant au-delà de l'intervalle HDP à 95% associé avec chacun de ces âges. Les datations 14C ayant servi à la réalisation des modèles d'âge sont représentées par des croix noires. La barre horizontale correspond à l'incertitude temporelle de la date calibrée et la barre verticale à l'incertitude sur la profondeur datée.


Ancenis
a
Glatinié
b
Carquefou sond.
c
Langazel 100
d
Malingue
e
Fogéo
f
Ballée
g
Breil DD'
h
Années (cal. BC/AD)
Profondeur (cm)
Forte densité de probabilité
Faible densité de probabilité

La séquence de Malingue (cf. Fig. 29e) représente un autre cas de figure. En effet, les datations se trouvent être assez régulièrement espacées, néanmoins la nature bimodale de la FDP de la seconde (toujours en partant du sommet) pousse le modèle à tester deux solutions différentes, deux chemins, pour finalement opter au travers du mode pour celui présentant la plus forte probabilité.

Bien que de premier abord relativement semblable, la situation est quelque peu différente dans le cas du profil de Fogéo (cf. Fig. 29f). Deux hypothèses ont ici aussi été évaluées, générant une fois encore un dédoublement de la crête de probabilité maximale, mais en l'occurrence c'est la position de la troisième datation par rapport aux cinq autres qui en a été la cause, et non pas la forme de la FDP de celle-ci.

La séquence de Ballée (cf. Fig. 29g) permet de mettre en évidence une des propriétés du modèle RenCurve v03/2013, la détection automatique des datations hors tendance (ou outliers). La procédure d'identification est différente de celle d'autres modèles nécessitant d'identifier clairement les datations hors tendance pour CLAM (BLAAUW 2010), de leur affecter une probabilité *a priori* qui va permettre au modèle de plus ou moins les ignorer/minorer en fonction de ce coefficient pour Bpeat (BLAAUW & CHRISTEN 2005) et pour Bchron (PARNELL *et al.* 2008), ou encore de les ôter *a posteriori* du modèle suite à un « agreement index » trop faible avant de relancer une nouvelle fois le calcul pour OxCal (BRONK RAMSEY 2008). Ici, l'utilisation du « Fait » (LANOS & PHILIPPE in prep.) permet au modèle RenCurve v03/2013 de déterminer, sans intervention de l'analyste, les datations considérées hors tendance, en fonction de la position relative de l'ensemble des dates renseignant la séquence sédimentaire. Dans le cas du profil pollinique de Ballée, la troisième datation ^{14}C est manifestement jugée hors tendance lors du calcul et ignorée. La situation est similaire pour la deuxième mesure radiocarbone associée à la séquence d'Ancenis (cf. Fig. 29a).

Enfin, le modèle d'âge obtenu pour le profil pollinique de Breil DD' (cf. Fig. 29h) illustre l'un des six cas (cf. Tab. 6) où nous avons dû recourir à la moyenne de l'HDP à 95% pour déterminer la courbe des âges uniques estimés pour chaque profondeur. Les densités de probabilité pour l'ensemble des solutions envisagées par le modèle sont en effet tellement faible entre la troisième et la quatrième datation que la courbe du mode présente un aspect très irrégulier et pouvant conduire à d'artificielles inversions stratigraphiques. La moyenne de l'HDP à 95%, si elle prend moins bien en compte la complexité des FDPs pour chaque profondeur, permet cependant de lisser les résultats pour aboutir à une courbe plus régulière.

L'ensemble des modèles d'âge, réalisés sous RenCurve v03/2013 ou CLAM v1.0.2, pour les 41 séquences sélectionnées pour reconstruire le couvert végétal du Massif armoricain est rassemblé en Annexe 4.

Les modèles d'âge des séquences du Massif armoricain n'étant en aucune façon basés sur la zonation pollinique relative à chaque profil pollinique, on peut alors considérer que la chronologie des changements de végétation est totalement indépendante entre les différents sites étudiés. Néanmoins, l'intégration de toutes ces séquences dans la modélisation du couvert végétal régional ayant pour propriété de produire des proportions moyennées pour l'ensemble de l'aire d'étude, et donc de masquer les éventuelles particularités locales, elle va mécaniquement mener à une impression de dynamique unique à l'échelle de la zone modélisée. Les spécificités de certains sites vont toutefois se faire jour occasionnellement, particulièrement lorsque le nombre de profils pollinique renseignant l'une des fenêtres temporelles (Time Windows ou TWs) s'avère faible. La question se posera alors d'évaluer dans quelle mesure cette divergence est le fruit d'une spécificité réelle de la végétation locale (zones refuges, apparitions précoces, etc.) ou plus prosaïquement de datations biaisées (pour quelque raison que ce soit).

En effet, si l'indépendance de la chronologie des séquences vis-à-vis de l'enregistrement pollinique des changements de végétation est le gage de reconstructions exemptes de tout soupçon de corrélation forcée entre les profils (BLAAUW 2012), la question de la confiance accordée à chaque mesure radiocarbone (SHORE *et al.* 1995, TURETSKY *et al.* 2004, WANG *et al.* 1996, WOHLFARTH *et al.* 1998) s'en trouve à nouveau posée pour l'ensemble des séquences du Massif armoricain. Contrairement aux profils polliniques du Bassin parisien, leur cadre chronologique ne repose pas sur l'analyse statistique d'une importante somme de données chronologiques, à la fois absolues et relatives. Néanmoins, l'aspect relativement régulier (rarement plus d'un changement notable de taux de sédimentation) de la grande majorité des modèles d'âge présentés ici (cf. Annexe 4) plaide pour la cohérence générale des résultats de datation obtenus.

2.2 - MODELISATION DE LA VEGETATION DU MASSIF ARMORICAIN

2.2.1 - THE HOLOCENE VEGETATION COVER OF THE ARMORICAN MASSIF: REGIONAL AND SUB-REGIONAL RECONSTRUCTION SCALES

The Holocene vegetation cover of the Armorican Massif: regional and sub-regional reconstruction scales

David Rémi, Mazier Florence, Marguerie Dominique, Lanos Philippe, Aoustin David, Barbier-Pain Delphine, Cyprien Anne-Laure, Gaudin Loïc, Ouguerram Abdelouahed, Visset Lionel

(Article à soumettre)

Abstract

During the Holocene, a range expansion of plants, resulting in particular regional patterns, has been observed through Europe by the way of numerous pollen records. Within a region, the quantification of the relative proportions of the dominant taxa within the total vegetation cover provides important informations for estimating the potential vegetal resources, the anthropogenic impact on the environment or the land cover-climate feedbacks. This paper presents an application of the REVEALS model (REgional VEgetation Abundance from Large Sites), based on the Landscape Reconstruction Algorithm (LRA), at two different geographical scales within north-western France. The entire dataset of the Armorican Massif region (41 sites) and two smaller-sized sub-regions (north-eastern: 17 sites; south-eastern: 15 sites) were used to produce REVEALS estimates of vegetation cover for each area. The results show a similar general pattern of vegetation cover for both sub-regions of the Armorican Massif, mainly resulting from the Holocene tree-spreading under climate trends. However, concerning certain taxa, some variations highlight a range of natural and/or anthropogenic smaller-scaled influences. REVEALS estimates also provide higher values of landscape/woodland openness than pollen percentages, particularly for the beginning of the Holocene. Spatial and temporal biases are noticed within the dataset and their impact on the results is discussed, comparing to previous attempts to reconstruct regional vegetation cover from different parts of Europe.

Introduction

During the earlier Holocene, the evolution of European vegetation cover has been driven mostly by the climatic amelioration, the competition between taxa and biotic/abiotic factors such as soils, hydrographical network or topography. A range expansion of plants has been observed through the continent by the way of numerous taxon-focused studies (BREWER *et al.* 2002, GIESECKE *et al.* 2011, PETIT *et al.* 2002, SINCLAIR *et al.* 1999, TERHÜRNE-BERSON *et al.* 2004) as well as by larger scale synthesis (HUNTLEY & BIRKS 1983). Concerning France, pollen datasets from different regions were produced and studied by various authors: Pyrenees (JALUT 1974), Brittany (MORZADEC-KERFOURN 1974), Corsica (REILLE 1975), French Alps (DE BEAULIEU 1977), Loire valley (VISSET 1979), Jura (RICHARD 1983), Paris Basin (LEROYER 1997), Central Massif (MIRAS 2004); and resulted in multiple regional scale reconstructions of the vegetation history. In north-western Europe, the influence of anthropogenic disturbances appears in pollen records at different epochs since the second half of the Holocene, depending on the proximity of archaeological sites within the deposition basins and on the general anthropisation rate of the studied area (LEROYER 1998, MIRAS 2009). This human impact on natural environments increased, regularly or not, during the later Holocene resulting in the present-day cultural landscapes (GAUTHIER 2002, PASTRE *et al.* 2002a).

Pollen-analytical data is one of the most commonly used tools for defining past, local to regional, continental environments which are of major interest for many other disciplines. For example, archaeologists have a strong need to understand the natural context, resource availability or extent of human landscape transformation associated with their sites. The need for spatially defined past landscapes is also present in ecology, in order to better determine the future landscape management choices. Hypothesis of human induced impact on global climate warming via agricultural practice and deforestation since the early Holocene (RUDDIMAN 2005) depends on reconstructions of regional vegetation cover for the ancient times. Improving Global Climate Models (GCMs) also require a better understanding of past landscape dynamics because of the impact of land cover-climate feedbacks on the simulations.

So, the main objective of this paper is to produce taxon-specific estimates of the Holocene vegetation cover at two different scales: (i) at the scale of the whole Armorican Massif (AM) and (ii) at the smaller scale of two parts of the AM called “Mayenne-Vilaine” area (MV) and “Basse-Loire” area (BL). We then discuss (i) the spatial and temporal heterogeneity of the results, (ii) the past landscape/woodland openness evolution during the Holocene and (iii) the limitations of the work.

I - Material and methods

A) Quantification of vegetation cover

a) The non linear relationship between pollen percentages and vegetation cover

Interpreting pollen counts is not an obvious case due to the non-linear relationship between pollen percentages and vegetation cover (BERGLUND & RIDDERSPORRE 1991, FAEGRI & IVERSEN

1989, FAGERLIND 1952, PRENTICE & WEBB 1986). Thus, it has been showed that the arboreal/non-arboreal pollen ratio does not reflect appropriately the landscape/woodland openness and so cannot be used as a direct proxy (SUGITA *et al.* 1999). Radiocarbon dating made possible the calculation of Pollen Accumulation Rates (PAR) (DAVIS & DEEVEY 1964). It has been considered as a solution for estimating abundance of plants independently for each species, until many studies showed that it was not always proportional to pollen loading and varies significantly both between lakes and within lakes (DAVIS & FORD 1982, DAVIS *et al.* 1984, LEHMAN 1975, LIKENS & DAVIS 1975). Also, pollen percentages remain the current choice for many palynologists to describe their assemblages. Other biases result from differences in pollen productivity and dispersal-deposition mechanisms between species, driving into modifications of the ratios between species abundances in past landscapes and in pollen stratigraphies.

Considered early (HESSELMAN 1916, VON POST 1916), many attempts have been made to address the problem of the origin of pollen within the sedimentary basin, in order to obtain reliable reconstructions of ancient landscapes. Based on a modified version of the Sutton's particles dispersal equation (SUTTON 1953) and on the concept of "R-value" correction for pollen-vegetation cover relationship (DAVIS 1963), Prentice and Parsons produced an "Extended R-Value" model (ERV model) which describes the trajectories of different pollen morphological types from the top of the forest canopy to the centre point of a sedimentary basin and also integrate differences in pollen productivities between species (PARSONS & PRENTICE 1981, PRENTICE & PARSONS 1983, PRENTICE 1985,1988). The historical and theoretical steps of the development of the ERV models is described in details by many authors who contributed to the understanding of the pollen-vegetation relationship (BROSTRÖM 2002, GAILLARD *et al.* 2008, HELLMAN 2007, NIELSEN 2003, SUGITA 1993,2007a,b). The Prentice model is still used to reconstruct vegetation cover from pollen samples of bogs. For lake pollen stratigraphies, S. Sugita modified it in order to obtain the average pollen deposition per unit surface area of the entire lake (SUGITA 1993). Indeed, the mixing of the pollen deposited at the surface of the lake before its final accumulation in sediments was previously argued by several authors (DAVIS 1968, DAVIS & BRUBAKER 1973, DAVIS *et al.* 1984). Because of the similar functional structure of both Prentice and Sugita models, they are currently called "the Prentice-Sugita model" (GAILLARD *et al.* 2008). Subsequently, the Landscape Reconstruction Algorithm (LRA) (SUGITA 2007a,b) provided a significant step forward, through the REVEALS (REgional VEgetation Abundance from Large Sites) and LOVE (LOcal Vegetation Estimates) models, respectively used for the quantification of past vegetation cover from pollen records at regional and local scales.

b) The Landscape Reconstruction algorithm

The LRA is defined as a framework developed for quantitative reconstruction of vegetation across various spatial scales, composed of two steps. The first one uses the REVEALS model to reconstruct regional vegetation composition in 10^6-10^7 ha (10^4-10^5 km^2) (SUGITA 2007a). The second one applies the LOVE model which incorporates these estimates of regional vegetation composition into a method for reconstructing vegetation in smaller areas (≤ 10^4 ha) using pollen records from smaller sized sites (SUGITA 2007b).

Here, we only apply the first step of the LRA, the REVEALS model, to estimate the regional vegetation cover of our study area. The prerequisite data for using the REVEAL model are: (i) pollen counts from the sites, (ii) an estimate of the relative pollen productivity of the taxon (PPE), (iii) an estimate of the fall speed of pollen (FSP in m/s), (iv) the radius of the depositional basins, (v) an estimate of the maximum extent of the region from which pollen is derived (Zmax in Km), and (vi) a taxon-specific pollen dispersal-deposition function based either on I.C. Prentice (1985) for bogs or S. Sugita (1994) for lakes.

The PPEs and their Standard Errors (SE) used to reconstruct the Holocene vegetation cover of the Armorican Massif are derived from those developed for the LANDCLIM project ($PPE.st_2$) (MAZIER *et al.* 2012) (see Tab. 7). The methodological choice for the LANDCLIM project was to exclude the PPEs of the entomophilous taxa and keep only the 25 PPEs of the anemophilous taxa (GP_2) (MAZIER *et al.* 2012).

The Fall Speeds of Pollen (FSP) are measures of the rate of falling of pollen grains in the atmosphere for each taxon in meters per seconds (see Tab. 7). They were obtained from the literature (BROSTRÖM *et al.* 2004, BROSTRÖM *et al.* 2008, EISENHUT 1961, MAZIER *et al.* 2008, SUGITA *et al.* 1999) or calculated according to Stokes' Law (GREGORY 1973).

Tab. 7: Pollen Productivity Estimates (PPEs) and Fall Speed of Pollen (FSPs) for pollen taxa used within the REVEALS analysis (Mazier et al. 2012).

Taxon	PPE	FSP ($m.s^{-1}$)
Abies	6.88	0.12
Alnus	9.07	0.021
Artemisia	3.48	0.025
Betula	3.09	0.024
Calluna vulgaris	0.82	0.038
Carpinus	3.55	0.042
Cerealia-t	1.85	0.06
Corylus	1.99	0.025
Fagus	2.35	0.057
Filipendula	2.81	0.006
Fraxinus	1.03	0.022
Gramineae	1	0.035
Juniperus	2.07	0.016
Picea	2.62	0.056
Pinus	6.38	0.031
Plantago lanceolata	1.04	0.029
Plantago media	1.27	0.024
Plantago montana	0.74	0.03
Quercus	5.83	0.035
Rumex acetosa-t	2.14	0.018
Salix	1.22	0.022
Secale-t	3.02	0.06
Tilia	0.8	0.032
Ulmus	1.27	0.032

As Mazier *et al.* (2012) showed that different values of Zmax (i.e. 50, 100 and 200 km) did not affect the REVEALS estimates, we set Zmax to 100 km roughly corresponding to the area with available pollen data.

Validation of the first step of the LRA (REVEALS model) against modern vegetation using pollen counts from lake sediments in Europe: southern Sweden (HELLMAN *et al.* 2008a),

Denmark (NIELSEN & ODGAARD 2010), Switzerland (SOEPBOER *et al.* 2010) and in northern America (Michigan and Wisconsin: Sugita *et al.* 2010) has been successful for regional vegetation cover reconstructions.

Applications of the REVEALS model for reconstructing past vegetation covers has been successfully attempted in several European countries using pollen records from large lakes: southern Sweden (SUGITA *et al.* 2008), Switzerland (SOEPBOER *et al.* 2010); and from multiple large and small sites, lakes and bogs: Czech Republic (MAZIER *et al.* 2012), Denmark and northern Germany (NIELSEN *et al.* 2012), British Isles (FYFE *et al.* 2013).

In this study, we did not choose to follow the LANDCLIM's grid methodology which can lead to group together sites from clearly different dominant regional influences. We also did not choose to group the taxa in PFTs, in order to observe the dynamics of each taxon through the Holocene.

B) The Armorican dataset

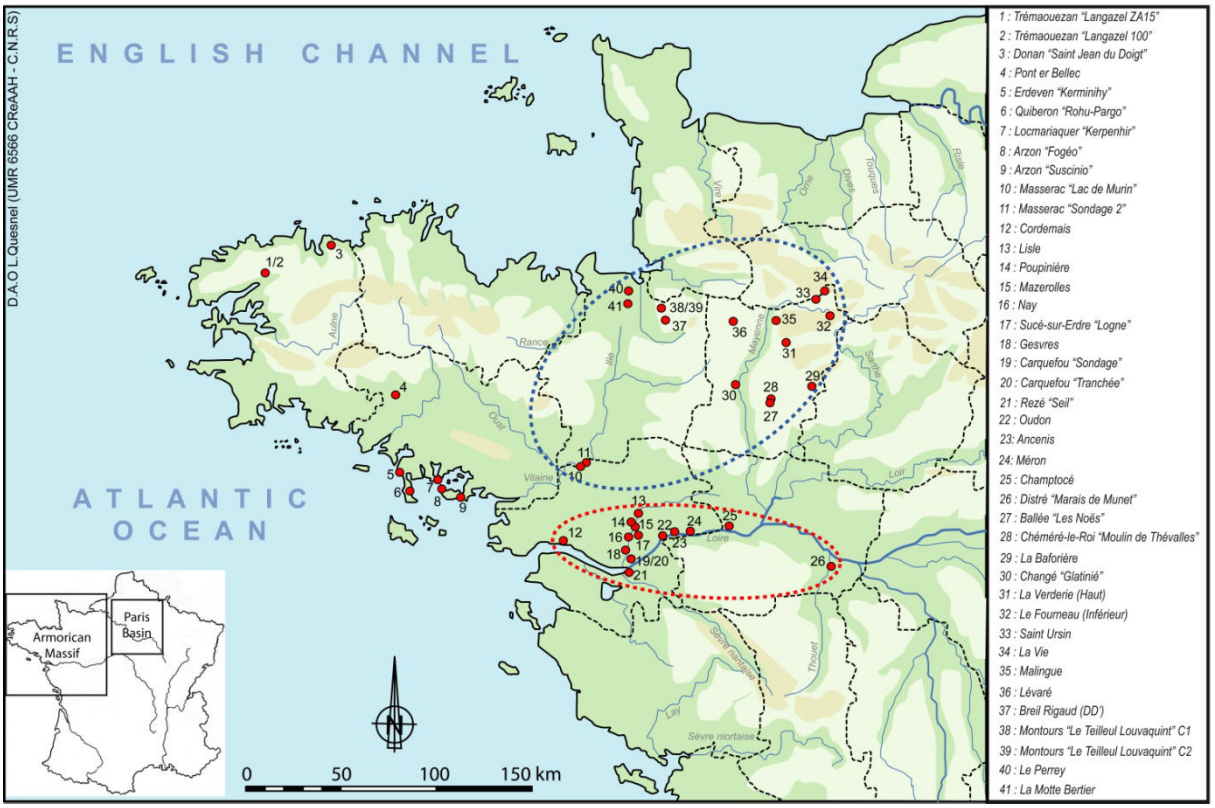


Fig. 30: Distribution of datasets within the Armorican Massif from which the pollen counts were obtained.

Pollen-analytical studies have been undertaken within the Armorican Massif since the 1920s (ERDTMAN 1924) and then plenty of sites provided pollen stratigraphies. Gaudin (2004) produced a compilation of the major part of existing paleoenvironmental data for the whole

region which reaches the number of 552 sites. 202 of them are pollen records; the rest is divided into charcoal, wood, seed, fauna and sediment analyses.

From all of these theoretically available data, the prerequisites of the first step of the LRA approach exclude a large majority of sites. We decided to follow the LANDCLIM project key criteria (MAZIER *et al.* 2012) for inclusion: (i) sufficient chronological control with at least three radiocarbon dates (d3), (ii) raw pollen count data, (iii) sufficient metadata (e.g. site radius), (iv) precise geolocational data for the site.

Indeed, raw pollen counts are needed to run the REVEALS model and cannot be estimated from percentage-based diagrams. It constitutes the major rationale for the exclusion of data from the Armorican Massif. The second more important is the minimum number of radiocarbon dates for each core, especially for the oldest studies. The pollen stratigraphies with a sufficient number of ^{14}C datings were selected and a new age-depth model was produced for each site using CLAM (BLAAUW 2010) with linear regression interpolation if n = 3, and RenCurve (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.) with cubic spline interpolation and Bayesian approach if n ≥ 3. The site radius could have been also a limitation factor because of the relative rarity of information about the extension of the sedimentary basin, due to the lack of interest for this question in a non negligible fraction of the studies. In these cases, whenever it was possible, we evaluated the radius of the sedimentary basins through local maps, geomorphological transects, aerial photographs and/or satellite images.

So, almost all of the selected pollen stratigraphies come from relatively recent studies published during the 1990s and the 2000s (see Tab. 8 for all the detailed references). From the 202 potential sites counted by Gaudin (2004), an amount of 41 were selected for participating to the reconstruction of the regional vegetation cover of the Armorican Massif.

The spatial biases in the dataset can be easily seen on the distribution map of the sites (see Fig. 30). A good correlation between the number of sites and the proportion of suitable deposits for pollen analyses within each zone was statistically demonstrated using all the 202 cores of the Armorican dataset (GAUDIN 2004). Concerning the 41 selected sites, the spatial distribution of the sites results primarily from the interest of the analysts. Indeed, most of the selected data comes from PhD theses interested in describing the Holocene vegetation changes within a single, or more, hydrographical basin. There are two main groups of sites. The north-eastern group (dashed line), called “Mayenne-Vilaine”, is composed of 17 pollen records. The south-eastern group (dotted line), called “Basse-Loire”, is composed of 15 pollen records. The rest is divided between six sites in the Morbihan area and three in the Finistère area.

We defined 33 time windows with various temporal extents, from 150 to 500 years and a mean of 350 years. We tried to define their limits according to the temporal framework of the main archaeological cultures within the region for the whole Holocene. However, we are very conscious that the debate about this framework is still open within the archaeological community. So the limits used here should not be considered as absolute archaeological limits, but a choice had to be made for applying the REVEALS model. Then, for each REVEALS run, pollen counts from each sample of each pollen record within the reconstructed area were aggregated into the different time windows in order to obtain a single count for each one of them.

Site no.	Site name	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Type	Site radius (m)	Regional grouping	Reference
1	Tremaouezan Langazel ZA15	48.516	4.266	80	Bog & Lake	20		Gaudin, 2004
2	Tremaouezan Langazel 100	48.514	4.268	80	Bog	20		Gaudin, 2004
3	Saint Jean du Doigt	48.702	3.778	5	Bog & Lake	20		Aoustin, Marguerie, prep.
4	Pont-Er-Bellec	47.972	3.289	125	Bog & Lake	20		Marguerie, 2009
5	Erdeven, Kerminihy	47.634	3.205	0	Bog	20		Visset and bernard, 2006
6	Quiberon Rohu pargo	47.503	3.123	10	Bog & Lake	150		Gaudin, 2004
7	Locmariaquer, Kerpenhir	47.554	2.931	0	Bog & Lake	20		Visset et al., 1996
8	Arzon, Fogéo	47.537	2.889	0	Bog & Lake	20		Visset et bernard, 2006
9	Arzon, Suscinio	47.504	2.728	0	Lake	20		Visset et bernard, 2006
10	Murin	47.676	1.939	0	Lake	250	Mayenne-Vilaine	Penven et al., 2012
11	Massérac 2	47.680	1.924	17	Lake	1000	Mayenne-Vilaine	Marguerie, 2007
12	Cordemais	47.282	1.875	17	Lake	20	Basse-Loire	Cyprien, 2001
13	Lisle	47.430	1.494	4	Bog & Lake	12.5	Basse-Loire	Ouguerram, 2002
14	Poupinière	47.403	1.503	3	Bog & Lake	620	Basse-Loire	Ouguerram, 2002
15	Mazerolles	47.358	1.479	3	Bog & Lake	2000	Basse-Loire	Ouguerram, 2002
16	Nay	47.302	1.537	4	Bog & Lake	1000	Basse-Loire	Ouguerram, 2002
17	Logné	47.328	0.501	4	Bog & Lake	300	Basse-Loire	Barbier et Visset, 1997
18	Gesvres	47.403	1.550	4	Bog & Lake	300	Basse-Loire	Ouguerram, 2002
19	Carquefou sondage	47.308	1.478	12	Bog & Lake	20	Basse-Loire	Cyprien, 2001
20	carquefou tranchée	47.308	1.478	12	Bog	20	Basse-Loire	Cyprien, 2001
21	Rezé - Seil	47.192	1.565	3	Bog & Lake	20	Basse-Loire	Cyprien, 2001
22	Oudon	47.356	1.292	5	Bog & Lake	20	Basse-Loire	Cyprien, 2001
23	Ancenis	47.388	1.168	6	Bog & Lake	1000	Basse-Loire	Cyprien, 2001
24	Méron	47.378	1.126	6	Bog & Lake	100	Basse-Loire	Cyprien, 2001
25	Champtocé	47.414	0.861	10	Bog & Lake	75	Basse-Loire	Cyprien, 2001
26	Marais de Munet	47.220	0.099	28	Bog & Lake	300	Basse-Loire	Cyprien, 2001
27	Ballée, Les Noës	47.947	0.409	60	Bog & Lake	20	Mayenne-Vilaine	Visset et al., 2005
28	Moulin de Thévalles	47.970	0.417	55	Lake	20	Mayenne-Vilaine	Visset et al., 2005
29	La Baforière	48.057	0.306	100	Bog & Lake	20	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
30	Glatinié	48.117	0.789	70	Bog & Lake	20	Mayenne-Vilaine	Barbier,
31	La Verderie Haut	48.350	0.428	230	Bog	20	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
32	Le Fourneau inf.	48.478	0.192	230	Bog & Lake	20	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
33	Saint-Ursin	48.519	0.253	240	Bog	100	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
34	La Vie	48.548	0.258	270	Bog & Lake	20	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
35	Malingue	48.439	0.575	120	Bog & Lake	15	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
36	Lévaré	48.433	0.917	230	Bog & Lake	20	Mayenne-Vilaine	Barbier, 1999
37	Breil Rigaud DD'	48.383	1.301	130	Bog & Lake	22	Mayenne-Vilaine	Marguerie, 2009
38	Montours, Le Teilleul C1	48.444	1.323	125	Bog	20	Mayenne-Vilaine	Marguerie, 2009
39	Montours, Le Teilleul C2	48.444	1.323	125	Bog	20	Mayenne-Vilaine	Marguerie, 2009
40	Le Perrey	48.517	1.541	20	Lake	41	Mayenne-Vilaine	Marguerie, 2009
41	La Motte Bertier	48.496	1.564	95	Bog & Lake	27.5	Mayenne-Vilaine	Marguerie, 2009

Tab. 8: Metadata informations for sites included within REVEALS analysis. Site numbers refers to numbers of Fig. 30.

C) Application of the REVEALS model in non-ideal situations

The REVEALS model is defined with a series of assumptions and demands the respect of some criteria in order to product consistent estimates of regional vegetation cover. Fyfe *et al.* (2013) called “non-ideal situations” the application of the REVEALS model to sites which do not strictly correspond to the ideal conditions assumed by the model.

One of the main criteria is the size of the sedimentary basins. Indeed, empirical and theoretical studies have shown that pollen assemblages from large lakes and mires tend to be

similar among sites in a given region (BERGLUND 1973, JACOBSON & BRADSHAW 1981, SUGITA 1994). Based upon this property, Sugita (2007a) described the REVEALS model as a tool designed for large sites (radius ≥ 750 m), even in the name of the model itself, but he introduced the possibility of grouping multiple smaller-sized sites (radius = 20 m).

Thus, the simulated REVEALS estimates obtained with a group of 30 small sites present similar mean values than with a 30 large sites group. However, they are also associated with larger Standard Errors, which are supposed to increase with the complexity of the spatial structure of the vegetation but to decrease with the number and the size of the small basins (SUGITA *et al.* 2010).

Another major assumption of the REVEALS model is that no pollen found in the sedimentary basin was produced by plants growing on the surface of this basin (SUGITA 2007a), which is however currently observed, especially in the case of bogs. Indeed, tests using individual taxa for estimating the vegetation cover of the Paris Basin showed a large overestimation of *Cyperaceae* in the landscape. Thus, we estimated that the growing and flowering of *Cyperaceae* on the surface of those sedimentary basins constituted a major bias considering on the REVEALS assumptions. To minimize this issue and to maintain the choice of calculating REVEALS estimates for each taxon and not for PFTs, we decided to exclude the *Cyperaceae* from the pollen counts (DAVID *et al.* in prep.-b). Nielsen *et al.* (2012) excluded the Cyperaceae from their landscape openness reconstructions of northern Germany and Denmark for the same reason. Most of the pollen records from the Armorican Massif are bogs, so we followed the same methodology here and excluded the *Cyperaceae* pollen from total counts too.

Plantago montana is rarely recognized in the Armorican pollen records and most of the time counted by analysts with other Plantago species into a *Plantago* sp. group, which is currently associated with the *Plantago media*'s PPE for REVEALS runs. Thereby, the vegetation cover estimates presented hereafter are based on an amount of 23 selected taxa (25 entomophilous from the LANDCLIM GP_2 minus *Cyperaceae* and *Plantago montana*). In all selected pollen samples, pollen counts from these 23 taxa represent a mean of 77 % of the total pollen counts, which is comparable to the 67-99% of Northern Germany and Denmark (NIELSEN *et al.* 2012). All the dominant trees in the region are included in the 23 taxa, as well as the important non-tree taxa (except *Cyperaceae*) representative of natural and cultural landscapes.

Commonly in our study area, current bogs result from the filling of ancient lakes and ponds. Silty deposits are observed at the base of the cores and more and more organic to peaty deposits are found to the tops. Then, to better translate these evolutions into the model, we applied separately the model designed for bogs and mires(PRENTICE 1985,1988) for silty samples and the model related to lakes and ponds (SUGITA 1993) for peaty samples, and then calculated total REVEALS estimates (lakes + bogs) from these both results. We think that the integration of the variability of sedimentary deposition nature in our reconstructions allows us to obtain more accurate REVEALS estimates of the Armorican Massif vegetation cover.

II - Past regional vegetation of the Armorican Massif: results

A) Regional and sub-regional vegetation covers: methodological approach

The Armorican dataset (see Tab. 8 and Fig. 30) is composed of 4 large sites (lakes and bogs) and 37 small sites (lakes and bogs) with radius sizes from 12.5 to 2000 m. Thus, we decided to produce REVEALS estimates for groups of both small and large sites at two different scales. First we grouped all the 41 pollen records (small and large basins, lakes and bogs) from the Armorican Massif in order to produce REVEALS estimates at the scale of the whole region. Then, we ran the REVEALS model with data from two smaller-scaled groups composed by the 17 sites (only small basins, lakes and bogs) of the north-eastern area (Mayenne-Vilaine) and by the 15 sites (small and large basins, lakes and bogs) of the south-eastern area (Basse-Loire). The 6 small sites from the southern coast of Morbihan, as well as the 3 small sites from the northern coast of Finistère, were considered as not numerous enough for creating groups which could provide reasonable values of vegetation cover for each Time Window of the Holocene. So, they only participated in the whole Armorican Massif reconstruction of vegetation cover.

B) Estimates of regional vegetation

The total surface of the Armorican Massif is relatively large compared to the areas modelled in the previous vegetation cover studies from multiple small sites (FYFE *et al.* 2013, MAZIER *et al.* 2012, NIELSEN *et al.* 2012), and even from large sites (SOEPBOER *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 2008). Nevertheless, Sugita (2007a) described the REVEALS model as tool designed to reconstruct vegetation cover within 10^4-10^5 km^2. So, with 45×10^3 km^2, the whole Armorican region represents only the half of the theoretically possible reconstruction area.

REVEALS-based estimates of the regional vegetation composition (see Fig. 31) show a consistently lower percentage cover than mean pollen percentages of the Armorican Massif would suggest for *Alnus*, *Quercus*, *Pinus*, *Betul*a, *Artemisia*, *Rumex acetosa*, and *Filipendula*. Inversely, REVEALS estimates are higher than pollen percentages for *Tilia*, *Fagus*, Poaceae, *Cerealia* type, and to a less extent *Secale* type, *Plantago lanceolata*, *Plantago media*, *Calluna vulgaris*, *Picea* and *Abies*. Finally, percentage covers seem similar for both modelled vegetation and pollen counts for *Ulmus*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Salix*, *Juniperus* and *Carpinus*. One of the main differences between pollen percentages and REVEALS estimates is that *Alnus* appears not to be a dominant taxon in the REVEALS estimates during the second half of the Holocene. Also, *Tilia* seems to be more important in the REVEALS estimates during the mid-Holocene than in pollen percentages. Thus, the proportions of Poaceae and cereals are largely increased since the beginning of the Neolithic compared to pollen percentages, which supposes a more opened landscape and a stronger impact of the populations on their environment.

The succession of the different taxa observed in the REVEALS-based estimates of vegetation cover through the Holocene presents a common well-known pattern compared with previous reviews of pollen-analytical studies within the region (BARBIER 1999, CYPRIEN 2001, GAUDIN 2004, MARGUERIE 1992, OILLIC 2011, OUGUERRAM 2002). This general pattern is also consistent with the vegetation's history of the neighbouring region of the Paris Basin (LEROYER 1997).

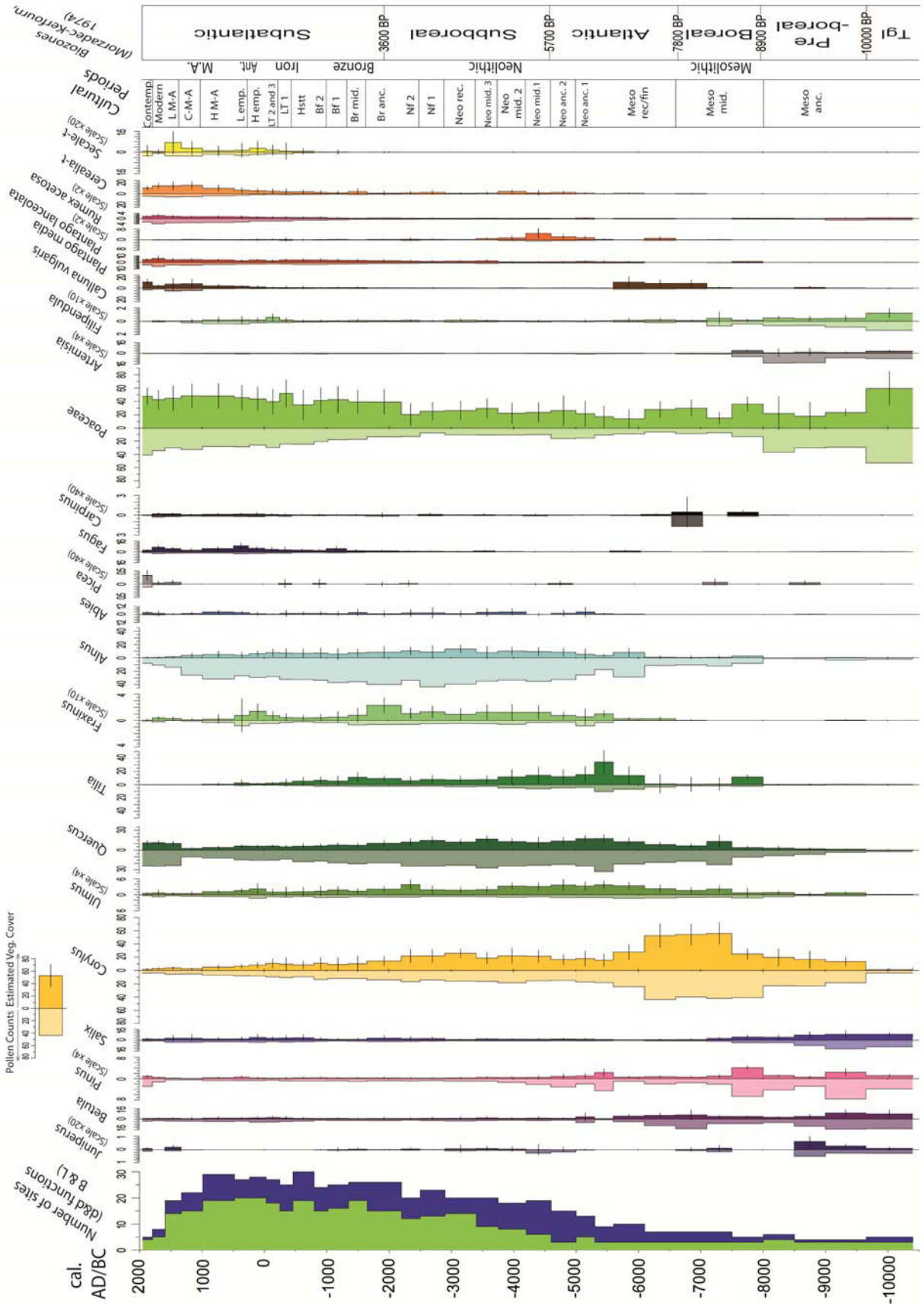


Fig. 31: Comparison of mean pollen percentages (faded bars) and REVEALS-based estimates of the Holocene regional vegetation cover (non-faded bars) for 23 taxa of the Armorican Massif.

The dominant tree taxa of the earliest Holocene, *Pinus*, *Betula*, *Salix*, *Juniperus*, associated with a large part of Poaceae and some *Artemisia* and *Filipendula*, are slightly decreasing until 7100 cal. BC, even if *Pinus*, *Salix* and *Betula* are still presents until nowadays. *Corylus*, as a pioneer taxon, is the first to occupy the vacated place, before its replacement by characteristics taxa of European temperate deciduous forests, *Quercus* and *Tilia* and in a less extent *Ulmus*, *Fraxinus*. *Calluna vulgaris* also benefits of the environmental changes and briefly settle before a rapid decline. The following tree-spreading results in a decrease of Poaceae in the total land cover. Until the beginning of the Neolithic period (5300 cal. BC), the Poaceae's dynamic is more irregular and most of the tree taxa begin to decrease. This may reflect the possible impact of early agro-pastoral groups on their near environment. The growing presence of *Cerealia* type, associated with others indicators species of human activities (BEHRE 1981,1986) such as plantains and *Rumex acetosa*, seems consistent to this hypothesis. Only *Alnus* continues to grow until the end of the Neolithic period, which argues for more humid edaphic conditions, but appears to be also affected with a delay from around 2500 cal. BC. Then, from this epoch to the modern times, the proportions of Poaceae, cereals (*Cerealia* type and also *Secale* type since 800 cal. BC) and others anthropogenic indicator species continuously increase, with some irregularities. *Calluna vulgaris* also expends in the Armorican Massif. Conversely, all tree taxa keep on decreasing, except *Abies*, *Fagus* and *Carpinus*.

C) Estimates of sub-regional vegetation

a) Vegetation cover of the Mayenne-Vilaine area

Whit a total surface of 14 000 km^2, the Mayenne-Vilaine area is similar to most of the previously modelled landscapes using large sites (SOEPBOER *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 2008) or multiple small sites (FYFE *et al.* 2013, MAZIER *et al.* 2012, NIELSEN *et al.* 2012). The mean elevation of the sites from this area is 125 m, due to the hilly eastern part of the Mayenne department. The REVEALS input parameters are the same than previously (PPEs, FSPs, multiple basins, bogs and lakes) and thus the impact of the model on taxa proportions is similar than for the whole Armorican Massif.

The Holocene succession of the different taxa observed in the REVEALS-based estimates of the Mayenne-Vilaine area (see Fig. 32) appears consistent with the whole Armorican REVEALS estimates, and with previous reviews of pollen-analytical studies within the region (BARBIER 1999, GAUDIN 2004, MARGUERIE 2009). However, we can distinguish significant differences in some dominant taxa proportions.

The Early Holocene is still dominated by *Pinus*, *Betula*, *Salix*, *Juniperus*, associated with Poaceae, *Artemisia* and *Filipendula*, but their proportions are slightly higher in this restricted area than in the whole region. In the same way, the major development of *Corylus* between 9650 and 6100 cal. BC, caused a rapid decline in Poaceae's proportions and also masking the slower increases of *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia* and *Fraxinus*. *Calluna vulgaris* shows an important, but brief, development between 7500 and 5600 cal. BC. After reaching its minimum around 6100 cal. BC, the Poaceae's curve presents a very disturbed pattern during the Neolithic period between 5300 and 2200 cal. BC. During all this first part of the Holocene the variations of the Poaceae's proportions mainly respond to the evolution of *Corylus*. Even if they are already presents since around 8000 cal. BC, *Alnus* and *Tilia* starts to be some of the dominant taxa only after 6100 cal.

BC and the decline of *Corylus*. Simultaneously to *Rumex acetosa*, *Cerealia* type development is slow between 4600 and 800 cal. BC and then accelerates until the present days. Since around 1000 cal. BC, the general decrease of all woodlands taxa, except *Fagus* and *Abies*, leads to a near constant increase of Poaceae's proportions. After 1350 cal. AD, the rise of *Fagus* and the *Quercus* return to relatively large REVEALS estimates, leads to a slight decline of Poaceae's percentages. *Secale* type shows very small proportions between 800 and 30 cal. BC, then more importants ones but with a gap between 475 and 1000 cal. AD, and finally declines after 1600 cal. AD. *Calluna vulgaris* appears for a second short period and rises all along the last millennium.

b) Vegetation cover of the Basse-Loire area

With a total surface of 12 000 km^2, the Basse-Loire area is really near to the surface of the Mayenne-Vilaine area, and also similar to the surfaces of the previous REVEALS studies. Most of the selected sites come from the vast alluvial plains around the Loire river or its tributaries, so the mean elevation is only 7.5 m. The REVEALS input parameters are still the same than previously (PPEs, FSPs, multiple basins, bogs and lakes) and thus the impact of the model on taxa proportions is also similar than previously.

The vegetation cover general pattern of the Basse-Loire area (see Fig. 33) during the Holocene is also consistent with the whole Armorican REVEALS estimates, and with previous reviews of pollen-analytical studies within the region (BERNARD 1996, CYPRIEN 2001, GAUDIN 2004, OUGUERRAM 2002, VISSET 1979). However, in this area too, there are some differences in dynamics and proportions details of the reconstructed taxa.

First of all, there is no selected pollen record within the Basse-Loire area which describes the two firsts time windows of the earliest Holocene, and not either the last one. So this diagram starts only after 9000 cal. BC, with a 1400 years delay compared to the two others, and finishes 150 years sooner at 1800 cal. AD. Between 9000 and 6100 cal. BC, only one medium-sized site (Poupinière: radius size = 620 m) is available, which strongly argues for caution with the results for this period.

From 9000 to 8000 cal. BC, Poaceae and *Artemisia* represent nearly all the vegetation cover estimates. After 8000 cal. BC, the common group of *Pinus*, *Betula* and *Salix* occupy a good part of the total land cover, but *Tilia* seems to be already present in very important proportions, as for *Alnus* in a less extent. The REVEALS estimates of *Corylus* are low, compared to the Mayenne-Vilaine area at this time. *Abies* is continuously observed in the REVEALS estimates since 6100 cal. BC, even if its proportions are relatively low. Until 5300 cal. BC, *Cerealia type* associated with *Rumex acetosa* appears and initiates a general development, interrupted by downturn phases. The general decrease of most of the tree taxa proportions after 5300 cal. BC leads to a slight increase of the Poaceae's land cover estimates. But, it's only after 3750 cal. BC, with the large decrease of *Tilia*, that the rise in Poaceae's proportions occurs. Since 1000 cal. BC, all the woodland's taxa, except *Fagus* and *Abies*, decline. Inversely, the parts of *Cerealia* type and *Rumex acetosa*, which presented an irregular pattern between 5300 and 1350 cal. BC, increase continuously and regularly until the end of the record. *Secale* type is also observed until the modern times, with an early appearance at 800 cal. BC and a decline between 475 and 1000 cal. AD.

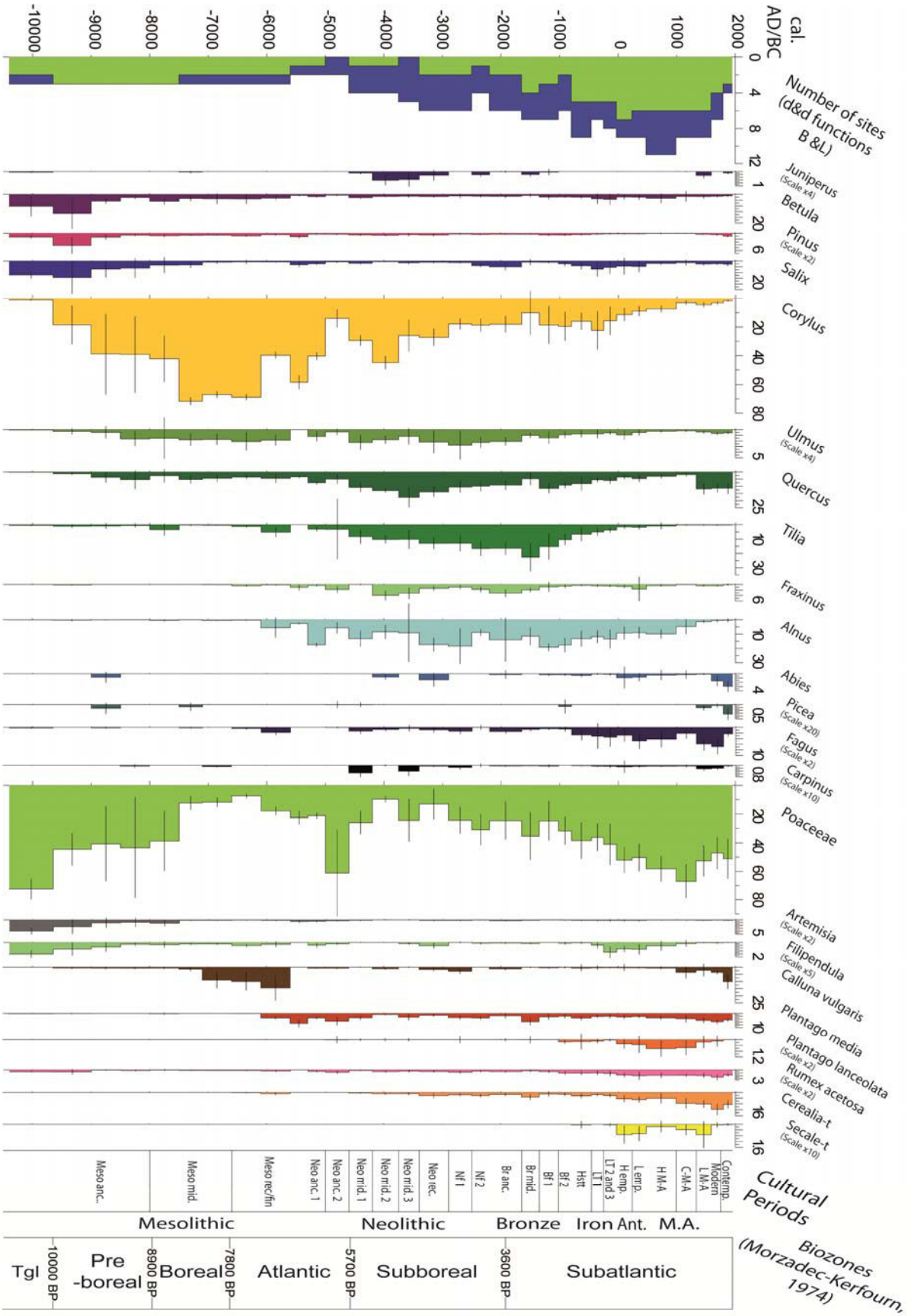


Fig. 32: Estimated Holocene sub-regional vegetation cover for the Mayenne-Vilaine area derived from the REVEALS model.

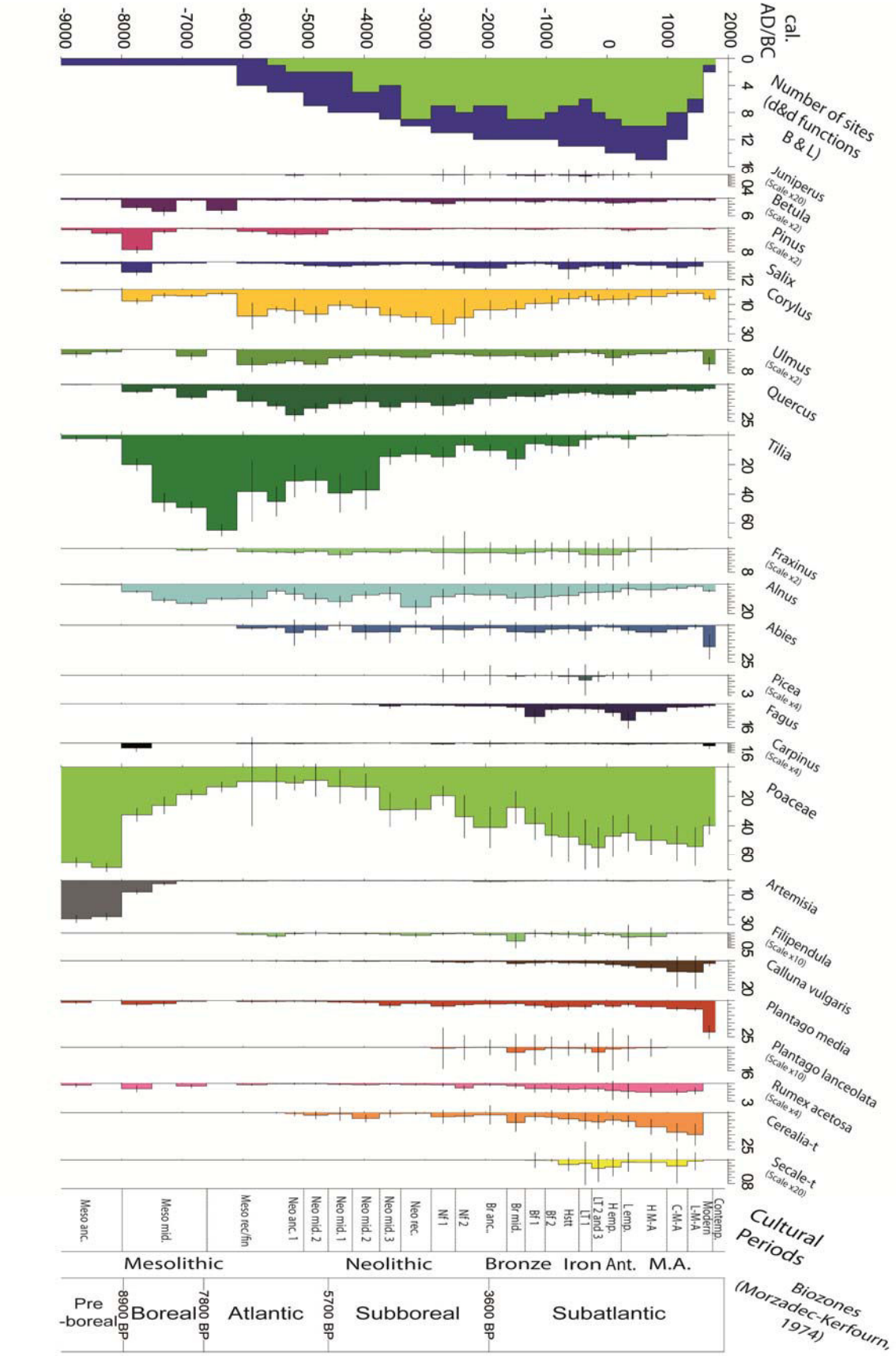


Fig. 33: Estimated Holocene sub-regional vegetation cover for the Basse-Loire area derived from the REVEALS model.

III - Discussion

A) Spatial and temporal heterogeneity of vegetation cover

The REVEALS estimates of vegetation cover show substantial differences between both sub-regional areas, even if the general pattern seems to be the same during the Holocene. The distinction between northern and southern areas of the eastern part of the Armorican Massif has been recognized for many years through studies based on pollen percentages (BARBIER 1999, BERNARD 1996, CYPRIEN 2001, MARGUERIE 1992,2009, MORZADEC-KERFOURN 1974, OILLIC 2011, OUGUERRAM 2002, VISSET 1979, VOELTZEL 1987), but the REVEALS-based reconstructions allows us to quantify the differences between these both vegetation covers. Furthermore, it has been demonstrated, through simulation experiments, that trends apparent within the pollen percentage data are not always replicated within the reconstructed vegetation cover (FYFE 2006). This property is due to the non-linear relationship between pollen percentage data and vegetation cover (SUGITA *et al.* 1999).

During the first half of the Holocene, *Corylus* is the dominant taxa in the landscape of the Mayenne-Vilaine area, while *Tilia* is the dominant taxa in the Basse-Loire area. The under-representation of *Tilia* within pollen percentages, even known by pollen analysts, masked the main role played by this taxon in the vast plains along the Loire river. The only core from a medium basin (620m) used for the REVEALS runs between 9000 and 6100 cal. BC suggests caution but, with 4 to 8 pollen stratigraphies until 3750 cal. BC, the estimates of 30-40% within the landscape for the next time windows seems to be more reliable. The proportions of *Tilia* for the same period in the Mayenne-Vilaine area do not exceed 10%. The large proportions of *Corylus* between 9650 and 4600 cal. BC within the Mayenne-Vilaine area are also open to criticism, due to the few number of pollen records (2 to 3 small basins). With some more pollen data (4 to 6 small basins), the REVEALS estimates of *Corylus* between 4600 and 800 cal. BC (20-45%) appears to be more consistent to the values from the Basse-Loire area but still higher than them (12-25%). This situation continues until the end of the Holocene (MV: 10-20% ; BL: 5-15%) with more and more pollen data used for the REVEALS runs, arguing for a real geographical impact on *Corylus* vegetation cover. The part of Poaceae in the total land cover is rather higher for Basse-Loire than for Mayenne-Vilaine between 9000 and 30 cal. BC, and then the situation is reversed until nowadays. The proportions of *Cerealia* type are generally higher in Basse-Loire than in Mayenne-Vilaine since their first occurrences during the Neolithic period. *Fagus* seems more developed in Mayenne-Vilaine than in Basse-Loire during the last 1500 years before present but for previous time windows the results are nearly similar for both areas.

Concerning the others taxa, there are no such notable geographical variations in terms of proportions, but some temporal variations can be observed within the results. Thereby, relatively high proportions of *Alnus* can be noticed in the Basse-Loire area between 8000 and 6100 cal. BC, while the taxon is nearly absent from the Mayenne-Vilaine area. *Calluna vulgaris* starts to grow earlier in the southern area, with 2 to 4% from 1650 cal. BC to 1000 cal. AD in Basse-Loire, while these ratios are reached only after 1000 cal. AD in Mayenne-Vilaine. For *Secale* type, the first occurrences are observed nearly 800 years earlier in the Basse-Loire area than in Mayenne-Vilaine (BL: 800 cal. BC; MV: 30 cal. BC). Also, significant amounts of *Cerealia* type pollen are found since 5300 cal. BC within the Loire valley and only after 4200 cal. BC in the northern area of Mayenne-Vilaine, with a 1100 years delay.

In spite of these several discrepancies, the both areas also present numerous points of concordance in the vegetation cover of the both areas, i.e. the rapid decline of Poaceae, and *Artemisia* in a less extent, between 8000 and 7500 cal. BC. Then, from 7500 to around 5000 cal. BC, Poaceae proportions reach a minimum. Also, the decline of woodlands is perceptible for most of the taxa since around 2500 cal. BC, and for all of them from 1350 cal. BC. *Tilia* seems to disappear from pollen counts after 475 cal. AD. Finally, the general patterns of *Cerealia type* and *Rumex acetosa* are irregular between their first occurrences and around 1650-1350 cal. BC, then the increase is nearly continuous from each time window to the next one.

The origins of the spatial and temporal heterogeneity of the results may be found in a range of simple and/or complementary variables, which are derived from the input data and the model parameters. For example, biotic and abiotic factors such as climate, soils composition, and competition between species may affect the local to regional vegetation cover patterns.

The broad background to the vegetation composition is provided by the general pattern of tree-spreading (MORZADEC-KERFOURN 1974). Nevertheless, some authors presented earlier occurrences of different tree and/or cereals taxa and argued for possible refugia within the southern part of the Armorican Massif (BERNARD 1996, CARCAUD *et al.* 2000, VISSET 1985, VOELTZEL 1987). However, the radiocarbon dates which support this hypothesis are still being discussed in the pollen-analysts community (BEHRE 2007,2008, BRUN 2011, GAUDIN 2004, TINNER *et al.* 2008, VISSET *et al.* 2004).

Topographical differences between uplands and lowlands emphasize these variations of edaphic and climatic conditions between sites. Thus, the 125 meters mean elevation of the Mayenne-Vilaine area, compared to the 7.5 meters mean elevation of the Basse-Loire area, induces a series of environmental constraints in the vegetation cover.

The human impact on the environment constitutes also a non-negligible disturbance factor since the development of agro-pastoral activities, i.e. with deforestation practices like slash and burn farming (GEBHARDT & MARGUERIE 2006, VUORELA 1976). As showed in other regions of France, fire could also be used to create open pasture spaces (RIUS 2010, VANNIÈRE *et al.* 2011), even since the beginning of the Neolithic period in some areas (RIUS *et al.* 2012). But, these practices appear to be still related to the climatic conditions and combustible availability (WHITLOCK *et al.* 2010). A positive influence of agro-pastoral activities on the development of certain tree taxa (*Fagus*, *Corylus*) is also suggested by Rius (2010). Anthracological studies demonstrated that the wood's need for supplying ovens, with more and more sampling within the forests, leads to an increase of heliophilous taxa like *Corylus*, *Betula* or *Juniperus* (GAUDIN 2004, MARGUERIE & HUNOT 2007). Since the second part of the Iron Age, human pressure on the woodlands was that strong that it induced a decrease in woodland cover and the development of heath lands (AUDOUZE & BÜCHSENSCHUTZ 1989).

Using non-ideal sites may also partly induce heterogeneity within the results. Most of the selected pollen records come from small-sized sedimentary basins (12.5 – 750 m) which provide a more local picture of the vegetation surrounding the sites than large basins (≥ 750 m). This property of the small sites leads sometimes to important variations from site to site and increase the standard errors values (SUGITA 2007a) of our REVEALS estimates.

Finally, the combination of anthropogenic, biotic, climatic and others abiotic factors led to similar general patterns of Holocene vegetation cover from both areas of Mayenne-Vilaine and Basse-Loire. However, differences of proportions and dynamics for certain taxa (i.e. *Tilia*, *Corylus*, *Alnus*, *Calluna vulgaris*, *Cerealia type*) allow distinguishing between the two areas, especially during the first half of the Holocene.

B) Past landscape/woodland openness in Mayenne-Vilaine and Basse-Loire

Due to the choice of non-grouping results into PFTs, the landscape/woodland openness evolution is not directly shown in the diagrams (see Fig. 31, Fig. 32 and Fig. 33) representing the Armorican REVEALS estimates. Considering the relatively very low values of all the rest of the non-trees taxa compared to those of Poaceae, we assume that this taxon is a good approximation for describing the general pattern of landscape openness. One of the criticisms that could be made to our approach is the influence of wetlands on the total landscape openness, which are partly absents of the results because of the exclusion of *Cyperaceae*. Nevertheless, some of the species grouped within the Poaceae's PPE can be found in wetlands and *Filipendula* also presents some affinities with humid areas. Overall, Poaceae's proportions form a minimal approximation for the supposed whole extent of past landscape/woodland openness.

Compared to pollen percentage values, REVEALS estimates of Poaceae provide a significantly higher level of landscape/woodland openness for the whole Armorican Massif all along the Holocene (see Fig. 31). This under-representation of open vegetation cover in pollen data has been recognized for many years (ANDERSEN 1970) and Sugita *et al.* (1999) considered the "classical" use of NAP proportions as inappropriate for its quantifying because of the non-linear relationship between pollen percentages and vegetation cover. Indeed, the degree of landscape openness, the spatial spread of vegetation patches, the species composition in individual vegetation patches, and regional pollen production and transport may affect the pollen percentages within a site (SUGITA *et al.* 1999). Then, it was showed that the REVEALS estimates of open land covers were twice to five times higher than the NAP percentage values (GAILLARD *et al.* 2010, SUGITA *et al.* 2008). Many others studies from different European regions (FYFE *et al.* 2013, HELLMAN *et al.* 2008a, NIELSEN *et al.* 2012, SOEPBOER *et al.* 2010) also argued for an under-representation of landscape/woodland openness within pollen percentages. They suggested a maximum extent of open vegetation cover up to 40% on the western Danish coast (NIELSEN *et al.* 2012), 41 % on the Swiss Plateau (SOEPBOER *et al.* 2010), 50 to 90% in England, 60 to 90% in Ireland, 80 to 95% in Scotland and near to 100% in the western isles of Scotland (FYFE *et al.* 2013).

Regarding to the proportions of Poaceae for the whole Armorican Massif (see Fig. 31), the under-representation of this taxon in pollen percentages is significant but no such as described by Sugita *et al.* (2008), probably due to the exclusion of *Cyperaceae* from pollen counts. However, REVEALS estimates of vegetation cover for Poaceae reach values near to 70% at the beginning of the Holocene and finish at around 50 to 60% at its end in the three reconstructions (see Fig. 31, Fig. 32 and Fig. 33). These proportions are higher than mean pollen percentages obtained by Gaudin (2004) using the entire dataset of pollen-analytical studies within the Armorican Massif.

They are particularly higher for the beginning of the Holocene and lesser at its end. However, with the addition of the others NAP taxa values (i.e. *Cerealia type*: 8-15%, *Calluna vulgaris*: 5-10%, *Plantago media*: 5-7%) which are absents from the records between 10500 and 8000 cal. BC, the total extent of open lands seems quite similar during the first and the last part of the Holocene.

The extent of Poaceae within the total vegetation cover is minimal between 7500 and 3750 cal. BC (BL: 10-20%, MV: 10-22%, MA: 15-30%) with a correlative maximal extension of the woodlands. Then, the general trend of an increase in Poaceae's proportions between 3750 and 30 cal. BC appears clearly slower and irregular than the rapid decline that occurred between 8000 and 7500 cal. BC. A possible explanation for such irregularity within the continuous trend could be the addition of anthropogenic disturbances over a longer term as a source of variability. Climate trends or landscape opening under the grazing pressure of large animals (VERA 2000) may be good candidates in the genesis of such long term trends within the vegetation cover.

These results have a series of implications for understanding the mechanisms of land cover-climate interactions in terms of biophysical and biogeochemical feedbacks. The higher REVEALS estimates of landscape/woodland openness than within pollen percentages have also an impact on climate models results through the induced changes in albedo values for those regions.

C) Limitations of the work

Within the dataset, some geographic biases could be noticed such as the lack of sites for the central part of the peninsula or, inversely, the agglomeration of sites along the Loire river which leads to an over-representation of a certain type of ecological areas. The selection of the sites within each sub-regional group may also results in a zonation effect described by Jelinski and Wu (1996) as the Modifiable Areal Unit Problem. Indeed, different selections of sites within a group, and thus the scale of this group, will provide some different results of vegetation cover estimates. The aggregation of multiple sites itself leads to smoothing the local-scale variability. The topographical variations between the sites from the Mayenne-Vilaine area (18 to 270 m) can be regarded as a heterogeneity factor within the results.

Temporal biases are also encountered within the results. As for geographical aggregation of multiples sites within spatial groups, the aggregation of multiple samples within time windows leads to overlook the possible short-term variations by smoothing the results for a time interval. The REVEALS estimates are more reliable using samples from several coarse pollen records than using samples from only one higher resolution record (HELLMAN *et al.* 2008b, MAZIER *et al.* 2012). This emphasizes the caution given to the analysis of the results between 10400 and 4600 cal. BC for the Mayenne-Vilaine area (2 to 3 sites) and between 9000 and 6100 cal. BC for the Basse-Loire area (only 1 site).

Conclusions

Based on previous successful attempts to reconstruct regional vegetation covers from different parts of north-western Europe using multiple sites of variable sizes (FYFE *et al.* 2013, MAZIER *et al.* 2012, NIELSEN *et al.* 2012), we applied here the REVEALS model within a region where none pollen-based quantitative reconstruction of past vegetation cover had been achieved yet. We produced REVEALS estimates at two different geographical scales, the whole Armorican Massif region and two smaller-sized sub-regions.

The main outcomes of the study are (i) the similar general pattern of both sub-regional vegetation covers which mainly results from the tree-spreading of the different species through the Holocene under climate trends, (ii) but with significant variations concerning some taxa (e.g. *Corylus*, *Tilia*, *Cerealia* type) which highlight a range of natural and/or anthropogenic smaller-scaled influences, (iii) the higher values of landscape/woodland openness in all three cases than those directly derived from pollen percentages, particularly for the beginning of the Holocene.

Reconstructing the vegetation composition within a region, or within different parts of a region, is the first step for estimating the potential vegetal resources available for the prehistoric communities. Also, determining anthropogenic influences on past vegetation covers enhances our understanding of the evolution of relations between societies and their environment. The total surface covered by open landscapes has implications for climate modellers, due to the impact of its extent on land cover-climate feedbacks such as albedo and sources/sinks of greenhouse gases (GAILLARD *et al.* 2010).

After the first LRA-based study realized by Mazier (2006) in the Jura mountains, the present paper and another application of the REVEALS model for the neighbouring region of the Paris Basin (DAVID *et al.* in prep.-b, LEROYER *et al.* 2012) constitute some new developments of vegetation cover reconstructions in France. Currently, the realization of a new set of PPEs related to the landscapes of the Armorican Massif is in progress (Farrell *et al.* in prep.). This study will provide us some theoretically more appropriate PPEs values for estimating the vegetation cover from our study area.

2.3 - MODIFICATIONS DU COUVERT VEGETAL ESTIME ET SIGNAL ARCHEOLOGIQUE

La mise en relation des activités anthropiques et des changements de végétation opérée pour le Bassin parisien repose sur l'étude systématique des occurrences de sites archéologiques, à proximité plus ou moins importante, des points de sondages polliniques pour les différentes périodes considérées. Les séquences polliniques de cette région se prêtent particulièrement bien à cet exercice, du fait de l'approche initialement mise en place par (LEROYER 1997, LEROYER & ALLENET DE RIBEMONT 2006a) lors de l'acquisition des données, consistant à travailler de concert avec les archéologues sur le terrain. Les données issues des travaux réalisés en Massif armoricain ont été obtenues au travers d'une approche différente, plus centrée sur la dimension naturelle des changements de végétation. Par conséquent, le type d'approche mêlant à la fois l'étude de sites archéologiques et les enregistrements polliniques environnants n'a pas été employé par les différents palynologues armoricains. Les données nécessaires à l'établissement de liens, géographiques et chronologiques, avec les sites archéologiques mis au jour dans la région ne sont donc pas disponibles concernant les séquences du Massif armoricain étudiées dans cette thèse. Ces liens ne sont donc pas développés ici.

Toutefois, les informations regroupées par Kerdivel (2009) dans sa thèse, traitant de l'occupation de l'espace et de la gestion des ressources naturelles à l'interface entre Massif armoricain et Bassin parisien par les populations du Néolithique, ainsi que celles rassemblées par le biais d'une (forcément très superficielle et loin d'être exhaustive) synthèse bibliographique concernant la période allant du Mésolithique à l'âge du Bronze, nous ont tout de même permis de discuter de ces thèmes dans la partie suivante, en regard des propositions faites précédemment pour le Bassin parisien.

TROISIEME PARTIE : Synthèse générale

Dans la partie précédente, la chronologie des séquences polliniques du Bassin parisien et du Massif armoricain a été reconstruite au travers de l'établissement de modèles d'âge relatifs à chacune de ces séquences. Ces modèles d'âge ont par la suite permis d'intégrer les données polliniques dans des modélisations du couvert végétal pour chaque région ou sous-région. Les diagrammes de végétation estimée ainsi obtenus ont été comparés aux proportions polliniques originelles qui ont été utilisées pour chaque modélisation. La méthode employée, la composition du panel de données, l'étendue de l'aire modélisée ont été discutées en termes d'impact de l'ensemble de ces facteurs sur les résultats de chaque modèle.

Dans cette troisième partie de notre thèse, l'objectif est maintenant de synthétiser les résultats obtenus pour les deux principales zones d'étude afin de mettre en évidence les principaux traits de l'histoire de la végétation de chaque région. La zonation des diagrammes de végétation estimée nous a paru un moyen efficace de souligner les grandes étapes de changement de la végétation, au sein des variations complexes de chacun des taxons considérés sur l'ensemble de l'Holocène. Le détail de ces zonations de la végétation estimée est décrit en sous-partie *1*.

La confrontation de ces histoires permet alors de déterminer leurs domaines de convergence principaux, mais également leurs points de divergence. Les méthodes qui ont été employées lors de chaque reconstruction du couvert végétal ont, directement ou indirectement, des conséquences sur les résultats obtenus. Les zonations établies pour chacune des deux régions ainsi que la comparaison de leurs chronologies respectives sont discutées en sous-partie 2, en regard des méthodes utilisées et de leurs conséquences sur ces zones.

De la confrontation des résultats obtenus pour chacune des deux régions étudiées, des enseignements peuvent également être tirés quant à la nature, l'intensité et l'évolution de l'impact anthropique des populations présentes dans chacune des zones géographiques et pour chaque période. La pertinence des estimations dépendant du nombre de séquences disponibles pour chaque fenêtre temporelle, la comparaison des diagrammes de végétation estimée du Bassin parisien et du Massif armoricain reste limitée dans cette synthèse à l'intervalle de temps 5600-800 cal. BC qui couvre la toute fin du Mésolithique, l'ensemble du Néolithique et l'âge du Bronze pour ces deux régions. La relation entretenue entre les populations et leur milieu est discutée en sous-partie 3, à partir des informations archéologiques qui ont pu être rassemblées pour le Bassin parisien et le Massif armoricain.

1. ZONES DE VEGETATION ESTIMEE REGIONALES

Les Zones d'Assemblage Pollinique Régionales (ZAPRs) sont établies à partir des variations de proportions polliniques observées dans les diagrammes de végétation estimée. Pour établir une limite de zone, un minimum de deux taxons majeurs doivent voir leurs pourcentages varier de façon notable entre deux échantillons successifs ou leurs dynamiques être clairement modifiées (CUSHING 1963, HEDBERG 1976, WATTS 1970). A l'intérieur de ces ZAPRs, des sous-zones peuvent être distinguées en fonction de changements d'ordre inférieur. De la même manière, nous proposons ici de mettre en évidence les grandes étapes de la végétation, telle que reconstruite par le biais du modèle REVEALS, en structurant l'évolution du couvert végétal du Massif armoricain et du Bassin parisien en Zones de Végétation Estimée Régionales (ZVERs).

Si la définition des limites de zones à partir de chaque diagramme de végétation estimée suit la même procédure que pour un diagramme pollinique classique, la démarche employée ici souscrit néanmoins à une logique différente. En effet, celle-ci ne relève pas d'une stratégie ascendante, depuis de nombreuses séquences individuelles vers une unique histoire régionale

de la végétation. En effet, du fait de la portée régionale des proportions estimées par le modèle REVEALS pour chacun des taxons, l'établissement des ZVERs s'effectue ici directement à partir du diagramme régional. De plus, contrairement aux assemblages polliniques définis sur la base de l'ensemble des taxons rencontrés lors des comptages polliniques, les zones établies à partir de la végétation reconstruite reposent uniquement sur les 23 taxons sélectionnés pour la modélisation (cf. II.1.2 et II.2.2). Ces 23 taxons comprennent toutefois la majeure partie des arboréens concourant généralement à la définition des ZAPRs.

Concernant la partie ouest de notre zone d'étude, c'est-à-dire le Massif armoricain, trois diagrammes de végétation estimée ont été réalisés. L'un est construit à partir du rassemblement de l'ensemble des séquences disponibles pour la région (cf. Fig. 31), chacun des deux autres décrit le couvert végétal relatif à une partie seulement de cette région (cf. Fig. 32 et Fig. 33). L'objectif de cette synthèse étant de comparer deux à deux les résultats obtenus pour chacune des deux grandes régions du nord-ouest de la France, nous avons donc fait le choix de concentrer la suite de notre étude sur le diagramme relatif à l'ensemble du Massif armoricain, plutôt que de conserver la séparation entre la zone de Mayenne-Vilaine (MV) et la zone de Basse-Loire (BL). Si l'emploi d'une unique reconstruction du couvert végétal facilite grandement la comparaison avec le Bassin parisien, ceci ne constitue pas un critère suffisant pour abandonner cette partition du Massif armoricain.

Des différences de proportions notables ont été relevées concernant certains taxons au cours de certaines périodes entre les zones de MV et de BL (cf. II.2.2). Cependant, le nombre de séquences renseignant les périodes concernées pour chacune des reconstructions s'avère souvent insuffisant pour pouvoir clairement trancher entre l'hypothèse d'une divergence véritable entre ces deux sous-régions et celle d'un simple biais méthodologique. Ce type d'artefact pourrait en effet être généré par la conjonction du nombre trop restreint de séquences polliniques disponibles et de la dimension modeste des bassins de dépôt dont elles sont issues, générant ainsi une surreprésentation de la végétation située dans l'environnement proche de ces séquences. Ainsi, les différences de proportions importantes, relevées pour *Tilia, Corylus* et *Alnus* entre MV et BL, peuvent être en grande partie attribuées à la pénurie de séquences documentant le début et le milieu de l'Holocène (une seule jusqu'à 6100 cal. BC pour BL et 2 à 3 jusqu'à 4600 cal. BC pour MV) pour chacune des reconstructions du couvert végétal. Néanmoins, si cette différence s'estompe très largement à partir du moment où un panel plus important de profils polliniques participent à la modélisation (après 4600 cal. BC), elle ne disparait pourtant pas totalement par la suite pour *Corylus* et *Tilia*. Une réelle empreinte plus locale de la végétation se traduit donc dans les reconstructions de MV et BL au travers de différences de proportions pour ces deux taxons majeurs, et corrélativement sur la part de Poaceae. En revanche, les proportions de la plupart des autres taxons arboréens s'avèrent assez semblables entre 4600 cal. BC et l'actuel. De plus, les périodes de changements majeurs de végétation qui permettent de délimiter les Zones de Végétation Estimée apparaissent compatibles entre les deux sous-régions. En effet, une assez large concordance entre les dynamiques individuelles de chacun des taxons dans la deuxième moitié de l'Holocène peut être observée dans les deux diagrammes (cf. Fig. 34 et Fig. 35).

En définitive, la perte de précision quant à la spécificité locale de chacune des sous-régions, engendrée par le regroupement des séquences polliniques de ces différentes zones, nous parait mineure en comparaison du gain de fiabilité résultant de la masse plus importante de données entrant en jeu dans la reconstruction du couvert végétal de la région entière. Les dynamiques individuelles des taxons arboréens étant assez proches entre MV et BL, les proportions obtenues pour l'ensemble du Massif armoricain ne semblent pas travestir l'image générale de l'évolution Holocène de la végétation pour ces zones. Le diagramme de végétation estimée pour le Massif toute entier propose donc une moyenne régionale des proportions relatives de chaque taxon dans le paysage qui demeure relativement fidèle aux changements observés dans chacune des deux sous-régions.

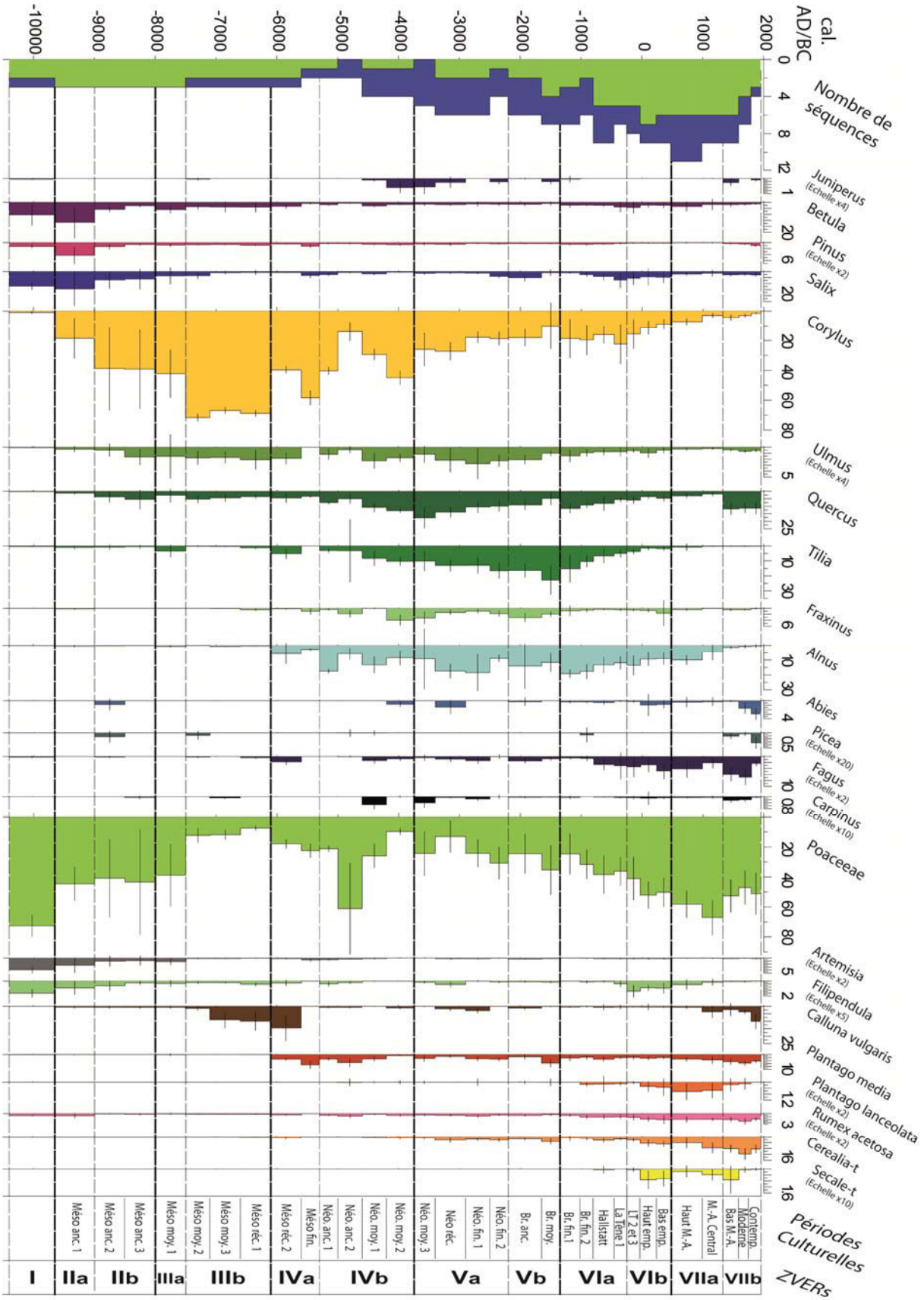


Fig. 34 : Transposition des Zones de Végétation Estimée Régionales du Massif armoricain à la végétation estimée de la sous-région de Mayenne-Vilaine

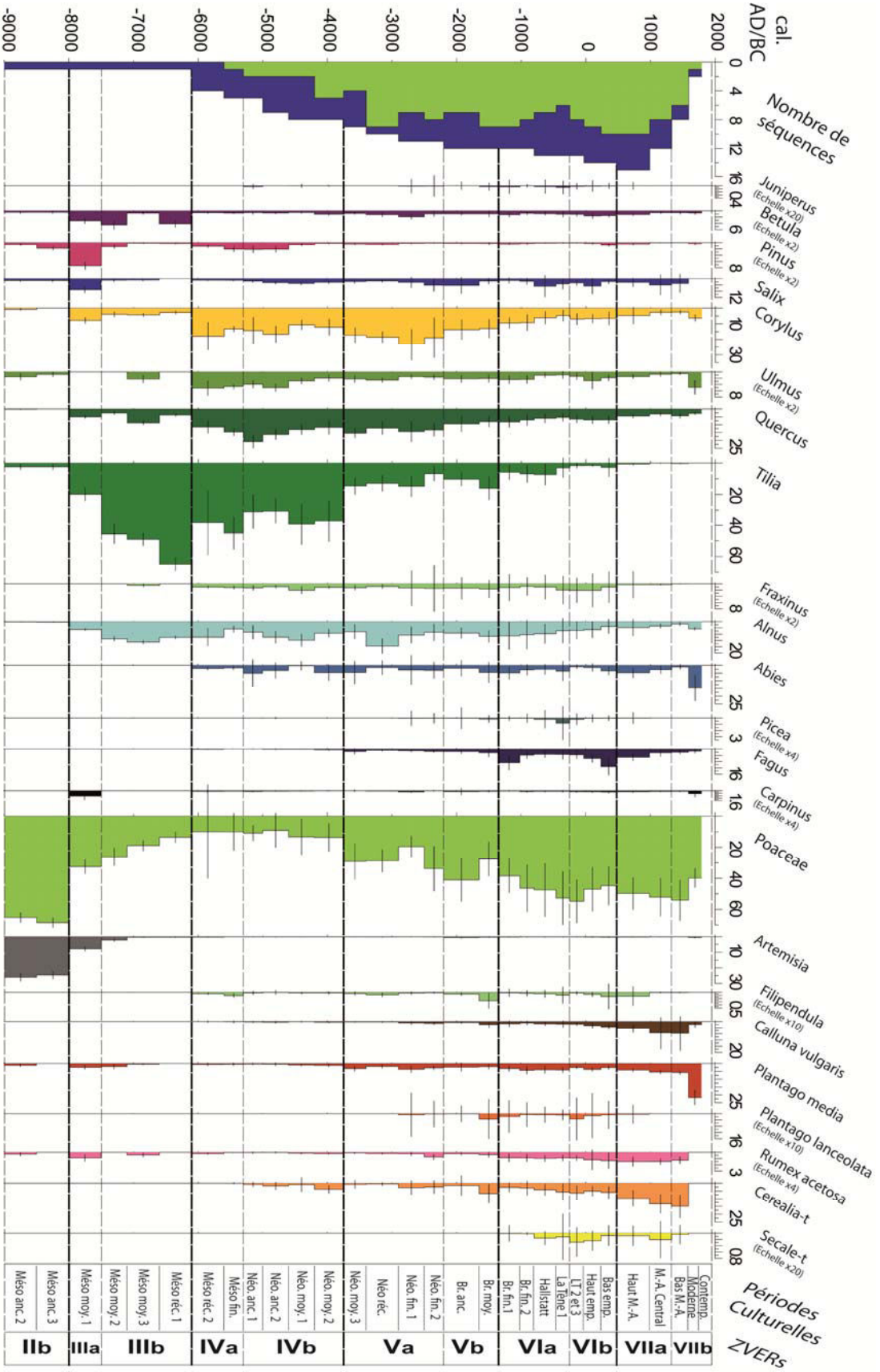


Fig. 35: Transposition des Zones de Végétation Estimée Régionales du Massif armoricain à la végétation estimée de la sous-région de Basse-Loire

Les Zones de Végétation Estimée Régionales (ZVERs) établies pour le Bassin parisien et pour le Massif Armoricain sont présentées et leur signification détaillée respectivement en 1.1 et 1.2. Elles sont numérotées de I à VIII et peuvent être divisées en sous-zones notées a et b. L'attribution de chaque ZVER à l'une des chronozones de Mangerud (1974), reprenant les termes de Blytt et Sernander, ne témoigne absolument pas d'un quelconque lien chronologique entre les ZVERs et la zonation de référence, ou même entre les deux régions étudiées ici. Il s'agît uniquement d'une facilité sémantique permettant de discuter plus simplement de ces zones. Chacune est associée à une image générale de la végétation régionale dont les principaux traits caractérisent les grandes étapes de l'évolution du couvert végétal holocène qui peuvent être retrouvées d'une région à l'autre mais qui n'empêchent cependant pas d'observer certaines variations inter-régionales.

Les points communs et divergences des deux histoires de la végétation ainsi obtenues pour chaque partie du nord-ouest de la France sont ensuite relevés en 2.1 et leurs chronologies respectives comparées en 2.2, en regard de l'approche méthodologique mise en œuvre dans chacune de ces régions.

1.1. HISTOIRE DE LA VEGETATION DU BASSIN PARISIEN A PARTIR DU COUVERT VEGETAL ESTIME

La figure 36 représente le couvert végétal holocène du Bassin parisien tel que reconstitué par la modélisation. La zonation appliquée à ce diagramme a été définie selon les critères suivants.

La ZVER I est caractérisée par un rôle encore prépondérant de *Pinus* parmi les ligneux, représentés par *Betula*, *Salix* et *Juniperus*. De fortes proportions de Poaceae témoignent d'une ouverture importante du milieu avec une proportion d'*Artemisia* non négligeable. Cette image d'un paysage marqué par un très faible couvert forestier composé d'espèces tolérant les climats rigoureux, ainsi que les limites chronologiques de cette phase (10400 à 9650 cal. BC), plaident pour une attribution de celle-ci à la fin du Tardiglaciaire.

La ZVER II tranche avec la précédente par une augmentation de la part des taxons arboréens, notamment de *Pinus*, *Salix*, *Betula* et *Corylus*, corrélative d'une diminution des proportions de Poaceae. Cette phase peut néanmoins être divisée en deux sous-zones.

- la sous-zone IIa (9650 à 9000 cal. BC) se marque par l'augmentation de *Pinus*, *Salix* et *Betula*, ainsi que par l'apparition de *Corylus*. La part de Poaceae diminue nettement, tout comme celle d'*Artemisia*.
- la sous-zone IIb (9000 à 8000 cal. BC) voit les proportions des trois ligneux dominants décliner et être dépassées par celles de *Corylus*. *Ulmus* et *Quercus* font quant à eux leur apparition.

La colonisation du milieu par les taxons pionniers héliophiles, l'apparition des premiers taxons forestiers et la diminution de la part de Poaceae manifestent un adoucissement des conditions climatiques. Tout ceci contribue à affecter cette phase, située entre 9650 et 8000 cal. BC, au début de l'Holocène soit au Préboréal.

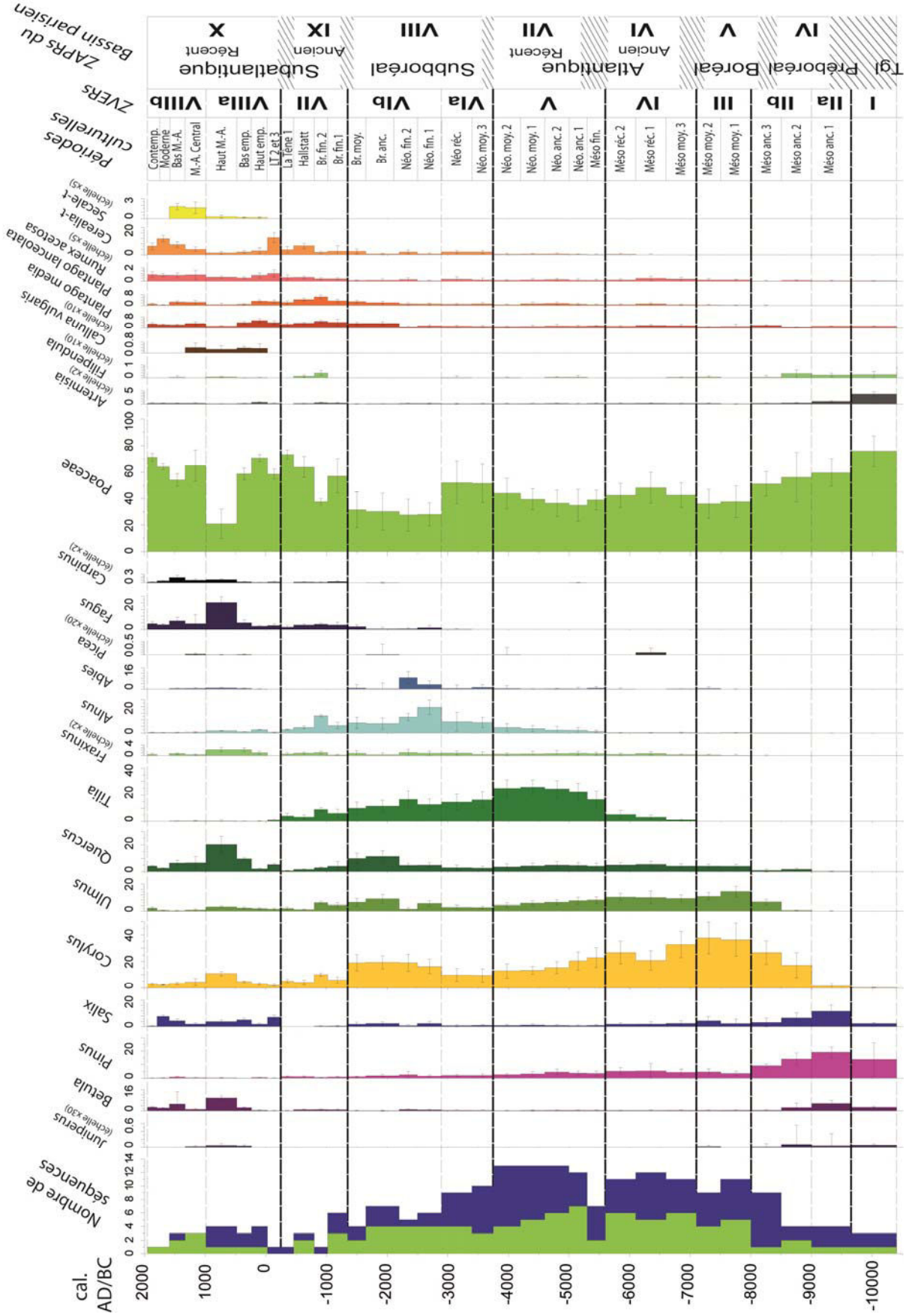


Fig. 36: Zones de Végétation Estimée Régionales du Bassin parisien

La ZVER III consacre la domination de *Corylus* sur le couvert arboréen, suivi par les deux taxons forestiers apparus lors de la phase précédente, *Ulmus* et *Quercus*, qui ont vu leurs proportions augmenter notablement, à l'inverse de *Pinus* et *Salix* qui déclinent. *Fraxinus* apparait tandis que *Betula* et *Juniperus* disparaissent quasiment complètement du couvert végétal estimé, tout comme *Artemisia* et *Filipendula*. La part de Poaceae diminue encore du fait de l'augmentation des taxons forestiers. La fermeture relative du milieu, occasionnée par le remplacement des zones ouvertes par des boisements clairs à *Corylus* et par la densification des boisements à *Ulmus* et *Quercus* permet d'attribuer cette phase s'étendant de 8000 à 7100 cal. BC au Boréal.

La ZVER IV voit l'apparition de *Tilia*, concomitante d'un maintien, voire d'une très légère hausse des proportions de *Quercus* et d'*Ulmus*. Corylus, bien que toujours dominant, cède peu à peu le pas ce qui entraine un regain de la part de Poaceae. Le déclin des boisements clairs au profit des taxons plus forestiers ainsi que l'émergence de *Tilia* contribuent à l'attribution de cette phase comprise entre 7100 et 5600 cal. BC à l'Atlantique ancien.

La ZVER V est marquée par le franc développement de *Tilia* et par l'émergence d'*Alnus*. Hormis *Fraxinus*, l'ensemble des autres taxons arboréens représentés (*Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Pinus*, *Salix*) voient quant à eux leurs proportions s'amenuiser progressivement au cours de la période, ce qui se traduit par une progression constante des proportions de Poaceae. L'affirmation de *Tilia* comme taxon dominant sur l'intervalle 5600 à 3750 cal. BC, associée à l'émergence d'*Alnus*, permet d'affecter cette phase à l'Atlantique récent.

La ZVER VI, s'étendant de 3750 à 1350 cal. BC, est principalement caractérisée par le développement d'*Alnus*. On peut cependant distinguer deux étapes au sein de cette période.

- la sous-zone VIa (3750 à 2900 cal. BC) correspond au minimum de *Corylus* depuis son apparition, à la diminution des proportions de *Tilia* et dans une moindre mesure de *Quercus*, *Ulmus* et *Pinus*. *Alnus* est le seul taxon arboréen à voir sa part augmenter dans le couvert végétal estimé. Les proportions de Poaceae atteignent donc un niveau proche de celles observées durant certaines phases plus anciennes (IV et IIb). Fagus apparait timidement au cours de cette première sous-zone.
- la sous-zone VIb (2900 à 1350 cal. BC) tranche avec un retour de *Corylus*, *Ulmus* et *Quercus* à des proportions importantes et la présence plus affirmée de *Fagus* et *Salix*. Après avoir atteint son maximum, *Alnus* décline, tout comme *Tilia* qui lui était déjà dans cette dynamique. La part de Poaceae tombe à son niveau le plus faible depuis le début de l'Holocène.

Le développement de la ripisylve associé au retour à un milieu relativement plus fermé et à la reprise des taxons héliophiles et forestiers permet d'associer cette phase au Subboréal.

La ZVER VII contraste avec la précédente par le retour de la tendance à la baisse de *Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Pinus* et *Salix*. A l'inverse, les proportions de *Fagus* poursuivent leur augmentation et *Carpinus* fait son apparition. La part des Poaceae bénéficie grandement de ce recul de la majorité des taxons arboréens et revient au niveau atteint durant la phase VIa, puis le dépasse. L'apparition de *Carpinus*, le retour à un paysage très ouvert et le développement de *Fagus* permettent d'attribuer cette phase allant de 1350 à 250 cal. BC au Subatlantique ancien.

La ZVER VIII, qui débute en 250 cal. BC et s'achève à l'actuel, se traduit par la disparition quasi-totale de *Tilia* et *Pinus*, ainsi que par le déclin général de la plupart des taxons arboréens. Elle se divise en deux parties.

- la sous-zone VIIIa (250 cal. BC à 980 cal. AD) est marquée par la diminution des proportions de *Tilia* et *Pinus* jusqu'à des niveaux presque nuls. En revanche, la totalité des autres taxons arboréens connait un regain de croissance entre le début et la fin de cette période, en particulier *Fagus*, *Quercus*, *Betula*, *Salix*, *Corylus* et *Carpinus*. Les proportions de Poaceae s'en trouvent donc diminuées d'autant à la fin de cette sous-zone.

- la sous-zone VIIIb (980 à 1950 cal. AD) voit cette tendance s'inverser et le retour à des proportions très faibles pour l'ensemble de ces taxons arboréens, hormis *Carpinus*. La part de Poaceae atteint alors sont niveau le plus élevé pour l'Holocène, comparable à celui atteint lors de la fin du Tardiglaciaire (phase I).

L'ouverture très nette du milieu associée au développement de *Fagus* et *Carpinus* permet d'attribuer cette phase au Subatlantique récent.

1.2. HISTOIRE DE LA VEGETATION DU MASSIF ARMORICAIN A PARTIR DU COUVERT VEGETAL ESTIME

La figure 37 représente le couvert végétal holocène du Massif armoricain tel que reconstitué par la modélisation. La zonation appliquée à ce diagramme a été définie selon les critères suivants.

La ZVER I est marquée par des proportions notables de *Salix* et *Betula*, supérieures à celles de *Pinus*, *Juniperus* et *Corylus*. Du coté des taxons non-arboréens, la part de Poaceae est très forte et *Artemisia* et *Filipendula* sont bien représentés. Le paysage très ouvert, seulement ponctué de quelques boisements éparses constitués de taxons pionniers héliophiles, dont témoigne ces estimations permet d'attribuer cette phase s'étendant de 10400 à 9650 cal. BC à la toute fin du Tardiglaciaire.

La ZVER II s'étend de 9650 à 8000 cal. BC. Elle est caractérisée par la prépondérance de *Corylus* sur les autres taxons pionniers, ainsi que par la diminution des proportions de Poaceae, *Artemisia* et *Filipendula*. On peut néanmoins subdiviser cette phase en deux parties.

- la sous-zone IIa (9650 à 9000 cal. BC) voit l'émergence de *Corylus* comme taxon arboréen dominant et, dans une moindre mesure, celle d'*Ulmus* et de *Quercus*. Les proportions des autres taxons déjà présents dans la phase précédente augmentent, hormis celles de *Salix* qui restent stables. La part de Poaceae diminue, tout comme celles d'*Artemisia* et de *Filipendula*.

sont relativement stables, seul *Juniperus* progresse.

- la sous-zone IIb (9000 à 8000 cal. BC) contraste par la diminution des proportions de *Salix*, *Pinus* et *Betula*, seul *Juniperus* progresse, tandis que l'augmentation de *Corylus* persiste et que *Quercus* et *Ulmus* accentuent leur présence. Néanmoins, la part de Poaceae remonte du fait du déclin de la majorité des arboréens.

L'augmentation générale de la part des boisements clairs et la diminution de celle des zones ouvertes dans le paysage de cette période permet d'associer la ZVER II au Préboréal.

La ZVER III, qui s'étend de 8000 à 6100 cal. BC, se démarque de la précédente par l'émergence de *Tilia* et d'*Alnus*, la hausse importante des proportions de *Corylus* et la baisse corrélative de celles de Poaceae. On peut distinguer deux parties au sein de cette phase.

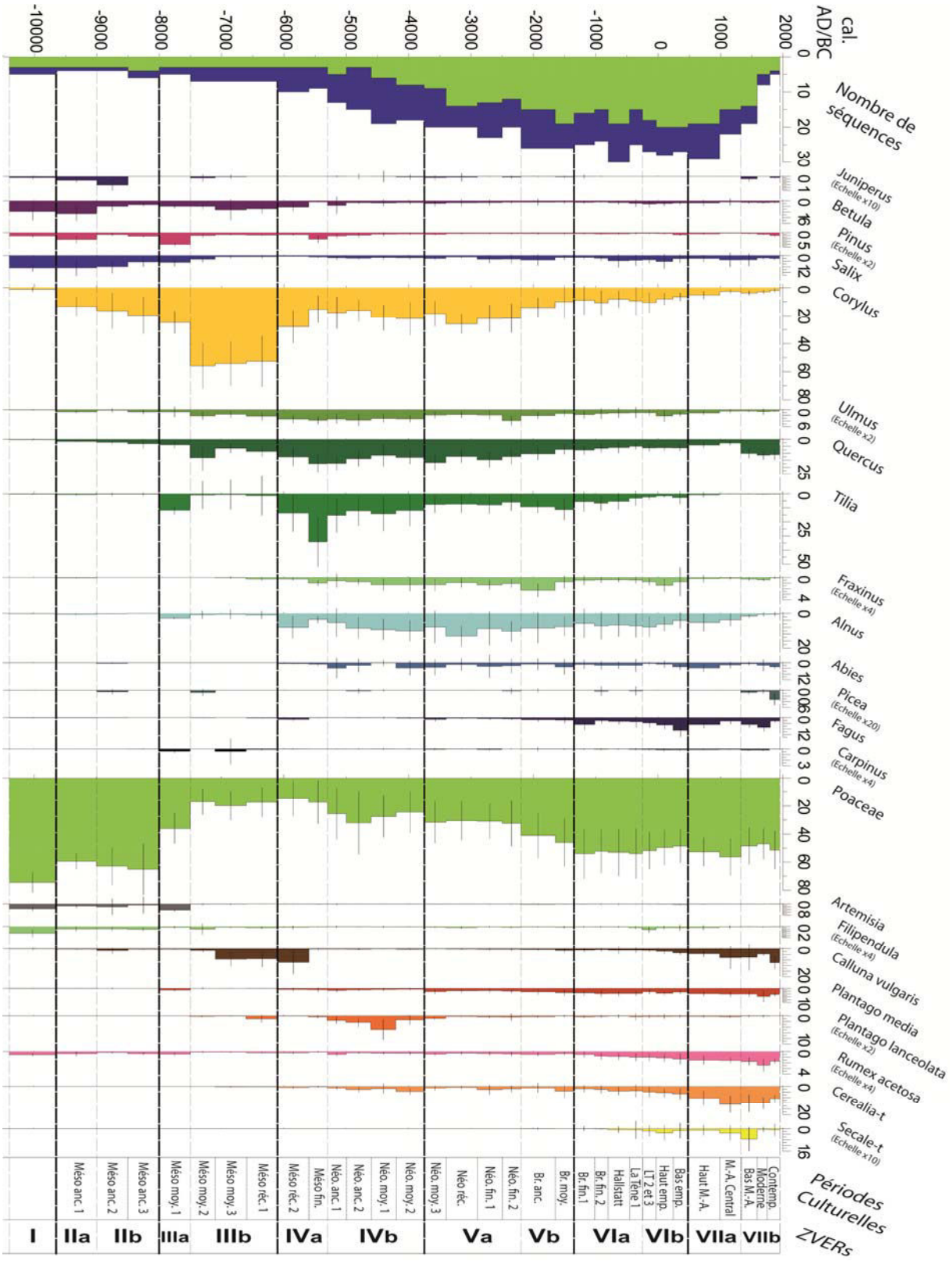


Fig. 37 : Zones de Végétation Estimée Régionales du Massif armoricain

- la sous-zone IIIa (8000 à 7500 cal. BC) voit l'émergence très affirmée de *Tilia,* et dans une moindre mesure d'*Alnus*, associée à une forte baisse de la part de Poaceae. Les proportions de *Corylus* continuent d'augmenter, tandis que la baisse de celles de *Salix*, *Pinus* et *Betula* s'interrompt voire s'inverse dans le cas de *Pinus*. On note également une reprise d'*Artemisia*.

- la sous-zone IIIb (7500 à 6100 cal. BC) se marque par la disparition d'*Artemisia*, la forte hausse des proportions de *Corylus* et celle plus progressive des taxons forestiers, *Ulmus* et *Quercus*. Ceci entraine une baisse de la part de Poaceae. *Pinus* et *Salix* repartent à la baisse, tandis que la part de *Betula* remonte. L'émergence de *Tilia* et d'*Alnus* durant la sous-zone précédente laisse place à un effacement de ces taxons au cours de cette période, mais les forts écarts-types associés révèlent une grande disparité d'une séquence à l'autre.

La prépondérance de *Corylus* sur les taxons arboréens, ainsi que le déclin de la plupart des taxons caractéristiques du tout début de l'Holocène (*Pinus*, *Salix*, *Juniperus*), concourent à l'attribution de la ZVER III au Boréal. On remarque également l'émergence de *Tilia*, *Alnus* et *Fraxinus* au cours de cette ZVER.

La ZVER IV, qui s'étend de 6100 à 3750 cal. BC, correspond au développement des taxons forestiers et de la ripisylve, au déclin rapide de *Corylus*, ainsi qu'à la confirmation du recul des taxons pionniers du début de l'Holocène. On peut toutefois distinguer deux étapes dans cette dynamique.

- la sous-zone IVa (6100 à 5300 cal. BC) témoigne bien de l'augmentation des forestiers comme *Tilia*, *Ulmus*, *Quercus* et *Fraxinus*, mais également de taxons hygrophiles comme Alnus. Parallèlement, les proportions de *Corylus* chutent et celles de *Betula*, *Pinus* et *Salix* demeurent très faibles ou régressent encore. *Abies* apparait très discrètement puis s'affirme plus clairement. La part de Poaceae subit le poids du développement de la plupart des taxons arboréens et atteint son niveau le plus faible de tout l'Holocène.

- la sous-zone IVb (5300 à 3750 cal. BC) marque une stagnation pour bon nombre de taxons, ou du moins un ralentissement dans l'évolution des proportions de chacun d'entre eux. En effet, le développement de *Tilia* est stoppé, tout comme celui de *Quercus* et d'*Ulmus*. Seules les proportions d'*Alnus*, *Corylus*, *Abies* et *Fraxinus* progressent très légèrement entre le début et la fin de cette période. La part de Poaceae progresse donc d'autant, même si cette progression est irrégulière.

Cette phase traduit le passage progressif d'un stade où la part cumulée des taxons arboréens a atteint son apogée en ce milieu d'interglaciaire, à un nouveau stade qui voit le déclin général de la plupart de ces taxons et le retour à des paysages de plus en plus ouverts. L'ensemble de la ZVER IV peut donc être attribuée à un Atlantique, au cours duquel s'individualiseraient un Atlantique Ancien correspondant à la sous-zone IVa et un Atlantique récent correspondant à la sous-zone IVb. Une page se tourne dans la dynamique végétale holocène du Massif armoricain et une nouvelle étape commence avec la ZVER suivante.

La ZVER V couvre la période allant de 3750 à 1350 cal. BC. Elle est caractérisée par le recul des taxons forestiers associé au retour de fortes proportions de Poaceae, ainsi qu'à l'extension maximale d'*Alnus* pour l'ensemble de l'Holocène. On peut la partager en deux étapes.

- la sous-zone Va (3750 à 2200 cal. BC) voit l'émergence d'un nouveau taxon forestier, *Fagus*, qui contraste avec le recul des proportions d'autres forestiers (*Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus*). *Alnus* s'élève jusqu'à ses proportions maximales et *Corylus* connait un léger sursaut. La part de Poaceae s'établit à un niveau légèrement plus élevé que durant la phase précédente.

-la sous-zone Vb (2200 à 1350 cal. BC) se démarque par la baisse des proportions d'*Alnus* et de *Corylus* et par un relatif retour de *Tilia* et *Fraxinus*. Les proportions de Poaceae poursuivent leur augmentation à un rythme plus soutenu que durant la sous-zone Va.

La régression générale des taxons arboréens bien amorcée, ainsi que la part importante d'*Alnus* permettent d'associer l'ensemble de cette ZVER V au Subboréal.

La ZVER VI, allant de 1350 cal. BC à 475 cal. AD, traduit la confirmation de la régression des proportions de la majeure partie des taxons arboréens, enrayée seulement par la progression de *Fagus*. Deux périodes s'individualisent au sein de cette phase.

- la sous-zone VIa (1350 à 250 cal. BC) voit le maintien des proportions de *Corylus* et d'*Alnus*, tandis que celles de *Tilia*, *Quercus*, *Ulmus* et *Fraxinus* diminuent progressivement. *Fagus* et *Salix* quant à eux progressent légèrement par rapport à la phase précédente. La part de Poaceae se maintient à un niveau très élevé, proche de celui connu au tout début de l'Holocène.
- la sous-zone VIb (250 cal. BC à 475 cal. AD) se marque par des changements mineurs mais concomitants dans la dynamique de la plupart des taxons arboréens. Ainsi, la baisse des proportions de *Corylus* et d'*Alnus* reprend après une pause lors de la sous-zone précédente. A l'inverse, celles d'*Ulmus*, *Fraxinus* et *Fagus* remontent discrètement et le déclin de *Quercus* s'interrompt. La part des Poaceae recule très légèrement.

Le développement de *Fagus* et le déclin général des autres taxons arboréens, induisant des proportions très importantes de Poaceae, permet d'attribuer la ZVER VI au Subatlantique ancien.

La ZVER VII s'étend de 475 cal. AD à l'actuel. Elle est caractérisée par la disparition de *Tilia* et par des proportions de taxons arboréens déclinant jusqu'à un niveau extrêmement faible, proche de celui du tout début de l'Holocène. Deux étapes peuvent être perçues au sein de cette phase.

- la sous-zone VIIa (475 à 1330 cal. AD) est marquée par la disparition de *Tilia* et le déclin de tous les autres taxons arboréens, hormis *Salix* et *Abies*. En conséquence, la part de Poaceae augmente encore par rapport à la phase précédente.
- la sous-zone VIIb (1330 à 1950 cal. AD) voit les proportions de *Quercus*, *Fagus*, *Abies*, *Pinus*, *Juniperus* et *Fraxinus* connaitre un dernier sursaut, tandis que *Picea* fait son apparition. *Carpinus*, qui était déjà présent dans d'infimes proportions depuis le début de la phase VI, progresse très légèrement. La part de Poaceae accuse alors un très relatif recul, tout en demeurant à un niveau très élevé.

La disparition de *Tilia*, la reprise de *Quercus* et de *Fagus*, ainsi que le déclin général des taxons arboréens permet d'attribuer la ZVER VII, dernière phase de l'Holocène, au Subatlantique récent.

Les figures 34 et 35 représentent les couverts de végétation holocènes des sous-régions de Mayenne-Vilaine et de Basse-Loire tels que reconstitués par la modélisation. La zonation appliquée à ces diagrammes correspond à celle définie pour l'ensemble du Massif armoricain.

2. HISTOIRES COMPAREES DE LA VEGETATION ESTIMEE POUR LE BASSIN PARISIEN ET POUR LE MASSIF ARMORICAIN

2.1. PRINCIPALES SIMILITUDES ET DIVERGENCES ENTRE LES COUVERTURES DE VEGETATION ESTIMEES POUR LE BASSIN PARISIEN ET POUR LE MASSIF ARMORICAIN

La comparaison des résultats obtenus pour chacune des deux régions principales permet de dégager un certain nombre de correspondances entre leurs évolutions respectives. Ces points de convergence ont permis de rassembler deux à deux les ZVERs du Bassin parisien et celles du Massif armoricain sous l'un des termes climatostratigraphiques classiquement employés pour décrire l'histoire de la végétation holocène (Préboréal, Boréal, Atlantique,…). Ces termes sont ici associés à une image générale de la végétation régionale pour une période donnée qui relève à la fois des proportions relatives des principaux taxons, de leur dynamique et de leurs apparitions et disparitions. Les similitudes d'ordre général qui sont observées entre les végétations estimées pour le Bassin parisien et pour le Massif armoricain n'empêchent cependant pas de distinguer certaines différences entre les deux histoires de la végétation ainsi reconstruites.

Ainsi, les ZVER I du Bassin parisien et du Massif armoricain, toutes deux attribuées à la fin du Tardiglaciaire, se caractérisent par une très nette dominance de Poaceae dans le couvert végétal des deux régions, associé aux premiers taxons pionniers, *Pinus*, *Betula* et *Salix*, et dans une moindre mesure *Juniperus*. Les proportions d'*Artemisia* sont à leur maximum et déclineront dans les phases suivantes.

Toutefois, si *Pinus* domine largement *Salix* et *Betula* en Bassin parisien, la situation semble inversée en Massif armoricain. De plus, *Corylus* est déjà présent dans cette dernière région tandis qu'il ne fait son apparition que durant la période suivante dans le Bassin parisien. En effet, il est observé dans des proportions très discrètes au sein de l'ensemble des séquences polliniques renseignant cette fenêtre temporelle. On ne note pas d'empreinte locale particulière puisque les profils entrant en jeu viennent tout aussi bien de la Mayenne que de la Loire-Atlantique, de l'Ille-et-Vilaine ou du Finistère.

Les ZVERs IIa et IIb sont associées au Préboréal. Celui-ci voit la part de *Corylus* augmenter dans les deux régions et prendre même le pas sur les autres taxons pionniers qui eux déclinent. Deux taxons forestiers, *Quercus* et *Ulmus* apparaissent au cours de cette phase. La part de Poaceae demeure très importante même si elle commence à décliner dans les deux reconstructions.

Néanmoins, le passage d'une dominance du couvert arboréen par le trio *Pinus*, *Betula*, *Salix* à celle de *Corylus* seul sur ces derniers s'effectue dès la sous-zone IIa en Massif armoricain et seulement au cours de la sous-zone IIb en Bassin parisien. Même chose pour les apparitions de *Quercus* et *Ulmus* qui ont lieu plus tôt sur le Massif armoricain.

Les ZVERs III du Bassin parisien et IIIa et IIIb du Massif armoricain sont regroupées au sein du Boréal. Cette phase est caractérisée de part et d'autre par la très nette dominance de *Corylus* sur les autres taxons arboréens, du fait de son expansion importante entre cette phase et la précédente. Par conséquent, la part de Poaceae chute de concert dans les deux régions. Les deux taxons forestiers apparus lors du Préboréal, *Quercus* et *Ulmus*, se développent conjointement et prennent le pas sur les trois premiers taxons pionniers, *Pinus*, *Salix* et *Betula*. *Juniperus* disparait quasiment, voire totalement, tout comme *Artemisia*.

On note cependant que l'émergence de *Tilia* et d'*Alnus* intervient dès le début de cette phase pour le Massif armoricain, tandis qu'il faut attendre la suivante pour observer *Tilia* en Bassin parisien et encore la suivante pour *Alnus*. Concernant la sous-zone IIIa, comme pour le cas de *Corylus* durant la ZVER I, on ne note pas d'empreinte locale particulière puisque les profils polliniques en question proviennent tout aussi bien de la Mayenne que de la Loire-Atlantique, les autres parties du Massif armoricain n'étant pas documentées pour cette période. En revanche, au cours des trois fenêtres temporelles composant la sous-zone IIIb durant lesquelles les proportions estimées de ces deux taxons chutent pour le Massif armoricain, on remarque une nette individualisation de la séquence de « Poupinière » (OUGUERRAM 2002) qui présente de fortes proportions de *Tilia* et d'*Alnus*, tandis que les autres séquences continuent à afficher des présences discrètes pour chacun d'eux.

Les ZVERs IV du Bassin parisien et IVa du Massif armoricain sont attribuées à l'Atlantique ancien. On observe une forte diminution des proportions de *Corylus* qui conserve la première position au sein du couvert végétal arboréen mais de façon nettement moins prédominante que précédemment. *Tilia* se développe rapidement tandis que les proportions de *Quercus* et d'*Ulmus* progressent plus lentement, voire stagnent.

En revanche, l'augmentation de la part d'*Alnus* n'a lieu que sur le Massif armoricain et pour cause, celui-ci n'a alors pas encore émergé dans le Bassin parisien, même s'il est déjà présent dans de très faibles proportions.

Les ZVERs V du Bassin parisien et IVb du Massif armoricain sont associées à l'Atlantique récent. Cette phase correspond au milieu de l'Holocène et constitue un point d'inflexion dans la dynamique générale de la végétation. En effet, la plupart des taxons arboréens sont alors présents et représentés dans de bonnes proportions. Parmi les taxons héliophiles, seul *Corylus* décline lors de cette phase, tandis que les autres essences ont connu un déclin plus précoce, intervenant dès la phase précédente. *Alnus* progresse peu à peu et la part de Poaceae est à un niveau relativement bas en comparaison de celui atteint durant la majeure partie de l'Holocène.

Les proportions de *Tilia* s'élèvent toutefois beaucoup plus rapidement en Bassin parisien et ce taxon devient même nettement dominant au sein du couvert végétal arboréen de cette région sur la période. Il n'atteindra jamais cette position sur le Massif armoricain et partage alors le leadership avec *Corylus*, *Quercus* et *Alnus*.

Les ZVERs VIa et VIb du Bassin parisien et Va et Vb du Massif armoricain sont attribuées au Subboréal. Au cours de cette phase, les proportions d'*Alnus* grimpent jusqu'à leur niveau maximal pour l'Holocène et celles de *Tilia* amorcent leur déclin. *Fagus* fait son apparition en continu dans les deux régions.

Cependant, cette présence continue intervient dès le tout début de la période sur le Massif armoricain et seulement au cours de sa deuxième moitié dans le Bassin parisien. De plus, les dynamiques internes à cette phase pour *Corylus*, *Ulmus* et *Quercus* semblent elles aussi divergentes. En effet, les proportions de ces trois taxons présentent un sursaut durant la deuxième partie de l'Atlantique ancien en Bassin parisien, tandis que c'est l'inverse qui se produit pour le Massif armoricain. Cette reprise observée pour une partie des taxons arboréens dans la région la plus orientale provoque une importante baisse de la part de Poaceae qui n'a pas son équivalent à la même époque sur le Massif armoricain.

Les ZVERs VII du Bassin parisien et VIa et VIb du Massif armoricain sont regroupées au sein du Subatlantique ancien. Celui-ci se caractérise par le développement de *Fagus* qui, conjugué au déclin global de l'ensemble des autres taxons arboréens, passe du rang de taxon mineur à celui de taxon moyen. Cette augmentation des proportions de *Fagus* est très loin de compenser le recul généralisé des autres arboréens et, par conséquent, la part de Poaceae augmente fortement dans le couvert végétal estimé jusqu'à atteindre un niveau proche de celui obtenu pour le Préboréal, et même la toute fin du Tardiglaciaire.

Toutefois, le déclin rapide et immédiat des arboréens observé en Bassin parisien ne s'opère qu'après un temps de latence sur le Massif armoricain en ce qui concerne *Alnus* et *Corylus* et s'étale donc sur une période plus longue. L'apparition de *Carpinus* en Bassin parisien ne trouve pas d'écho sur le Massif armoricain, où celui-ci demeure à des taux proches du néant.

Les ZVERs VIIIa et VIIIb du Bassin parisien et VIIa et VIIb du Massif armoricain sont associées au Subatlantique récent. Lors de cette dernière phase de l'Holocène, le déclin général des taxons arboréens se parachève et certains taxons voient même leurs proportions tomber à zéro. C'est le cas de *Tilia* dont la disparition marque l'entrée dans cette ultime période, mais aussi d'*Alnus* qui termine la phase à un niveau minimal. En revanche, *Fagus* continue sa progression et *Quercus* le rejoint dans cette dynamique, rompant ainsi avec sa tendance jusqu'alors régressive. Les proportions de Poaceae demeurent au plus haut.

Néanmoins, la progression de *Quercus* et *Fagus* semble s'effectuer selon une dynamique inversée entre les deux régions. Le Bassin parisien présente en effet un pic de proportions pour ces deux taxons au milieu de la phase, entouré par des périodes caractérisées par des proportions plus faibles, tandis que c'est l'exact contraire qui semble se produire sur le Massif armoricain.

2.2. CHRONOLOGIES COMPAREES DE L'EVOLUTION DU COUVERT VEGETAL ESTIME POUR LE BASSIN PARISIEN ET POUR LE MASSIF ARMORICAIN

Dans cet inventaire, les points communs aux deux régions fixent le cadre général de l'évolution holocène de la végétation estimée dans le nord-ouest de la France, telle que reconstruite par le modèle REVEALS.

De ce cadre ressortent les grandes étapes, à commande climatique, de la mise en place des paysages au cours du dernier interglaciaire telles que définies par Van der Hammen *et al.* (1971). La phase progressive est marquée par le passage d'une végétation clairsemée à la fin du Tardiglaciaire, composée d'arbres de climat froid (*Pinus*, *Betula*, *Salix*) et de steppes à *Artemisia*, à une forêt mésophile à taxons forestiers sans conifères (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus*) au début de l'Atlantique. Le Préboréal et le Boréal constituent des périodes intermédiaires au sein de cette dynamique progressive, qui voient le développement précoce de taxons pionniers héliophiles, et en particulier de *Corylus*. L'Atlantique, ancien et récent, correspond à la phase d'optimum climatique interglaciaire durant lequel les essences les plus compétitives, au premier rang desquelles *Quercus*, s'imposent peu à peu au détriment des taxons pionniers. Le Subboréal marque l'entrée dans la phase régressive de l'Holocène avec l'apparition de *Fagus*, prolongée au Subatlantique ancien par celle de *Carpinus*. La reprise de *Betula* et de *Salix*, ainsi que l'apparition de *Picea* à la toute fin du Subatlantique récent, attestent du prolongement de cette dynamique régressive jusqu'à nos jours.

Si cette histoire générale de la colonisation du milieu par différents groupements végétaux successifs peut être observée, avec des variations, dans la majeure partie des séquences polliniques d'Europe tempérée, les rythmes de ces changements sont en revanche propres à chaque région. En effet, les caractéristiques climatiques, topographiques, édaphiques ou encore hydrographiques de chacune d'entre elles vont influer sur le développement des différentes essences végétales entrant en jeu à chaque période. C'est l'observation de ces différences qui a peu à peu conduit la communauté des palynologues à abandonner la portée chronologique associée aux chronozones supra-régionales telles que celles de Mangerud *et al.* (1974) (WOHLFARTH 1996). Ainsi, entre Bassin parisien et Massif armoricain, on peut observer certains décalages temporels quant aux âges associés aux limites de ces grandes phases (cf. Fig. 38).

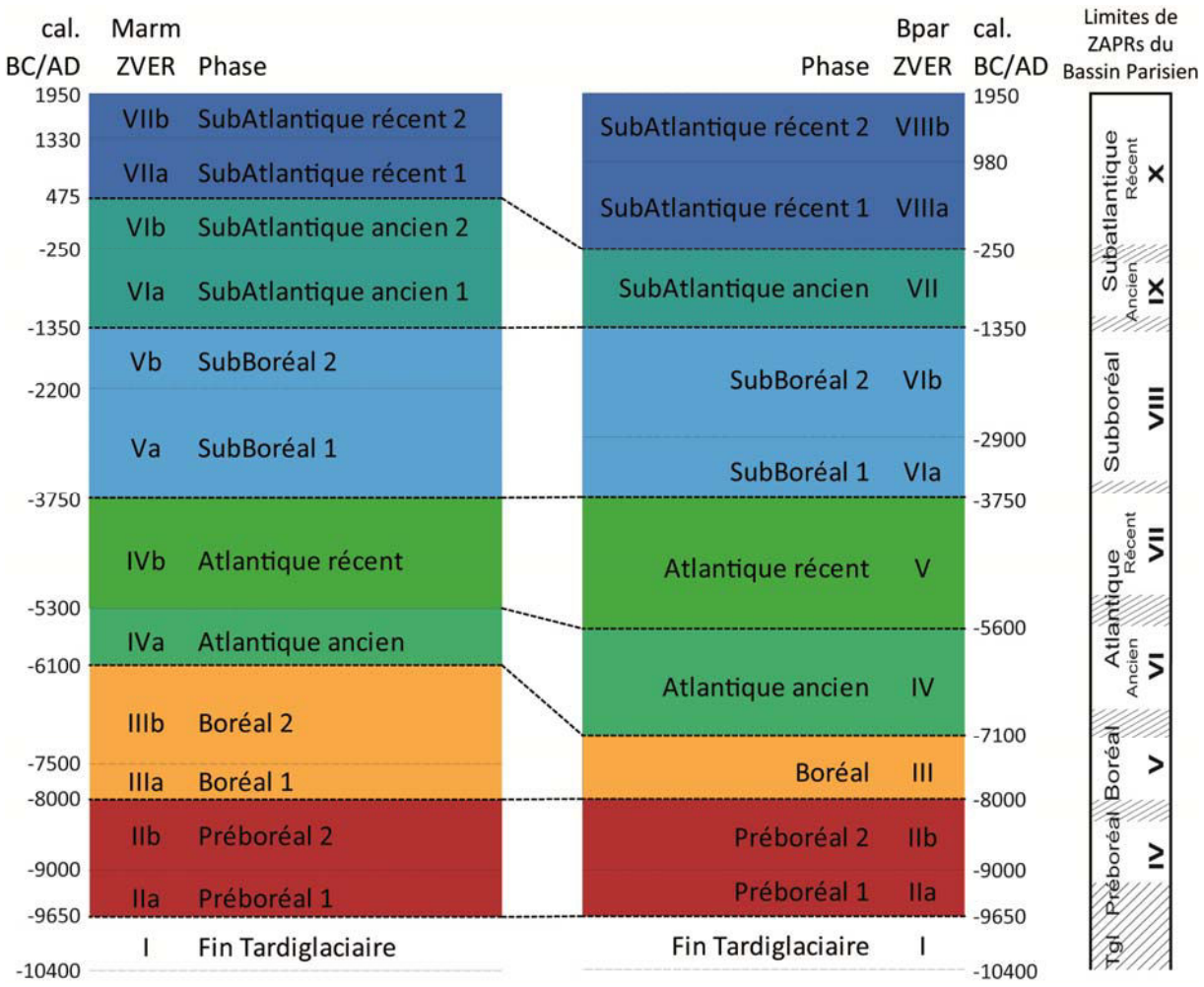


Fig. 38: Bornes chronologiques des ZVERs holocènes du Bassin parisien et du Massif armoricain, et rappel des limites de ZAPRs du Bassin parisien obtenues par la modélisation bayésienne (cf. II.1.1.1)

De par la méthodologie employée dans cette étude, et notamment du fait du recours au modèle REVEALS, les diagrammes produits pour chaque région représentent les évolutions du couvert végétal estimé sous la forme de paliers. Ces paliers correspondent aux fenêtres temporelles choisies comme cadre de la modélisation (cf. II.1.2.1 et II.2.2.1). Par conséquent, les âges associés aux limites des grandes phases de végétation estimée coïncident toujours avec les bornes chronologiques de ces fenêtres temporelles. Ils sont donc dépourvus d'intervalle d'incertitude, ce qui leur confère un caractère faussement précis. De plus, le choix des bornes temporelles de chacune des fenêtres temporelles est arbitraire. Il convient donc de rappeler ici que les âges obtenus pour chacune des phases de végétation sont approximatifs et doivent être considérés avec le recul nécessaire du fait de ces biais méthodologiques évidents.

Dans le cas du Bassin parisien, les bornes chronologiques des phases de végétation estimée coïncident toutes avec les périodes de transition entre ZAPRs qui ont été calculées à l'aide du modèle bayésien RenDateModel (cf. Fig. 38). Les principaux changements d'assemblage pollinique observés dans les séquences ayant contribué à la détermination de ces périodes de transition (cf. I.1.1.1), et ces transitions ayant ensuite servi de base pour l'établissement des modèles d'âge de la plupart de ces profils polliniques, il n'y a donc rien de surprenant à observer la concomitance de ces changements de végétation estimée et des limites de ZAPRs. On peut

donc considérer que les âges des grandes phases de végétation estimée pour le Bassin parisien nous sont déjà donnés par le calcul des limites de ZAPRs de cette même région. Ceci leur confère ainsi un caractère plus fiable, du fait du nombre de données entrant en jeu, et leur associe également un intervalle d'incertitude.

Le premier des décalages observés entre les ZVERs du Bassin parisien et celles du Massif armoricain correspond à la transition entre Boréal et Atlantique ancien, c'est-à-dire au passage d'un couvert arboréen nettement dominé par *Corylus* à un paysage plus diversifié. Cette diversification est principalement due au recul de *Corylus*, mais également au développement de taxons forestiers comme *Quercus*, *Ulmus* et *Tilia*. Le retard est d'environ un millénaire pour le Massif armoricain avec un âge de 6100 cal. BC, contre 7150 à 6750 cal. BC pour le Bassin parisien (les limites données ici pour les transitions du Bassin parisien, tirées du calcul des bornes chronologiques de ZAPRs, sont volontairement arrondies pour simplifier le propos). Il est davantage provoqué par le maintien de fortes proportions de *Corylus* jusqu'à une date tardive que par un retard dans l'émergence des taxons forestiers. En effet, ceux-ci sont même représentés plus précocement sur le Massif armoricain mais ne connaissent un franc développement que lors de la phase suivante. On a donc bien affaire pour cette région à un Boréal dominé par *Corylus* mais où des taxons plus caractéristiques de forêts mésophiles sont déjà bien représentés, et où même *Alnus* et *Tilia* sont déjà présents, en proportions notables tout d'abord mais très faiblement par la suite. Ce retard au démarrage peut donc difficilement être considéré comme le résultat du maintien de conditions climatiques plus rigoureuses dans l'ouest de la France pendant un millénaire. D'autant plus que la majorité des taxons de climat froid (*Pinus*, *Salix* et *Juniperus*) régressent notablement pendant la période. Au contraire, il semble que les conditions aient plutôt favorisé la diversification du couvert végétal arboréen, signe possible d'un radoucissement relatif par rapport à la phase précédente.

Un second décalage semble apparaitre dès la phase suivante, même si l'écart est alors nettement plus restreint. En effet, l'Atlantique ancien du Massif armoricain qui a commencé plus tard que celui du Bassin parisien se termine également l'espace d'une fenêtre temporelle plus tard. Cependant, la différence ne peut être considérée ici comme significative puisque la plage d'incertitude associée avec la transition entre l'Atlantique ancien et l'Atlantique récent pour le Bassin parisien (5600 à 5200 cal. BC) recouvre l'âge obtenu pour le Massif armoricain (5300 cal. BC).

Un troisième et dernier décalage chronologique intervient au niveau du passage du Subatlantique ancien au Subatlantique récent. Là encore, le Massif armoricain semble en retard sur le Bassin parisien, mais cette fois le retard advient lors d'une phase régressive de l'Holocène et non plus au cours d'une dynamique progressive. En effet, celui-ci est alors généré par un maintien plus tardif de *Tilia* qui perdure jusqu'à 475 cal. AD en Massif armoricain, tandis qu'il disparait quasiment dès 400 à 175 cal. BC en Bassin parisien. *Alnus* continue lui aussi à présenter des proportions relativement plus importantes dans l'ouest du pays jusqu'à une époque récente.

Les différences inter-régionales mises en évidence par ces décalages entre grandes phases de végétation estimée correspondent aux principales variations qui structurent la spécificité de chaque région. Néanmoins, elles ne représentent pas pour autant la totalité des divergences observées entre les diagrammes. En effet, celles intervenant à l'intérieur d'une phase, ou jugées moins décisives pour l'histoire régionale de la végétation postglaciaire, ne peuvent être décelées par le seul examen des grandes phases de végétation estimée.

Ainsi, au sein du Préboréal, qui apparait pourtant concomitant entre les deux régions, le développement de *Corylus* sur le Massif armoricain dès la toute première fenêtre temporelle (9650 à 9000 cal. BC) intervient plus tôt qu'en Bassin parisien où cette augmentation ne démarre vraiment qu'à partir de la fenêtre suivante (9000 à 8500 cal. BC). De même, cette première fenêtre temporelle du Préboréal s'illustre aussi sur le Massif armoricain par

l'apparition de *Quercus* et *Ulmus*, tandis que ces taxons ne sont représentés en Bassin parisien qu'à partir de la suivante.

La présence de *Tilia* et d'*Alnus* dès le début du Boréal en Massif armoricain (8000 cal. BC) a déjà été évoquée plus haut. Ces deux taxons apparaissent donc dans l'ouest du pays environ 900 et 2400 ans, respectivement, avant leur première observation en Bassin parisien.

A l'inverse, *Fraxinus* n'est présent de manière continue sur le Massif armoricain qu'à partir de 6600 cal. BC, soit un retard de 1400 ans environ par rapport au Bassin parisien où il est enregistré dès le début du Boréal.

Fagus est enregistré de façon continue sur le Massif dès le début du Subboréal, soit à partir de 3750 cal. BC, ce qui lui confère une avance de 850 ans environ sur le Bassin parisien où son apparition n'intervient qu'autour de 2900 cal. BC.

Carpinus, qui marque l'entrée dans le Subatlantique ancien en Bassin parisien, présente quelques occurrences sporadiques sur le Massif armoricain durant le Boréal mais n'est ensuite représenté qu'à l'état résiduel jusqu'à la fin de l'Holocène. On note tout de même un accroissement très discret de ses proportions entre le Subatlantique ancien et le Subatlantique récent.

Enfin *Tilia* perdure sur le Massif armoricain pendant environ 725 ans de plus qu'en Bassin parisien où il périclite entre 415 et 175 cal. BC.

Une impression générale ressort de ces variations inter-régionales constatées. Pour la majorité des taxons représentés dans le couvert végétal estimé du Massif armoricain, l'enregistrement de leur présence semble couvrir une étendue temporelle plus longue que pour le Bassin parisien. En effet, la plupart des taxons arboréens apparaît plus tôt (hormis *Fraxinus*) et décline ou disparaît plus tard. Cependant, cette observation générale peut en partie être expliquée par les différences entre les méthodes employées pour reconstruire le couvert végétal de chaque région.

De fait, la contrainte chronologique appliquée aux séquences du Bassin parisien, basée sur la composition des assemblages polliniques, empêche dans une certaine mesure la contemporanéité d'assemblages polliniques clairement différents. En effet, la réalisation de modèles d'âge établis à partir de la chronologie relative issue de la zonation pollinique induit une limitation de l'extension temporelle des principaux taxons marqueurs de l'histoire de la végétation aux palynozones auxquelles ils sont associés. Ainsi, ces taxons majeurs ne peuvent être observés dans la végétation estimée du Bassin parisien au-delà des bornes chronologiques des ZAPRs pour lesquelles leur présence a été reconnue lors de la définition de la zonation par le palynologue.

La méthode employée pour reconstruire le couvert végétal du Massif armoricain n'est en revanche nullement basée sur une quelconque contrainte chronologique relative associée à la nature des assemblages polliniques rencontrés au sein des profils. Seules les datations radiocarbone contribuent à l'établissement d'une chronologie absolue pour ces séquences. Les assemblages polliniques rencontrés pour une même date dans deux profils indépendants sont donc libres de coïncider ou pas.

La variabilité inhérente à la mesure radiocarbone (cf. I.1.1.1) a pour conséquence de conduire parfois à des datations plutôt vieillies ou, à l'inverse, plutôt rajeunies. Ce phénomène peut donc générer une certaine dispersion des âges obtenus pour des assemblages polliniques issus de différents profils et pourtant contemporains. Conjugué au découpage nécessaire de l'Holocène en fenêtres temporelles strictement définies (à l'année près) pour les besoins de la modélisation REVEALS, cette dispersion peut entraîner un panachage sur plusieurs fenêtres temporelles d'échantillons polliniques reflétant pourtant l'image d'une même végétation à un temps donné. Cette hypothèse d'un biais méthodologique ne doit pas être négligée pour interpréter l'extension temporelle plus large des taxons arboréens sur le Massif armoricain.

Toutefois, il apparait peu probable que ce biais soit à l'origine des variations inter-régionales observées pour la deuxième moitié de l'Holocène dans cette étude. En effet, le nombre de séquences entrant en jeu dans la modélisation du couvert végétal de la région devient tout à fait satisfaisant et, en excluant l'hypothèse assez invraisemblable d'un décalage général des

datations radiocarbone disponibles, l'impact de quelques séquences à la chronologie biaisée, s'il demeure possible, n'en devient pas moins tout à fait mineur au vu de la masse de données rassemblées.

En revanche, pendant la première partie de l'Holocène, le faible nombre de séquences disponibles rend l'estimation du couvert végétal plus sensible aux possibles biais chronologiques. Les occurrences ponctuelles de certains taxons durant des périodes anciennes pourraient ainsi résulter d'une ou plusieurs datations radiocarbone vieillies. L'influence des proportions polliniques associées à cette date ne serait alors pas pondérée par de nombreuses autres séquences à la chronologie non biaisée.

Cependant, dans la plupart des cas observés pour le Massif armoricain, la présence concomitante de pollens de taxons caractéristiques de climats plutôt rigoureux et d'essences associées à des conditions plus clémentes durant la première partie de l'Holocène ne semble pas être un artefact issu de la méthode employée pour établir la chronologie des séquences. En effet, les auteurs des analyses polliniques qui ont été utilisées ici pour modéliser le couvert végétal mentionnent fréquemment la présence simultanée de ces taxons d'affinités climatiques différentes au sein d'un même échantillon. L'explication généralement avancée est basée sur l'hypothèse de zones de refuge présentes dans la région et qui auraient permis le maintien de certains taxons mésothermophiles durant la période glaciaire et le Tardiglaciaire (BARBIER 1999, BARBIER & VISSET 2000, VISSET 1980, VISSET *et al.* 2001), facilitant ainsi leur développement précoce dès le tout début de l'Holocène avec le retour de conditions climatiques plus favorables (OUGUERRAM 2002).

Les séquences du « Fourneau inférieur » en Mayenne (BARBIER 1999) et de « Poupinière » dans la vallée de l'Erdre (OUGUERRAM 2002) sont emblématiques de ce cas de figure. Elles présentent toutes deux des occurrences de taxons mésothermophiles comme *Tilia*, *Alnus*, et même *Carpinus* (seulement Poupinière), au sein d'échantillons polliniques par ailleurs dominés par des taxons de climats plus froids comme *Betula*, *Salix*, *Pinus* et *Corylus* ainsi qu'*Artemisia*. Ces échantillons, situés aux extrémités supérieure et inférieure de chaque séquence, ont été datés par des mesures radiocarbone les classant selon leurs auteurs à la toute fin du Préboréal ou au début du Boréal (8935±105 BP pour Le Fourneau inf., 8790±230 BP pour Poupinière).

Ainsi, à moins de considérer que ces situations relèvent de problèmes de contaminations ou de mélanges sédimentaires, on se trouve donc dans l'obligation de les considérer comme d'authentiques co-occurrences de taxons d'affinités climatiques divergentes.

En conclusion, la comparaison des histoires de la végétation respectives du Bassin parisien et du Massif armoricain fait état d'un bon nombre de similitudes entre ces deux régions voisines. La dynamique générale sur l'ensemble de l'Holocène suit un enchaînement bien connu pour l'Europe tempérée et les taxons majeurs qui composent le couvert végétal se retrouvent d'une aire d'étude à l'autre. Néanmoins, certaines spécificités régionales peuvent être observées tant en matière de chronologie de l'évolution de la végétation estimée qu'en matière de proportions relatives de chacun des taxons présents. Si l'emploi de méthodologies différentes pour déterminer les végétations estimées de chaque région peut jouer un rôle dans l'obtention de ces divergences, il semble toutefois assez clair que ces biais méthodologiques ne permettent pas à eux seuls d'expliquer l'intégralité des variations inter-régionales observées dans ces reconstructions. Une certaine singularité doit donc être reconnue dans l'évolution des paysages holocènes de chacune de ces deux régions du nord-ouest de la France.

3. EVOLUTIONS COMPAREES DES RELATIONS HOMMES/MILIEUX EN BASSIN PARISIEN ET MASSIF ARMORICAIN

3.1. DESCRIPTION DES RELATIONS HOMMES/MILIEUX PAR PERIODES CULTURELLES

Le corps de cette thèse a été consacré à la mise en place d'une méthodologie permettant de reconstruire l'évolution du couvert végétal holocène de deux régions du nord-ouest de la France, de la façon la plus précise et la plus fiable possible compte-tenu de l'adéquation plus ou moins grande des moyens techniques disponibles et des données existantes. Les deux premières parties de la synthèse ont pour objet d'exploiter les résultats obtenus pour ces deux régions afin d'établir leurs dynamiques respectives à l'échelle de l'ensemble de l'Holocène puis de les comparer entre elles. Dans cette troisième et dernière partie de la synthèse, l'objectif est maintenant de mettre à profit les conclusions tirées de ce long cheminement pour dresser un tableau des interactions réciproques des sociétés humaines et de leur milieu sur une période couvrant, dans le nord-ouest de la France, les cultures allant de la toute fin du Mésolithique à l'âge du Bronze. Ce créneau temporel a été choisi du fait du nombre de séquences polliniques disponibles pour chacune des régions. En effet, cette partie centrale de l'Holocène recoupe la majorité des profils polliniques utilisés pour reconstruire le couvert végétal régional et constitue donc la période où les estimations obtenues sont les plus fiables, à la fois pour le Bassin parisien et pour le Massif armoricain.

Pour cela, nous disposons une fois encore d'informations de natures différentes d'une région à l'autre. En effet, les buts poursuivis et les questionnements envisagés par chacun des auteurs des analyses polliniques rassemblées dans cette étude diffèrent. Ainsi, l'examen systématique des distances entre sites archéologiques et points de sondages polliniques pour les différentes périodes considérées a permis de mettre en relation les activités anthropiques et les changements de végétation pour le Bassin parisien au Néolithique (cf. II.1.3.1) et à l'âge du Bronze (cf. II.1.3.2). En revanche, ce type d'informations ne fut pas collecté lors de la réalisation des analyses polliniques du Massif armoricain, du fait d'objectifs scientifiques autres, plus centrés sur la dimension naturelle des changements de végétation.

Cependant, les travaux réalisés par Kerdivel (2009) nous procurent des informations de nature géographique au sujet des populations ayant vécu durant l'ensemble de la période couvrant les diverses cultures du Néolithique sur la zone d'interface entre Bassin parisien et Massif armoricain. La discussion développée dans cette dernière partie de la synthèse à propos des relations entretenues entre les sociétés et leur milieu sur le Massif armoricain au Néolithique s'appuie grandement sur les conclusions qui ont été les siennes au sujet de l'occupation de l'espace et de la gestion des ressources naturelles. L'aire géographique couverte par son étude ne correspond toutefois pas complètement à la notre. Elle s'en décale vers l'est d'une centaine de kilomètres, prenant ainsi en compte des zones non renseignées par la modélisation du couvert végétal et en excluant d'autres, notamment les départements de l'Ille-et-Vilaine, de la Loire-Atlantique et du Morbihan dont est originaire une bonne part des séquences ayant contribué aux reconstructions du couvert végétal armoricain.

Ce type d'étude à caractère régional n'a, à notre connaissance, pas encore été mené à bien pour le Bassin parisien, le travail des archéologues y étant généralement effectué par bassin hydrographique. Néanmoins, la thèse en cours de C. Lietar vise à mettre en place ce genre d'approche pour le Néolithique moyen à l'échelle de la région, mais son état d'avancement lors de la réalisation de nos travaux ne nous a malheureusement pas permis de bénéficier de ses conclusions à temps.

Enfin, le contexte archéologique décrit en I.2, esquissé au travers d'une revue non exhaustive et forcément très superficielle de la littérature existante, nous donne un aperçu général des groupes humains en présence entre la fin du Mésolithique et l'âge du Bronze dans le Bassin parisien et le Massif armoricain.

Les résultats de modélisation du couvert végétal sont obtenus sous la forme d'estimations renseignant des intervalles de temps et non des dates ponctuelles. Dans notre étude, ces intervalles correspondent aux fenêtres temporelles définies, autant que faire se peut, sur la base de périodes culturelles relatives aux sociétés du nord-ouest de la France. Fixer des bornes chronologiques pour ces périodes culturelles s'avère cependant problématique pour deux raisons.

La première, et la plus évidente, est que les cultures en présence diffèrent elles-mêmes bien souvent entre Bassin parisien et Massif armoricain. Ceci est particulièrement vrai pour les périodes anciennes et notamment pour le Néolithique. Rassembler des cultures propres à ces deux aires géographiques sous une même appellation générique et une même chronologie apparait donc périlleux. Cependant, afin de pouvoir confronter les résultats des deux régions, nous avons été contraints de procéder à une uniformisation de la représentation chronologique de ces résultats. Nous avons ainsi défini des fenêtres temporelles communes aux deux régions, inspirées des limites de phases culturelles couramment retrouvées dans la littérature. Des noms d'usage leurs ont été affectés, ayant pour seul but ici de faciliter la discussion. Notre propos n'est donc absolument pas de considérer les chronologies des cultures du Bassin parisien et du Massif armoricain comme équivalentes mais uniquement de permettre la comparaison entre les résultats de modélisation du couvert végétal obtenus pour chacune de ces régions, puis avec les informations archéologiques disponibles.

La deuxième difficulté réside dans la nature souvent plurielle des bornes chronologiques associées à chaque culture car celles-ci sont l'objet de débats au sein de la communauté scientifique. Cet état tout à fait naturel de la recherche n'en constitue pas moins une difficulté supplémentaire dans notre démarche. La portée des dates proposées par les auteurs se limite souvent au site étudié, ou relève à l'inverse d'un cadre communément admis mais rarement explicité dans le détail. On trouve toutefois des études allant dans le sens d'une meilleure définition de la chronologie de certaines cultures et brassant de larges panels de datations. C'est par exemple le cas de celle réalisée par Dubouloz (2003) concernant les cultures du Rubané Récent du Bassin Parisien (RRBP) et du Villeneuve-Saint-Germain (VSG), ainsi que de celle menée par Voruz (1992) au sujet de la chronologie de l'âge du Bronze ancien et moyen en France et dans les pays limitrophes. Il est intéressant de noter ici que l'approche statistique bayésienne mise en place pour calculer les limites de ZAPRs du Bassin parisien (cf. I.1.1.1) pourrait sans difficulté être transposée au calcul des bornes chronologiques de phases culturelles. Quiles (2011) et Bronk Ramsey *et al.* (2010) en ont d'ailleurs déjà appliqué le principe à un tout autre contexte, contribuant ainsi à une redéfinition de la chronologie des dynasties d'ancienne Egypte.

Le contexte de la discussion ayant été préalablement posé, nous pouvons donc maintenant entamer la confrontation des estimations de végétation obtenues pour le Bassin parisien et le Massif armoricain, et les mettre en relation avec les informations de nature archéologique qui ont pu être rassemblées concernant ces deux régions. Ces informations ayant été regroupées par grandes phases culturelles dans la partie de notre thèse consacrée au contexte archéologique (cf. I.2), ce cadre est ici conservé pour décrire les interactions entre les populations et leur milieu sur l'ensemble de la période allant de la fin du Mésolithique à l'âge du Bronze.

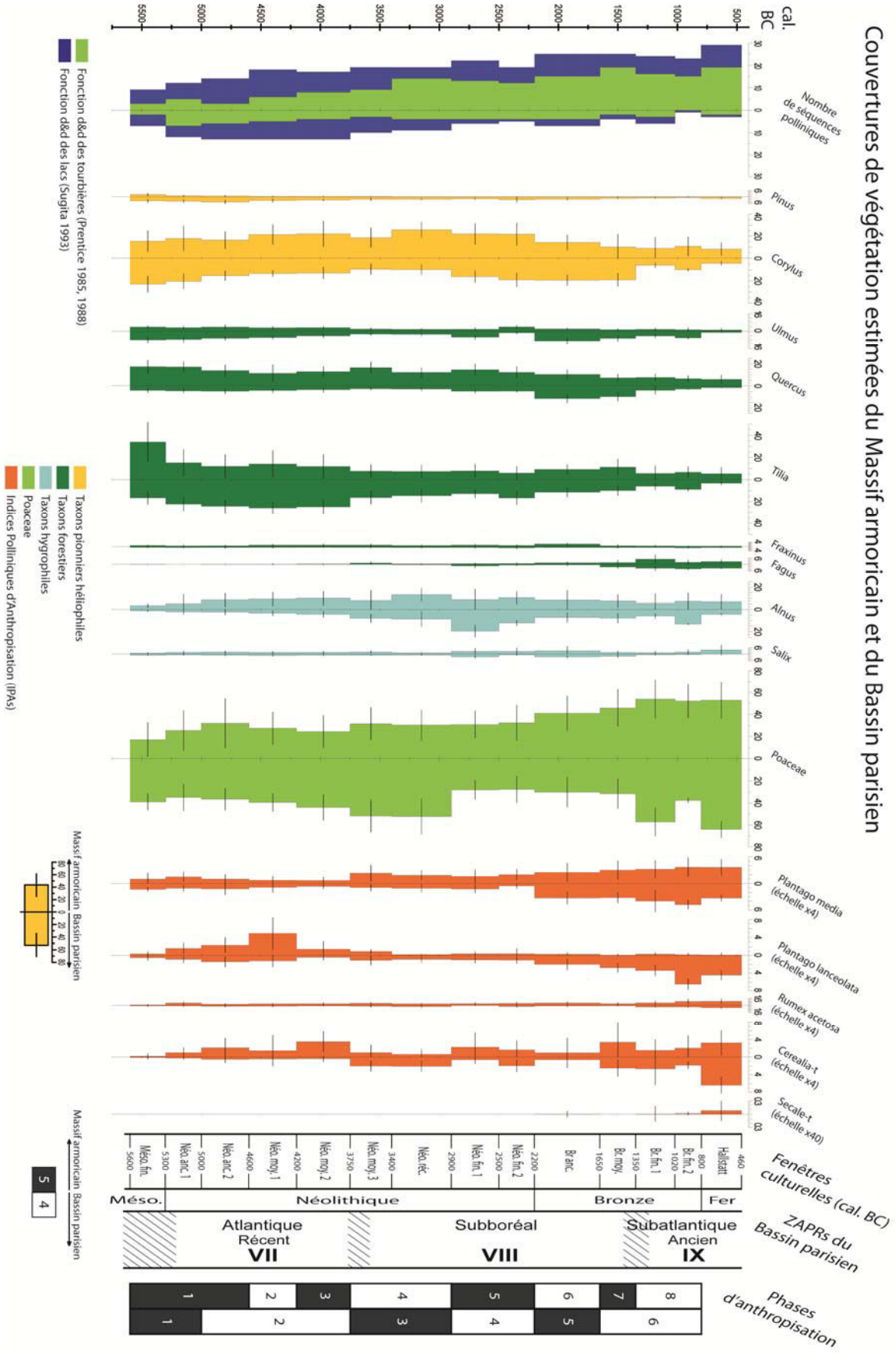


Fig. 39: Confrontation des couvertures de végétation estimées du Bassin parisien et du Massif armoricain

La figure 39 illustre la confrontation des proportions de 15 taxons principaux, groupés par affinité écologique, entre le Bassin parisien et le Massif armoricain au cours des fenêtres temporelles s'étendant du Mésolithique final au premier âge du Fer.

3.1.1. MESOLITHIQUE

La première fenêtre temporelle représentée ici (5600-5300 cal. BC), associée au Mésolithique final, présente pour le Massif armoricain une proportion très faible mais néanmoins notable de *Cerealia* type, contrairement au Bassin parisien qui semble lui en être exempt. Cette occurrence de *Cerealia* type provient du profil pollinique de Mazerolles (OUGUERRAM 2002) dans la vallée de l'Erve, affluent de la Loire. L'échantillon comportant les quelques grains enregistrés (4 grains) dans la séquence est daté par une mesure radiocarbone à 6485±55 BP (5535-5325 cal. BC). Du fait de la présence de céréales, l'auteur place cet échantillon au Néolithique ancien, malgré la datation ancienne. Cette occurrence précoce de *Cerealia* type dans l'ouest de la France n'est ni totalement isolée, ni la plus ancienne. En effet, la plus précoce parmi les séquences intégrées à la modélisation REVEALS correspond au profil pollinique de Kerpenhir sur le littoral morbihannais (VISSET *et al.* 1996). Une datation ^{14}C à 7590±300 BP (7180-5845 cal. BC) situe les 4 grains observés dans la fenêtre temporelle du Mésolithique moyen 3 (7100-6600 cal. BC). L'auteur souligne la co-occurrence de plantains qui appuierait l'hypothèse de pratiques agricoles à cette époque mais tempère celle-ci du fait de l'importante plage d'incertitude associée à la datation qui selon lui permettrait de rattacher cet échantillon au tout début du Néolithique local. En Mayenne, Barbier (1999) note elle aussi la présence sporadique de *Cerealia* type durant la phase pré-néolithique. Un grain est enregistré sur le site de Saint Ursin et daté à 7180±95 BP (6235-5845 cal. BC), le plaçant dans la fenêtre temporelle du Mésolithique récent 2 (6100-5600 cal. BC). L'auteur associe cet échantillon au début de l'Atlantique et ne semble pas accorder une réelle importance à ce grain isolé. Enfin, plus à l'est, sur le site d'Annet-sur_Marne « Jablines » en Bassin parisien, Leroyer (2004) rapporte là aussi l'enregistrement de grains de *Cerealia* type, peu nombreux (5 et 3 grains) mais accompagnés par une hausse des autres Indices Polliniques d'Anthropisation (IPAs) (BEHRE 1981,1986,1988, BRUN 2011). Une datation ^{14}C à 7051±41 BP (6000-5845 cal. BC) et une attribution pollinique à la ZAPR VI du Bassin parisien, associée à l'Atlantique ancien, témoignent d'une antériorité de ces marqueurs d'anthropisation vis-à-vis des premiers peuplements néolithiques de la région. Elle soulève donc la question de l'identification de leurs auteurs mais pointe tout de même que, mis à part la présence de *Cerealia* type, l'intensité de l'impact anthropique sur le milieu ne diffère guère de celui engendré par les groupes mésolithiques retrouvés à Noyen-sur-Seine. Dans notre étude, ces enregistrements de *Cerealia* type se retrouvent au sein de la fenêtre temporelle du Mésolithique récent 2 (6100-5600 cal. BC). Le débat scientifique au sujet d'une éventuelle céréaliculture pré-néolithique reste ouvert et animé, en témoignent les diverses occurrences recensées au sein d'un ouvrage consacré à la question (RICHARD 2004), ainsi que les multiples échanges entre opposants et partisans de cette hypothèse (BEHRE 2007,2008, TINNER *et al.* 2007,2008).

Du point de vue archéologique, la fin du Mésolithique est caractérisée en Massif armoricain par la présence de groupes de chasseurs-cueilleurs dont l'attrait pour le milieu littoral semble attesté par la découverte de nombreux sites côtiers en Loire-Atlantique, Morbihan et Finistère. Cette attraction du littoral pourrait indiquer un certain intérêt pour les ressources marines (DUPONT *et al.* 2010). Parmi ces sites, certains correspondraient à des stations permanentes et d'autres à des occupations de plus courte durée, révélant une certaine part de nomadisme chez ces populations (MARCHAND 1999). Des sites témoignant d'occupations durables à l'intérieur des terres, notamment en Finistère (GOULETQUER *et al.* 1996) ont par ailleurs mis en évidence l'occupation de l'ensemble du territoire, assurant un accès à un éventail plus diversifié de

ressources. Des transferts techniques dans le domaine lithique ont également été envisagés entre ces derniers chasseurs-cueilleurs et les premiers agriculteurs (MARCHAND 2000b,2003, MARCHAND & MANEN 2006), aussi bien dans un sens que dans l'autre. La présence de ces contacts a fait germer chez certains auteurs l'hypothèse d'une transmission, même partielle, de techniques agricoles depuis les premières populations néolithiques vers les derniers groupes mésolithiques (VISSET *et al.* 2002, VISSET *et al.* 2004) ou d'une néolithisation précoce de la région (VISSET *et al.* 1996). Cependant, certains palynologues considèrent qu'en l'absence de restes carpologiques attestant de la culture de céréales domestiques par ces populations, cette hypothèse demeure à cette heure invérifiable (BEHRE 2007).

En Bassin parisien, des occupations mésolithiques d'importance non négligeable ont été découvertes à l'affleurement d'ensembles sableux tertiaires et sur les massifs gréseux (HINOUT 1984, ROZOY 1991, VALENTIN *et al.* 2013), mais également en fonds de vallées comme c'est le cas pour le site humide de Noyen-sur-Seine (MORDANT & MORDANT 1989). Cette occupation, située à proximité de l'un des profils polliniques intégrés à la modélisation du couvert végétal (Noyen U211), a livré des restes de vannerie (nasses à anguilles) et une pirogue monoxyle en pin sylvestre (MORDANT 1992, MORDANT *et al.* 2013). Une certaine rudéralisation a été enregistrée dans les échantillons polliniques contemporains de l'occupation, correspondant à de faibles mais non négligeables proportions de *Rumex acetosa* et *Plantago lanceolata* pour les fenêtres temporelles de la fin du Mésolithique en Bassin parisien. Le site de Neuilly-la-Haute-île qui a livré un important mobilier lithique, des structures empierrées ainsi qu'une sépulture (CONFALONIERI & LE JEUNE 2013) n'est en revanche pas associé à une augmentation notable des taxons rudéraux renseignés par la modélisation dans les cortèges polliniques contemporains.

3.1.2. NEOLITHIQUE ANCIEN

Le passage à la fenêtre temporelle associée au Néolithique ancien 1 (5300-5000 cal. BC) est marqué par le développement de *Cerealia* type dans le couvert végétal estimé du Massif armoricain, auquel s'ajoute une augmentation de *Plantago lanceolata* et *Rumex acetosa*. L'accroissement de l'influence anthropique semble se poursuivre au cours de la fenêtre suivante rattachée au Néolithique ancien 2 (5000-4600 cal. BC), malgré un certain recul des proportions de *Rumex acetosa*. Avec l'entrée dans l'Atlantique récent (ZVER IVb), ces deux périodes et la précédente couvrent la première phase d'anthropisation du milieu dans la région qui s'étend sur près d'un millénaire (5600-4600 cal. BC). Cependant, l'examen des données polliniques sources des estimations de végétation montre que seules les séquences issues des environs de la Loire et du littoral morbihannais présentent des enregistrements de *Cerealia* type. Les profils polliniques de Mayenne, Ille-et-Vilaine et Finistère en sont dépourvus, du moins depuis les quelques observations sporadiques au cours du Mésolithique qui sont citées plus haut.

Cette période est marquée sur le Massif armoricain par l'arrivée des premiers agriculteurs. Pour la partie située au nord de la Loire, ceux-ci seraient issus du courant Rubané. Ainsi, une extension d'un BVSG « à cordons » (Blicquy - Villeneuve-Saint-Germain) a été proposée comme origine de la colonisation progressive de la péninsule armoricaine entre 4900 et 4700 cal. BC (MARCIGNY *et al.* 2010). Les sites se retrouvent principalement sur le littoral actuel, du sud du Finistère au littoral morbihannais et dans la baie du Mont-Saint-Michel, mais aussi sur l'arc de contact entre les roches sédimentaires secondaires et tertiaires du Bassin parisien et les roches magmatiques du Massif Armoricain (KERDIVEL 2009). On en note néanmoins ponctuellement au cœur du Massif comme en Centre Bretagne et dans la région de Rennes (cf. I.2). Pour la partie située au sud de la Loire, l'origine des premiers peuplements néolithiques serait plutôt à rechercher dans le courant Cardial (BURNEZ 1976, JOUSSAUME *et al.* 1979, MARCHAND 2000b), même si des doutes subsistent sur cette attribution (LAPORTE & PICQ 2002). Cette répartition, majoritairement concentrée sur les zones littorales, fait écho à l'absence de grains de pollen de *Cerealia* type retrouvés en Mayenne et Ille-et-Vilaine pour cette période, contrastant avec ceux enregistrés dans les séquences du Morbihan et des environs de la Loire qui génèrent des

proportions relativement importantes pour ce taxon dans le couvert végétal estimé. Néanmoins, un éloignement plus important des profils polliniques par rapport aux sites archéologiques pourrait tout aussi bien être la cause de cette absence. Quoi qu'il en soit, les proportions atteintes par *Cerealia* type et *Plantago lanceolata* pour la fenêtre du Néolithique ancien 2 sont tout à fait remarquables et plaident pour une anthropisation relativement importante du milieu pour un début de Néolithique. Ceci contraste fortement avec le faible nombre de gisements archéologiques actuellement mis au jour pour le Néolithique ancien sur le Massif armoricain (KERDIVEL 2009). Ces fortes proportions de *Cerealia* type proviennent essentiellement de deux séquences du littoral morbihannais, Kerpenhir (VISSET *et al.* 1996) et Suscinio (VISSET & BERNARD 2006). Les auteurs notent ces proportions importantes de pollen de céréales et les relient à une présence supposée de populations néolithiques non reconnues à ce jour qui auraient été contemporaines des derniers groupes mésolithiques.

La dynamique de peuplement est différente en Bassin parisien, tandis que les proportions estimées des différents marqueurs d'anthropisation sont nettement plus faibles que dans l'ouest du pays. Ainsi, le passage de la fenêtre temporelle associée au Mésolithique final (5600-5300 cal. BC) à celle attribuée au Néolithique ancien 1 (5300-5000 cal. BC) ne se distingue pas clairement au sein du couvert végétal estimé, l'évolution marquante de la végétation se situant juste avant, autour de 5600 cal. BC au passage de la ZVER IV (Atlantique ancien) à la ZVER V (Atlantique récent). En effet, seule une légère augmentation de la part de *Plantago lanceolata* semble traduire à cette époque un impact croissant sur le milieu, les proportions de *Cerealia* type et de *Rumex acetosa* demeurant en revanche extrêmement faibles. Ces deux fenêtres temporelles sont ainsi regroupées en une première phase d'anthropisation du Bassin parisien (5600-5000 cal. BC), caractérisée par une influence toujours très faible des populations en présence sur leur environnement. Ce constat doit néanmoins être tempéré par l'absence totale de sites archéologiques, contemporains de la formation des couches sédimentaires dont sont issus les échantillons polliniques considérés, à proximité des points de prélèvement des séquences intégrées à la modélisation (cf. Fig. 18). Cette absence participe vraisemblablement de ce faible taux de représentation des IPAs. Ainsi, le nombre conséquent d'occupations retrouvées à proximité des points de sondages polliniques concernant la fenêtre temporelle suivante, rattachée au Néolithique ancien 2 (5000-4600 cal. BC), explique probablement pour partie la hausse observée dans les proportions de l'ensemble des marqueurs d'anthropisation. Cette progression, concomitante d'une hausse de Poaceae principalement occasionnée par la baisse de Corylus, marque l'entrée dans la deuxième phase d'anthropisation du Bassin parisien (5000-3750 cal. BC).

Les premiers signes de néolithisation en Bassin parisien sont le fait de populations rattachées au courant Rubané (DEMOULE 1984), aussi appelé danubien, qui occupent les grandes vallées est-ouest comme celles de la Marne, de l'Aisne ou de la Seine. Les datations ^{14}C obtenues sur le site de Noyen-sur-Seine montrent que ces premiers agriculteurs auraient cohabité durant un certain laps de temps avec les derniers chasseurs-cueilleurs mésolithiques (MORDANT *et al.* 2013). La culture du Rubané Récent du Bassin Parisien (RRBP) va alors se former sur les terres fertiles de part et d'autre de ces cours d'eau, délaissant systématiquement les plateaux et emplacements sableux (DEMOULE & VAQUER 1989). En l'état actuel des découvertes archéologiques, des villages, constitués de cinq à six maisons, ne sont attestés que dans les bassins de l'Aisne et de l'Oise (DUBOULOZ 2012). L'extension temporelle de cette culture demeure assez mal connue du fait du manque de fiabilité des datations concernant sa phase initiale, même si l'intervalle 5100-5050 cal BC est envisagé (DUBOULOZ 2003). Sa terminaison se situerait entre 5000 et 4900 cal. BC, ce qui la situerait dans la fenêtre temporelle du Néolithique ancien 1 (5300-5000 cal. BC), durant laquelle les marqueurs d'anthropisation restent à des taux relativement faibles. Un recul de Poaceae est même observé, répondant principalement au développement de *Tilia* sur les coteaux des vallées du Bassin parisien, et également mais dans une moindre mesure à celui d'*Alnus* sur les berges occupées par ces populations. On note que cet enregistrement d'un impact anthropique stagnant à des niveaux faibles, et ce malgré l'arrivée des premières populations agricoles, correspond à une période d'augmentation de la distance des sites archéologiques aux

séquences polliniques. Cet éloignement pourrait ainsi partiellement justifier le manque de réactivité du signal pollinique au passage de la fin du Mésolithique au début du Néolithique.

Consécutivement, à partir de 4950-4900 cal. BC et jusqu'aux alentours de 4650 cal. BC (DUBOULOZ 2003), une évolution de cette culture, le Blicquy - Villeneuve-Saint-Germain (BVSG), mène à une distribution géographique plus large des occupations, colonisant alors plateaux et vallées des affluents (DEMOULE & VAQUER 1989). Son étendue temporelle place cette culture dans la fenêtre temporelle du Néolithique ancien 2 (5000-4600 cal. BC), soit dans la deuxième phase d'anthropisation du Bassin parisien marquée dans le couvert végétal estimé par une progression de l'impact anthropique sur le milieu par rapport à la phase précédente. Cette progression se traduit par un développement général des IPAs, accompagné par une augmentation de la part de Poaceae résultant du recul des proportions de *Corylus*, laissant penser à un possible défrichement des terrains occupés par les boisements clairs composés de cette essence en vue d'y établir cultures et pâtures. Cette progression de l'impact anthropique s'accorde bien avec le nombre conséquent de sites BVSG retrouvés dans la région, particulièrement dans les vallées de la Marne et de la Seine (LANCHON 2008,2012, LANCHON & CONVERTINI 2013), même si certains sont considérés comme étant un peu plus anciens car attribués à l'étape finale du Rubané du Bassin parisien (RFBP). On compte alors pas moins de six occupations différentes rien que pour le secteur de la boucle de Jablines près d'Annet-sur-Marne. Toutefois, la comparaison du faible niveau d'anthropisation associé à ces nombreuses implantations de la deuxième partie du Néolithique ancien avec les taux de *Cerealia* type et de rudérales observés sur le Massif armoricain à la même époque ne peut que laisser dubitatif quant à l'identification des auteurs de ces derniers.

3.1.3. NEOLITHIQUE MOYEN

La deuxième phase d'anthropisation en Bassin parisien se poursuit lors de la fenêtre temporelle suivante, associée au Néolithique moyen 1 (4600-4200 cal. BC). Cette période se situe toujours au sein de la ZVER V, attribuée à l'Atlantique récent. Elle est marquée par une stagnation, voire une très légère régression, des marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal régional. Le retrait de *Corylus* qui se poursuit et l'avancée corrélative de Poaceae atténuent l'impression d'un début de déprise anthropique. L'amorce d'une régression de *Quercus* et d'*Ulmus* sur les versants laisse même entrevoir le contraire, malgré l'apparente reconquête d'une partie des terrains libérés par *Tilia* et *Alnus*. Aucune évolution vraiment tranchée n'est cependant observable par rapport à la fenêtre temporelle précédente.

Les cultures du Cerny et du Chambon s'étendent sur les parties centrale et occidentale du Bassin parisien, tandis qu'à l'est c'est celle du Rössen qui se développe (CONSTANTIN 1989). C'est principalement le Cerny qui couvre l'aire géographique concernée par notre étude. Il se caractérise par un nombre assez conséquent de sites répartis dans l'ensemble des vallées du Bassin parisien. L'implantation territoriale variée des occupations permet une exploitation efficace des ressources d'aires écologiques variées (AUGEREAU & TRESSET 1992), facilitée par l'utilisation de nouveaux outils (faucilles, pioches, bêches, haches) (DUBOULOZ *et al.* 1989). On remarque la construction de grandes enceintes à vocation probablement défensive, mais également celle des premiers mégalithes dans le centre du Bassin parisien. Cette architecture imposante tant dans la sphère domestique que dans le domaine du funéraire laisse entrevoir une organisation sociale permettant un certain investissement collectif (DUBOULOZ *et al.* 1989). Toutes ces transformations n'induisent pourtant pas de modifications significatives de l'impact anthropique sur le milieu tel que perçu dans le couvert végétal estimé. C'est plutôt l'image d'une continuité, voire d'une légère régression de la rudéralisation par rapport à la fenêtre temporelle précédente qui ressort des estimations obtenues pour le Bassin parisien. La proximité relativement moins marquée que durant la fenêtre temporelle précédente entre sites archéologiques et séquences polliniques pourrait cependant masquer une éventuelle progression générale du niveau d'anthropisation sur la période. On peut d'autant plus

questionner cette légère déprise apparente que la majorité des séquences polliniques intégrées au modèle sont issues du bassin de la Marne, tandis que la plupart des occupations semblent se situer dans le bassin de la Seine.

Sur le Massif armoricain en revanche, des évolutions sont perceptibles au cours cette fenêtre temporelle dans les proportions des taxons marqueurs d'anthropisation. En effet, la part de *Cerealia* type diminue par rapport à la fenêtre temporelle précédente tandis que celle de *Plantago lanceolata* atteint un niveau très élevé. *Rumex acetosa* augmente quant à lui très légèrement. La dynamique progressive de Poaceae s'interrompt et s'inverse même, du fait de l'augmentation des proportions estimées de *Corylus*, *Tilia* et *Alnus*. *Quercus* et *Ulmus* voient au contraire leurs parts respectives se restreindre. Cette fenêtre correspond à la deuxième phase d'anthropisation du Massif armoricain (4600-4200 cal. BC), caractérisée par les réponses inversées de *Cerealia* type et des autres IPAs, ainsi qu'un début de reconquête des milieux ouverts par *Corylus* et *Tilia*.

Le passage au Néolithique moyen sur le Massif armoricain s'accompagne d'une augmentation du nombre de gisements retrouvés (KERDIVEL 2009), ainsi que d'une diversification des groupes culturels qui se développent alors en parallèle dans différentes parties de la région. La culture du Castellic (BAILLOUD 1975) occupe par exemple le Morbihan et la Loire-Atlantique durant l'ensemble de la période. La culture de Cerny, déjà rencontrée en Bassin parisien, semble se prolonger dans l'ouest du pays, et ce jusqu'à l'extrémité occidentale de la péninsule armoricaine, en Finistère (NICOLAS *et al.* 2013). Le site concerné est cependant plutôt positionné chronologiquement entre un VSG finissant et un Castellic naissant, soit au passage du Néolithique ancien au Néolithique moyen. La période est marquée par la construction d'imposants dolmens angevins, dont la répartition géographique est concentrée, comme leur nom l'indique, dans la région d'Angers en Maine-et-Loire. On en retrouve également plus au nord et au sud, jusque dans les départements limitrophes. Les résultats de notre étude, au sujet de la composition estimée du couvert végétal contemporain de ces cultures, ne présentent pas l'image d'une progression régulière de l'emprise humaine sur le milieu, comme on pourrait s'y attendre au vu du nombre de gisements reconnus, mais plutôt celle plus ambigüe d'une diminution de la céréaliculture combinée à une augmentation de la rudéralisation. On note tout de même l'observation du premier grain de pollen de *Cerealia* type en Ille-et-Vilaine (Moulin de Thévalles) (VISSET *et al.* 2005), l'ensemble des autres séquences livrant des enregistrements de ce taxon étant issues des seuls départements de Loire-Atlantique et du Morbihan, territoires de prédilection de la culture du Castellic.

Le passage à la fenêtre temporelle suivante, nommée Néolithique moyen 2 (4200-3750 cal. BC), marque l'entrée dans la troisième phase d'anthropisation du Massif armoricain qui se limite à cette même période. Elle se singularise par des proportions très importantes de *Cerealia* type et un recul majeur de celles de *Plantago lanceolata*. Ce recul ne doit néanmoins pas être considéré directement comme tel car il résulte d'un biais méthodologique évident. En effet, la majorité des auteurs des comptages polliniques, utilisés pour reconstruire le couvert végétal de cette fenêtre temporelle et des suivantes, n'a pas pratiqué une distinction entre *Plantago lanceolata* et un plus général *Plantago* sp. De ce fait, les grains de pollen de plantains indifférenciés se retrouvent tous sous le taxon *Plantago media* dans la modélisation. Par phénomène de vases communicants, celui-ci devrait donc voir ses proportions grimper en flèche. Il n'en est rien. On constate plutôt une stagnation, voire un discret recul, de ce taxon au cours de la période. Ceci nous permet au final de considérer le déclin de *Plantago lanceolata* comme avéré. La situation s'inverse donc par rapport à la fenêtre précédente concernant le rapport entre céréaliculture et rudéralisation. La part de Poaceae continue de diminuer du fait d'un certain regain de *Quercus* et du prolongement de la progression d'*Alnus*.

La fenêtre temporelle suivante, intitulée Néolithique moyen 3 (3750-3400 cal. BC), correspond au passage de la ZVER IVb (Atlantique récent) à la ZVER Va (première partie du Subboréal) sur le Massif armoricain. La reprise de Poaceae est consécutive d'une baisse des proportions de *Tilia*, *Corylus* et *Alnus*. Ce dernier voit d'ailleurs sa progression constante depuis

la période du Mésolithique final (5600-5300 cal. BC) stoppée. La dynamique des marqueurs d'anthropisation est elle aussi modifiée, marquant le passage de la troisième (4200-3750 cal. BC) à la quatrième (3750-2900 cal. BC) phase d'anthropisation du Massif armoricain. Les proportions importantes de *Cerealia* type observées au cours de la fenêtre temporelle précédente s'amenuisent largement, revenant à un taux comparable à celui de la période encore antérieure du Néolithique moyen 1 (4600-4200 cal. BC). Du coté de *Plantago lanceolata*, la régression semble se poursuivre à première vue, néanmoins le rebond observé des proportions de *Plantago media* laisse plutôt supposer une augmentation, appuyée par un léger regain de *Rumex acetosa*.

Dans l'ouest, la culture du Chasséen se serait développée entre 4400 et 3600 cal. BC, ce qui la placerait sur toute la fenêtre temporelle du Néolithique moyen 2 (4200-3750 cal. BC) et un peu au-delà. On différencie par ailleurs un Chasséen septentrional au nord de la Loire, d'un Chasséen d'Auzay au sud (JOUSSAUME 1981). Durant cette période, le mégalithisme funéraire se développe, notamment en zone littorale, avec la construction de dolmens à couloirs et de tumulus dont le rôle de marquage du territoire à été proposé (RENFREW 1976). Une culture sur brulis adaptée aux environnements littoraux est pratiquée, comme en attestent les indices retrouvés à Locmariaquer en Morbihan (GEBHARDT 1990). Cette période de changements culturels et de constructions monumentales se traduit dans un premier temps au niveau du couvert végétal estimé par une croissance importante de la céréaliculture, accompagnée en revanche d'un franc déclin de la rudéralisation. Autre point marquant, c'est au cours de cette fenêtre temporelle (4200-3750 cal. BC) que sont observés les premiers grains de pollen de *Cerealia* type en Finistère à Saint Jean du Doigt (Aoustin & Marguerie in prep.), mais également en Mayenne à Glatinié (BARBIER 1999). Ils continuent cependant à être majoritairement observés en Loire-Atlantique et Morbihan, mais également en Ille-et-Vilaine. Dans un second temps (3750-3400 cal. BC), la chute des proportions de *Cerealia* type accompagnée d'une hausse probable de la rudéralisation semble ramener le niveau d'anthropisation du milieu à un stade rencontré au cours de périodes plus anciennes.

Ainsi, sur l'ensemble du Néolithique moyen armoricain, l'augmentation de l'impact anthropique attendue, du fait du nombre croissant de gisements découverts par rapport au Néolithique ancien (KERDIVEL 2009), n'intervient clairement qu'au bout de 400 ans environ, malgré une hausse rapide de la rudéralisation. Elle ne perdure ensuite que sur la durée de la fenêtre temporelle associée au Néolithique moyen 2 (4200-3750 cal. BC) avant de décroitre subitement au cours de la fenêtre rattachée au Néolithique moyen 3 (3750-3400 cal. BC).

En Bassin Parisien, la situation est différente mais le passage d'une fenêtre temporelle à l'autre autour de 3750 cal. BC marque là aussi la transition entre deux ZVERs. La période associée au Néolithique moyen 2 (4200-3750 cal. BC) correspond à la toute fin de la ZVER V (Atlantique récent), tandis que la suivante (3750-3400 cal. BC) illustre l'entrée dans la ZVER VIa (première partie du Subboréal). Cette rupture dans la végétation estimée se manifeste par l'entrée en récession de *Tilia*, accompagnée par la baisse de l'ensemble des autres taxons arboréens, hormis *Alnus*. En conséquence de quoi, la part relative de Poaceae connait une augmentation notable dans le couvert végétal reconstitué. Du coté des marqueurs d'anthropisation, la seule baisse de *Plantago lanceolata* entre Néolithique moyen 1 et 2 n'est pas considérée suffisante pour justifier la distinction d'une nouvelle phase d'anthropisation, les autres taxons marqueurs conservant des proportions quasiment identiques à la période précédente. La fenêtre temporelle suivante (3750-3400 cal. BC) en revanche s'en démarque par une progression importante de la part de *Cerealia* type, accompagnée par l'augmentation notable des proportions de *Plantago lanceolata*. Celles de *Rumex acetosa* demeurent quant à elles assez stables. Cette transition correspond ainsi au passage de la deuxième (5000-3750 cal. BC) à la troisième (3750-2900 cal. BC) phase d'anthropisation du Bassin parisien.

Comme pour le Massif armoricain, on assiste en Bassin parisien à une diversification des cultures au passage à la fenêtre temporelle associée au Néolithique moyen 2. La culture du Chasséen septentrional s'étend sur les bassins de l'Oise et de l'aval de la Seine (BLANCHET & MARTINEZ 1986, MARTINEZ & DAVID 1991). Dans la vallée de l'Aisne, c'est la culture de

Michelsberg qui se développe (DUBOULOZ *et al.* 1986, LE BOLLOCH 1984), tandis que la vallée de la Marne reçoit des influences issues de ces deux cultures. Le groupe de Noyen est observé dans la partie sud-est du Bassin parisien (MORDANT 1984b). La deuxième partie du Néolithique moyen est marquée par la construction de nombreuses grandes enceintes dans l'ensemble de la région (DUBOULOZ *et al.* 1991, MORDANT 1989). Dans le domaine funéraire, le contraste est marquant entre la fréquence relative des imposants mégalithes et tumulus de l'ouest du pays et la rareté de ce type de structures en Bassin parisien. Les datations récentes associées des sépultures de la deuxième partie du Néolithique moyen (CHAMBON *et al.* 2007) et celles anciennes attribuées à des hypogées du Néolithique récent (DONAT *et al.* à paraître), les plaçant ainsi au sein d'une même période, ont suscité la création d'une nouvelle subdivision correspondant grossièrement à la fenêtre temporelle associée au Néolithique moyen 3 (3750-3400 cal. BC).

Certains auteurs avancent une concrétisation de mutations socio-économiques amorcées dès la première partie du Néolithique moyen et aboutissant à une exploitation plus poussée des ressources naturelles comme on l'observe au niveau des minières à silex (AUGEREAU & HAMARD 1991). Si dans un premier temps (4200-3750 cal. BC) ces mutations ne semblent pas suivies d'une progression du niveau des cultures et pratiques agricoles, du moins telles qu'estimées dans notre reconstruction du couvert végétal, on note en revanche un saut quantitatif dans les proportions relatives de *Cerealia* type et *Plantago lanceolata* au passage de la fenêtre temporelle associée au Néolithique moyen 2 (4200-3750 cal. BC) à celle du Néolithique moyen 3 (3750-3400 cal. BC). La proximité entre sites archéologiques découverts et points de prélèvement polliniques semble comparable pour les deux périodes et, là encore, la sélection des séquences polliniques pour la modélisation fait que le bassin de la Seine (Bassée) qui regroupe la plupart des occupations ne contribue que très peu à la reconstruction du couvert végétal. On peut donc supposer que l'impression d'un impact anthropique croissant aurait pu être encore plus forte. Parallèlement, la construction de nombreuses grandes enceintes a du s'accompagner de défrichements relativement importants visant à obtenir le bois nécessaire pour bâtir ces structures imposantes (LEROYER 1997). On remarque dans le couvert végétal estimé une baisse tendancielle des proportions de la plupart des taxons arboréens au cours du Néolithique moyen qui culmine durant la fenêtre temporelle associée au Néolithique moyen 3. Cette baisse est d'autant plus marquée autour de 3750 cal. BC qu'elle correspond au passage de la ZVER V (Atlantique récent) à la ZVER VI (Subboréal) du Bassin parisien. Si cette tendance observée au sein de la majorité des taxons arboréens semble contemporaine de l'établissement des enceintes de la deuxième partie du Néolithique moyen, il parait néanmoins assez clair qu'elle ne trouve pas sa source dans l'action des populations de l'époque. En effet, ces derniers ont probablement privilégié l'abatage de certaines essences propres à la construction et pas une coupe indifférenciée de l'ensemble des taxons. Ainsi, si la main de l'homme est vraisemblablement venue y apporter sa contribution, le déclin général des ligneux tire davantage son origine d'une grande tendance évolutive qui s'intègre à l'histoire de la végétation holocène du Bassin parisien.

3.1.3. NEOLITHIQUE RECENT

La fenêtre temporelle associée au Néolithique récent (3400-2900 cal. BC) prolonge la précédente concernant la plupart des taxons dans le couvert végétal estimé du Bassin parisien. En effet, la part de Poaceae stagne du fait d'une compensation de la légère hausse d'*Alnus* par une légère baisse de *Tilia*, les proportions des autres taxons arboréens demeurant quasiment identiques d'une fenêtre à l'autre. Du coté des IPAs, hormis la baisse légère des proportions de *Plantago lanceolata*, le constat est le même. Ceci conforte le regroupement de ces deux fenêtres temporelles successives au sein d'une même phase d'anthropisation (3750-2900 cal. BC), la troisième pour le Bassin parisien.

La culture de Seine-Oise-Marne (SOM) a été définie comme se développant au niveau des bassins de ces trois cours d'eau (BAILLOUD 1979), soit sur la majeure partie de notre aire d'étude, entrainant ainsi un retour à une certaine homogénéité culturelle dans la région. Cette

homogénéité a cependant été remise en question plus récemment (SALANOVA *et al.* 2011), du fait de la distinction d'influences d'origines diverses selon les bassins considérés. On connait mal l'habitat de l'époque, du fait de la mauvaise conservation de ses structures peu profondes, mais on remarque l'abandon des sites fortifiés de la période précédente. En revanche, la construction de monuments mégalithiques et hypogées bat son plein et marque cette phase de son empreinte sur l'ensemble de la zone. Le développement de ces sépultures collectives est en effet l'un des critères qui caractérisent la transition entre Néolithique moyen et récent dans la région. La rupture remarquée dans l'occupation des sites fortifiés semble ne pas trouver d'écho dans les proportions estimées des différents taxons pour la fenêtre temporelle considérée. En effet, la constance des proportions des IPAs, de Poaceae et de la majeure partie des taxons arboréens plaide plutôt pour la continuité vis-à-vis de la période précédente et le maintien d'un fort taux d'anthropisation. Le développement des sépultures collectives serait donc contemporain d'un haut niveau d'anthropisation observé dans le couvert végétal estimé. La proximité des vestiges et sites archéologiques par rapport aux points de sondages polliniques contribue néanmoins vraisemblablement pour partie à ce résultat.

Les proportions obtenues pour la fenêtre temporelle associée au Néolithique récent (3400-2900 cal. BC) sur le Massif armoricain présentent elles aussi une certaine continuité par rapport à la précédente. Dans le domaine des marqueurs d'anthropisation, la baisse enregistrée dans les proportions de *Cerealia* type, *Rumex acetosa* et *Plantago lanceolata* et *Pl. media* conjointement, ne fait qu'entériner une dynamique régressive déjà amorcée lors de la période antérieure (3750-3400 cal. BC), confirmant l'attribution de ces deux fenêtres à une même phase d'anthropisation (3750-2900 cal. BC). Concernant les taxons arboréens, le recul de *Quercus* compense partiellement la hausse de *Corylus* et d'*Alnus*, entrainant la stagnation des proportions de Poaceae.

Sur le Massif armoricain, la dynamique culturelle n'est pas à l'homogénéisation régionale mais à la diversification des cultures en présence. Dans la partie au sud de la Loire, plusieurs entités culturelles, différenciées sur la base de leur mobilier céramique, se développent à peu près à la même époque. La culture du Peu-Richardien (ESCHASSERIAUX 1882) succède généralement à celle de Matignons (BURNEZ & CASE 1966) formant ainsi un cycle Matignons/Peu-Richard. Parallèlement, les groupes de Vienne-Charente (RIQUET 1953) et de Taizé (HEBRAS 1965) s'implantent en Loire-Atlantique et Vendée. Sur le littoral armoricain, la culture de Kerugou (L'HELGOUACH 1965) s'étendrait du sud Finistère jusqu'au sud de la Loire au cours du Néolithique récent et s'achèverait vers 2500 cal. BC durant le Néolithique final (BLANCHARD 2012). La culture de Groh-Collé (L'HELGOUACH 1962) couvrirait en partie les mêmes territoires, du littoral morbihannais jusqu'au pays de Retz (GUYODO 2001). L'influence de la culture de SOM se serait également faite ressentir sur la région malgré son origine plus orientale. Ce dynamisme culturel ne semble pas profiter au développement des pratiques agricoles et pastorales si l'on en juge par l'unanimité du recul des marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal estimé. La reconquête des terrains autrefois cultivés semble effectuée par *Corylus* qui progresse fortement sur la période, tout comme *Alnus* en ripisylve. Cette image d'une déprise anthropique affirmée tranche avec l'augmentation drastique du nombre de gisements archéologiques recensés par Kerdivel (2009) pour la période regroupant l'ensemble du Néolithique récent et du Néolithique final. Cependant, l'absence d'information sur la proximité des points de sondage aux sites archéologiques nous empêche pour le moment de tirer des conclusions définitives à partir de ces observations.

3.1.4. NEOLITHIQUE FINAL

La fenêtre temporelle associée au Néolithique final 1 (2900-2500 cal. BC) sur le Massif armoricain marque le retour de proportions relativement importantes de *Cerealia* type, accompagné d'une très légère hausse de *Rumex acetosa*. La discrète progression de la part de

Plantago lanceolata est nuancée par le recul de celle de *Plantago media*. Ces variations justifient le passage à la cinquième phase d'anthropisation du Massif armoricain (2900-2200 cal. BC). Du coté des taxons arboréens, la hausse des proportions de *Quercus* et *Salix* est contrebalancée par la régression de *Corylus* et d'*Alnus*. Ces dynamiques concurrentes, conjuguées à la stagnation des autres taxons arboréens, aboutissent à une stabilité des proportions de Poaceae sur la période. La situation n'évolue qu'à la marge lors de la fenêtre temporelle suivante, rattachée au Néolithique final 2 (2500-2200 cal. BC). Une diminution des proportions de *Cerealia* type s'amorce mais celles-ci demeurent relativement importantes vis-à-vis de l'ensemble des autres périodes du Néolithique. *Rumex acetosa* et *Plantago lanceolata* présentent des niveaux stables par rapport à la période précédente, seul *Plantago media* progresse légèrement. La part de Poaceae affiche elle aussi une certaine constance, du fait du jeu à somme nulle observé entre les proportions des différents taxons arboréens qui voient encore une fois leurs dynamiques respectives s'inverser en cette première partie de Subboréal délimitée par la ZVER Va du Massif armoricain (3750-2200 cal. BC).

Tout comme le Néolithique récent, le Néolithique final armoricain est constitué d'un nombre conséquent de cultures et groupes culturels particuliers. Les cultures du Kerugou et du Peu-Richardien, déjà représentées lors de la période antérieure, débordent sur la fenêtre temporelle du Néolithique final 1 (2900-2500 cal. BC), même constat concernant le groupe de Taizé en Loire-Atlantique (3200-2500 cal. BC). De nouvelles cultures sont tout de même reconnues au cours de ce début de Néolithique final armoricain. Au nord et à l'est de la Bretagne se développe la culture du Quessoy (L'HELGOUACH 1965). Entre littoral morbihannais et Ille-et-Vilaine (TINEVEZ & NICOLAS 2004), on retrouve la culture de Conguel. Enfin, la culture de l'Artenacien s'étendrait sur un grand quart sud-ouest de la France borné par la Loire et les Pyrénées (LAPORTE 1996). Entre la fin de la fenêtre temporelle associée au Néolithique final 1 et la fenêtre suivante, une vaste évolution paneuropéenne, nommée phénomène Campaniforme, va recouvrir l'ensemble de ces aires culturelles. On retrouve des témoins de cette culture tout au long des 3000 km de côtes atlantiques de l'Europe de l'ouest, des Pays-Bas à la Péninsule ibérique (BRIARD 1996). Ces évolutions culturelles semblent dans un premier temps se traduire par une augmentation importante de l'impact anthropique, dont témoigne la progression générale des IPAs lors de la fenêtre temporelle associée au Néolithique final 1 (2900-2500 cal. BC). Ceci pourrait alors s'accorder avec le grand nombre de gisements recensés pour le Néolithique récent et final (KERDIVEL 2009). Cependant, lors du passage à la fenêtre suivante (2500-2200 cal. BC) correspondant à l'expansion du phénomène Campaniforme dans la région, on constate un léger recul de *Cerealia* type. Toutefois, ses proportions demeurent à un niveau élevé et les autres marqueurs d'anthropisation ne semblent pas affectés, voire progressent légèrement.

En Bassin parisien, la fenêtre temporelle associée au Néolithique final 1 (2900-2500 cal. BC) tranche avec la précédente dans le couvert végétal estimé. En effet, on observe une chute subite des proportions de Poaceae entre ces deux périodes, résultant d'une hausse importante des proportions d'*Alnus*, accompagnée par la progression générale de l'ensemble des taxons arboréens, hormis *Tilia*. Cette rupture marque le passage de la sous-zone VIa (3750-2900 cal. BC) à la sous-zone VIb (2900-1350 cal. BC) au sein de la ZVER VI du Bassin parisien attribuée au Subboréal. Concernant les taxons marqueurs d'anthropisation, une transition est également perceptible, correspondant au passage de la troisième (3750-2900 cal. BC) à la quatrième (2900-2200 cal. BC) phase d'anthropisation dans la région. En effet, la part de *Cerealia* type diminue fortement, suivie dans une moindre mesure par *Rumex acetosa*. Les plantains demeurent quant à eux stables voire progressent très légèrement. La situation s'inverse au cours de la fenêtre temporelle suivante avec un retour appuyé des proportions de *Cerealia* type, jusqu'à des taux précédemment atteints pour les fenêtres du Néolithique moyen 2 et 3. Ce regain de la part de *Cerealia* type est accompagné par celui de *Rumex acetosa* et par un déclin de *Plantago media*. Parmi les taxons arboréens, le prolongement de la hausse de *Corylus* et la reprise de *Tilia* compensent les reculs observés pour *Alnus*, *Ulmus* et *Salix*, concourant ainsi à la stagnation de la part de Poaceae.

Cette phase finale du Néolithique du Bassin parisien correspond dans la région au retour d'inhumations individuelles sous tumulus et au développement de la métallurgie du cuivre (GUILAINE & ROUSSOT-LARROQUE 1989), induisant ainsi l'utilisation du terme Chalcolithique pour qualifier cette période. Durant la première partie de cette phase, couvrant la fenêtre temporelle associée au Néolithique final 1 (2900-2500 cal. BC), le groupe de Gord (BLANCHET 1984a) s'étend sur la partie centrale du Bassin parisien qui correspond à notre zone d'étude. De nombreux restes de mobilier domestique ont été mis au jour (SALANOVA *et al.* 2011) dans la région mais l'habitat lui-même demeure mal connu. Lors de la fenêtre temporelle suivante (2500-2200 cal. BC), le phénomène Campaniforme atteint le Bassin parisien mais il y est mal représenté (SALANOVA *et al.* 2011) et semble cantonné aux grandes vallées. En parallèle de cette culture se développe le Groupe des Urnes à Décor Plastique (GUDP) (BLANCHET 1984a,1988). La fenêtre temporelle associée au Néolithique final 1, correspondant à l'extension du groupe de Gord, se marque dans la végétation estimée par la baisse des proportions de *Cerealia* type et *Rumex acetosa*, donnant l'impression d'une diminution franche de la céréaliculture sur la période. Cependant, l'analyse de la localisation des points de prélèvement polliniques vis-à-vis des occupations connues pour l'époque révèle un éloignement des sondages par rapport aux sites si l'on compare cette fenêtre temporelle avec la précédente. On note également que la sélection de séquences opérée pour la modélisation évite la plupart des occupations reconnues *in situ* ou à proximité. Le retour à des proportions de *Cerealia* type équivalentes aux fenêtres du Néolithique moyen 3 et du Néolithique récent lors de la période suivante (2500-2200 cal. BC) peut également trouver une explication plausible dans la sélection de séquences plus proches des occupations. Néanmoins, la progression générale des taxons arboréens au cours de cette première fenêtre du Néolithique final (2900-2500 cal. BC) générant une chute de la part de Poaceae vient tout de même appuyer l'impression de déprise anthropique par rapport au Néolithique moyen et récent.

3.1.5. ÂGE DU BRONZE

Dans le Bassin parisien, la fenêtre temporelle associée au Bronze ancien (2200-1650 cal. BC) présente une légère hausse de la part de Poaceae résultant du recul d'*Alnus* et *Tilia* dans le couvert végétal estimé, malgré une reprise appuyée de *Quercus* et d'*Ulmus*, et dans une moindre mesure de *Salix*. Si les proportions de *Cerealia* type affichent un net recul par rapport à la fenêtre précédente, on observe l'inverse pour *Plantago lanceolata* et *Plantago media*. Quant à *Rumex acetosa*, sa part dans la végétation estimée demeure stable. Ces modifications des proportions de la plupart des IPAs concourent à la distinction d'une cinquième phase d'anthropisation du Bassin parisien, limitée à cette seule fenêtre temporelle (2200-1650 cal. BC).

Au cours du Bronze ancien puis moyen, une partie de la région du Bassin parisien s'inscrit dans le cadre plus vaste du groupe Manche-Mer du Nord (MMN) (GOUGE & PEAKE 2005), perpétuant ainsi la dynamique d'intégration au sein du domaine d'influence Atlantique, déjà initiée dans une certaine mesure au Campaniforme. Brunet *et al.* (2009) relèvent quant à eux une certaine ambivalence entre le monde Atlantique et le monde Continental dans la basse vallée de la Marne. Ils notent que l'implantation des occupations s'y fait essentiellement en fond de vallée, parfois sur les coteaux et rarement sur les rebords de plateau. Cependant, Salanova et al. (2011) soulignent que les caractéristiques des quelques sites retrouvés au sein du bassin de la Marne ne peuvent être généralisées à l'ensemble de la région qui, pour le reste, souffre d'une documentation indigente. Cette rareté des vestiges a pu être imputée à un biais taphonomique, mais une certaine déprise humaine n'est cependant pas totalement écartée (BLANCHET & TALON 2005, GOUGE & PEAKE 2005). Cette période se traduit dans les proportions estimées des taxons marqueurs d'anthropisation par des résultats ambigus. En effet, si la rudéralisation du milieu semble progresser très nettement depuis la fin du Néolithique, à l'image des augmentations de proportions de *Plantago lanceolata* et *media*, la céréaliculture en revanche marque le pas et régresse fortement pour cette première fenêtre temporelle de l'âge du Bronze. L'examen des

distances des points de sondage aux occupations reconnues nous permet cependant de relativiser cette chute. Il ressort en effet que la plupart des séquences associées à des vestiges archéologiques n'ont pas été sélectionnées pour la reconstruction du couvert végétal, pénalisant ainsi probablement l'enregistrement de *Cerealia* type pour la période.

Concernant le Massif armoricain, le passage de la fenêtre temporelle précédente à cette première fenêtre de l'âge du Bronze correspond à la transition de la sous-zone Va (3750-2200 cal. BC) à la sous-zone Vb (2200-1350 cal. BC) qui composent la ZVER V attribuée au Subboréal dans la région. Elle se marque par la régression de la plupart des taxons arboréens, entrainant une augmentation importante de la part de Poaceae. Seuls *Tilia*, *Fagus* et *Salix* progressent dans le couvert végétal estimé mais pas suffisamment pour inverser cette tendance à l'ouverture du milieu. L'évolution des marqueurs d'anthropisation renvoie pour cette région également l'image d'une céréaliculture déclinante tandis que la rudéralisation stagne voire progresse si l'on observe les proportions de *Plantago media*. On passe donc dans la sixième phase d'anthropisation du Massif armoricain limitée ici aussi à cette seule fenêtre temporelle.

De façon bien plus nette que pour le Bassin parisien, la région du Massif armoricain se rattache au domaine Atlantique couvrant la façade littorale de l'Europe de l'ouest. Un Bronze ancien Atlantique, couvrant la période 2200-1650 cal. BC, a été défini par Briard (1996). Il se caractérise par une production métallique croissante contribuant au dynamisme de la région et à l'ascension d'élites locales au terme d'un processus de hiérarchisation sociale (MORDANT 2008) marqué par le phénomène des tombes « princières ». Dans le domaine agricole, des changements semblent être à l'œuvre avec notamment la mise en place d'un parcellaire observée dans la région voisine de Normandie qui relève également du domaine Atlantique (MARCIGNY & GHESQUIERE 2008). On pourrait attendre du couvert végétal estimé pour cette période, caractérisée par un fort dynamisme régional observé dans la production métallique, des résultats témoignant d'une anthropisation croissante du milieu. Toutefois, comme en Bassin parisien, ceux-ci s'avèrent plutôt partagés avec une diminution des proportions de *Cerealia* type, accompagnée de la stagnation de *Rumex acetosa* et *Plantago lanceolata*. Seul *Plantago media*, qui regroupe en Massif armoricain les occurrences de plantains non différenciés, progresse dans la végétation estimée. L'absence d'informations au sujet de la distance des points de sondages polliniques aux sites archéologiques ne nous permet pas ici de pondérer cette impression de déprise anthropique par l'observation d'un éloignement croissant entre lieux d'émission du pollen et lieux d'enregistrement, comme ce fut le cas pour le Bassin parisien. Néanmoins, il est intéressant de remarquer que des proportions semblables des différents marqueurs d'anthropisation (hormis *Plantago lanceolata* pour les raisons déjà évoquées plus haut) sont obtenues de part et d'autre du quart nord-ouest de la France alors que les observations archéologiques sont nombreuses à l'ouest et rares à l'est.

La fenêtre temporelle associée au Bronze moyen (1650-1350 cal. BC) voit dans le couvert végétal estimé du Massif armoricain la tendance à la hausse de la part de Poaceae se poursuivre, du fait de la diminution des proportions de *Corylus*, *Ulmus*, *Quercus* et *Alnus*. *Tilia* est le seul taxon arboréen à voir sa part augmenter par rapport à la période précédente. Une nouvelle phase d'anthropisation, la septième pour le Massif armoricain (1650-1350 cal. BC), correspond à cette fenêtre temporelle. Elle se marque par une progression fulgurante de la part de *Cerealia* type, concomitante d'un recul des proportions de *Rumex acetosa* et *Plantago lanceolata*, même si celles de *Plantago media* en revanche augmentent.

La période de l'âge du Bronze moyen dans le domaine Atlantique (1650-1350 cal. BC), voit la production métallique s'amplifier avec la mise en place de productions en série de haches, bracelets, poignards et jambières (BRIARD 1989, MOHEN & OLIVIER 1989). Les échanges se développent entre régions pourvues de matières premières nécessaires à la métallurgie, comme l'Armorique, et régions qui en sont dépourvues, comme le Bassin parisien. Cette période d'expansion de la production matérielle semble correspondre à un développement de la céréaliculture sur le Massif armoricain, même si parallèlement les indices de rudéralisation ne

suivent pas. La progression de la part de Poaceae et le recul général des taxons arboréens démontre tout de même une tendance lourde à l'ouverture du paysage depuis le début de l'âge du Bronze, que celle-ci soit le fait des sociétés en présence ou pas.

L'image ressortant des estimations de végétation du Bassin parisien pour cette fenêtre temporelle est assez similaire à celle décrite pour le Massif armoricain, tant dans la dynamique générale que dans les proportions observées pour chacun des taxons considérés. En effet, là aussi la tendance à une régression globale des proportions des taxons arboréens est attestée et conduit à une augmentation de la part de Poaceae. Seul *Fagus* progresse par rapport à la période précédente. Toutefois, la progression de Poaceae demeure discrète de par le poids pris par les taxons marqueurs d'anthropisation dans le couvert végétal estimé. *Cerealia* type voit ses proportions grimper jusqu'à un niveau encore jamais atteint durant les phases précédentes de l'Holocène et, contrairement au Massif armoricain, la rudéralisation progresse aussi au travers des proportions croissantes de *Plantago lanceolata*. Ces changements importants de représentation des IPAs dans la végétation estimée marquent l'entrée dans la sixième phase d'anthropisation du Bassin parisien qui s'étend sur tout le reste de l'âge du Bronze (1650-800 cal. BC).

Au cours du Bronze moyen, la production métallique qui s'est amplifiée dans les régions disposant de ressources propres atteint également les régions qui en sont dépourvues grâce aux échanges de matières premières et au développement d'ateliers régionaux (MORDANT 2008). C'est notamment le cas du Bassin parisien qui, placé entre les deux pôles de dynamisme que sont la façade Atlantique et le domaine Nord-Alpin, profite des échanges entre ces deux zones. Cependant, comme pour la période du Bronze ancien, très peu de vestiges d'habitat du Bronze moyen ont pu être identifiés en Bassin parisien (BLANCHET & TALON 2005, BRUNET *et al.* 2009). L'augmentation de la céréaliculture observée dans la reconstruction du couvert végétal pour cette fenêtre temporelle tranche donc d'autant plus avec les faibles proportions de *Cerealia* type estimées pour la fenêtre précédente. La proportion de séquences polliniques prélevées à proximité de sites archéologiques n'a d'ailleurs guère évolué entre ces deux périodes.

La fenêtre temporelle associée au Bronze final 1 (1350-1020 cal. BC) correspond au début d'une nouvelle ZVER en Bassin parisien. On passe en effet de la ZVER VI (3750-1350 cal. BC), attribuée au Subboréal, à la ZVER VII (1350-250 cal. BC), attribuée au Subatlantique ancien. Cette transition se traduit par une forte hausse de Poaceae dans le couvert végétal estimé, résultant de la chute des proportions de tous les taxons arboréens hormis *Fagus*. Du coté des taxons marqueurs d'anthropisation, la transition se fait nettement moins sentir et place plutôt cette période dans la continuité de la précédente. En effet, la tendance à l'augmentation de la rudéralisation se poursuit avec l'augmentation des proportions de *Rumex acetosa*, *Plantago lanceolata* et *Plantago media*, tandis que la part de *Cerealia* type stagne mais toujours à un niveau très élevé. Le recul observé pour ce taxon lors de la fenêtre temporelle suivante (1020-800 cal. BC), associée au Bronze final 2, est concomitant d'une progression importante des proportions de *Plantago lanceolata* et *media*. Cependant, ces résultats provenant d'un calcul basé sur une seule séquence pollinique issue d'un bassin de petite taille, le crédit que l'on peut leur accorder est faible. Les fortes variations observées pour certains taxons doivent donc être relativisées.

Au cours de l'âge du Bronze final (1350-800 cal. BC), la partie nord-ouest du Bassin parisien appartient pleinement au domaine Atlantique, tandis que la partie sud-est reçoit davantage les influences des pôles nord-alpin et oriental (BILLAND & TALON 2007). Le développement de la culture Rhin-Suisse-France Orientale (RSFO) serait à l'origine d'un mouvement de colonisation vers l'ouest entre les XIIème et XIème siècles avant notre ère qui se serait heurté à une résistance des communautés de la façade atlantique (GOUGE 2008). Une zone de « frontière » se serait matérialisée entre ces deux influences par la construction de sites fortifiés comme on en retrouve dans l'Oise (BLANCHET 2001). L'hypothèse d'une pression sur la terre en zone sud-est occasionnée par une densité croissante de population, si elle reste encore à confirmer à l'heure

actuelle (GOUGE 2008), pourrait néanmoins correspondre à la progression observée au sein des proportions de taxons rudéraux et aux niveaux élevés de *Cerealia* type pour la période associée au Bronze final 1 (1350-1020 cal. BC). L'abondance de sites retrouvés pour le Bronze final tranche avec les phases ancienne et moyenne de l'âge du Bronze en Bassin parisien (BLANCHET 1989b, BLANCHET & TALON 2005). Ainsi, la concentration plus forte de sites archéologiques mis au jour induit un rapprochement entre ces derniers et les séquences polliniques sélectionnées. Ce rapprochement participe donc probablement pour partie du haut niveau d'anthropisation enregistré dans le couvert végétal estimé.

Sur le Massif armoricain, le passage de la ZVER V (3750-1350 cal. BC), associée au Subboréal, à la ZVER VI (1350 cal. BC à 475 cal. AD), attribuée au Subatlantique ancien, traduit également une hausse importante de la part de Poaceae, due au déclin de la majorité des taxons arboréens hormis *Fagus* qui poursuit sa progression dans le couvert végétal estimé. Cette régression des arboréens sur la fenêtre temporelle associée au Bronze final 1 (1350-1020 cal. BC) semble toutefois moins marquée qu'en Bassin parisien à la même époque. Si les proportions de *Plantago lanceolata*, *Plantago media* et *Rumex acetosa* progressent de concert par rapport à la période précédente, la part de *Cerealia* type subit en revanche un recul marqué. La légère progression observée pour ce taxon lors de la fenêtre suivante (1020-800 cal. BC), rattachée au Bronze final 2, est loin de permettre un retour aux proportions atteintes pour la période du Bronze moyen (1650-1350 cal. BC). Les autres IPAs affichent une certaine progression au cours de cette ultime fenêtre de l'âge du Bronze, mais celle-ci ne modifie pas sensiblement l'image de l'impact des populations sur leur milieu par rapport à la période précédente. Les deux fenêtres temporelles associées au Bronze final sont donc regroupées au sein d'une huitième phase d'anthropisation du Massif armoricain (1350-800 cal. BC). La proximité de sites archéologiques par rapport aux points de prélèvement des séquences augmente concernant cette fin d'âge du Bronze, ce qui ne semble cependant pas modifier drastiquement la perception de l'impact anthropique tel qu'enregistré dans les profils polliniques.

La dynamique de l'habitat en domaine Atlantique, dont fait pleinement partie le Massif armoricain, est à la concentration, menant ainsi à l'apparition des premiers villages comme celui reconnu à Cahagnes dans le Calvados (JAHIER 2005). La diminution relative de la céréaliculture dans les estimations de végétation, ne doit pas être directement interprétée comme un signal de déprise anthropique durant le Bronze final. En effet, les progressions conjointes de la rudéralisation et de l'ouverture du paysage peuvent tout aussi bien concourir à l'impression inverse. Une hypothèse éventuelle pour expliquer cette diminution des proportions de *Cerealia* type dans le couvert végétal estimé serait de considérer que le regroupement de l'habitat opéré durant cette période aurait eu pour effet de diminuer la dispersion géographique des fermes. La concentration des surfaces cultivées aboutissant à des champs moins régulièrement répartis sur le territoire et finalement à un éloignement des lieux d'émission du pollen de *Cerealia* type par rapport aux points de sondage.

3.2. COMPARAISON DES EVOLUTIONS REGIONALES DE L'IMPACT ANTHROPIQUE ENTRE LE DEBUT DU NEOLITHIQUE ET LA FIN DE L'AGE DU BRONZE

Les relations entre résultats de la modélisation du couvert végétal et informations archéologiques rassemblées pour chacune des périodes considérées en Bassin parisien et Massif armoricain ayant été décrites, nous pouvons maintenant dégager des enseignements plus généraux sur l'évolution de l'impact anthropique entre Néolithique et âge du Bronze dans ces deux régions.

En Bassin parisien, on note une lente mais néanmoins inexorable marche vers une anthropisation croissante du milieu au cours du Néolithique puis de l'âge du Bronze, seulement interrompue par deux phases de recul, l'une au cours de la fenêtre temporelle relative au Néolithique final 1, l'autre au cours de celle relative au Bronze ancien. Il a été discuté plus haut de la représentativité des proportions d'IPAs obtenues pour chacune de ces périodes, ainsi que pour les périodes qui les encadrent. On remarque un biais potentiel relevant de la variabilité de l'éloignement des points de sondages polliniques aux sites archéologiques d'une fenêtre temporelle à l'autre. On ne peut donc exclure l'hypothèse d'un artefact méthodologique concernant ces ruptures dans la dynamique d'anthropisation, ce qui conforterait l'impression d'une progression continue de l'emprise humaine sur le paysage.

Sur le Massif armoricain, l'enregistrement de l'anthropisation du milieu présente un aspect nettement plus arythmique qu'en Bassin parisien, avec un changement de dynamique intervenant quasiment lors de chaque passage d'une fenêtre temporelle à l'autre. L'impression générale ressortant néanmoins de ces évolutions est celle d'une progression de l'impact anthropique entre Mésolithique final 1 et Néolithique moyen 2, interrompue entre Néolithique moyen 3 et Néolithique récent, puis reprenant au cours du Néolithique final, avant de connaitre une nouvelle interruption au Bronze ancien et de redémarrer ensuite au Bronze moyen. Cette irrégularité pourrait à première vue être interprétée comme un indice d'une plus grande labilité de l'implantation humaine sur le Massif armoricain au cours du Néolithique. Pourtant, cette image globale diffère totalement de celle donnée par le recensement des gisements archéologiques mis au jour dans la zone d'interface entre Bassin parisien et Massif armoricain (KERDIVEL 2009). Celui-ci témoigne en effet d'une progression régulière, voire même exponentielle, des découvertes archéologiques entre le début et la fin du Néolithique suivant que l'on se réfère au nombre de gisements, à leur fréquence par intervalle de temps fixe ou au poids des restes généralement retrouvés sur les sites (cf. I.2). Ces deux approches renvoient donc une image très différente de l'évolution des sociétés néolithiques dans l'ouest de la France.

En l'absence d'informations quant à la proximité des séquences utilisées dans notre étude vis-à-vis des sites archéologiques, l'analyse des changements de proportions des taxons marqueurs d'anthropisation sur le Massif armoricain s'avère limitée. En effet, il parait difficile en l'état de faire la part entre des changements de proportions relevant d'évolutions bien réelles à l'échelle régionale, et d'autres relevant plutôt d'une variation de la distance entre lieux d'émission (occupations et terrains cultivés à l'époque) et lieux d'enregistrement (points de sondages polliniques) du pollen. Si le modèle REVEALS permet d'intégrer le facteur de la distance entre points d'émission et de points de déposition du pollen dans le cas d'enregistrements polliniques issus de grands lacs (SUGITA *et al.* 2008), dans le cas présent la dimension modeste des bassins de sédimentation (cf. II.2.2.1) doit nous pousser à la prudence dans l'interprétation des résultats de la modélisation du couvert végétal, qui plus est concernant des taxons faiblement représentés dans la végétation estimée et combinant vitesse de chute des grains de pollen importante et productivité pollinique relativement faible (MAZIER *et al.* 2012). Toutefois, le nombre de sites entrant en jeu dans la modélisation du couvert végétal du Massif armoricain est assez conséquent et s'approche pour certaines fenêtres temporelles de la barre des 30 sites choisie par Sugita (2007a) pour illustrer la cohérence des reconstructions à partir de séquences issues de bassins sédimentaires de dimensions réduites.

Compte-tenu de ces mises en garde, certains points majeurs ressortent d'une vue d'ensemble dessinée à partir des évolutions régionales détaillées dans la partie précédente.

Le premier de ces faits marquants est directement observable sur la figure 39. En effet, on remarque dans la partie du diagramme allant du Mésolithique final au Néolithique final 2 (5600 à 2200 cal. BC) une évidente dissymétrie de part et d'autre de l'axe central, illustrant des différences inter-régionales importantes, tant dans la dynamique que dans les proportions

estimées pour chacun des taxons marqueurs d'anthropisation. Cette dissymétrie semble s'atténuer au passage à l'âge du Bronze, même si des divergences persistent encore.

Le second point marquant, qui découle du premier, est le nombre de phases d'anthropisation distinguées pour chacune des régions sur l'ensemble de la période considérée à partir des dynamiques individuelles des différents taxons marqueurs d'anthropisation. Ainsi, si six phases suffisent à résumer l'évolution des proportions d'IPAs estimées pour le Bassin parisien, huit sont utilisées pour décrire les changements intervenus dans le Massif armoricain. Cette différence résulte d'une plus grande alternance de phases d'emprises et déprises anthropiques dans l'ouest du pays. A l'inverse du Bassin parisien, où l'on observe une progression irrégulière mais néanmoins continue des proportions de *Cerealia* type, *Rumex acetosa* et Poaceae entre 5600 et 2900 cal. BC (la comparaison des proportions de plantains s'avère problématique du fait de la non-distinction de *Plantago lanceolata* et *media* par une partie des auteurs pour le Massif armoricain), ces mêmes taxons présentent pour le Massif armoricain une évolution à première vue plus chaotique sur la même période.

Ces divergences observées principalement durant la période couverte par le Néolithique mettent en lumière une certaine indépendance entre les deux régions quant à la nature et l'intensité de l'impact des populations locales sur leur environnement. Ainsi, si l'on se réfère aux résultats présentés ici, il semblerait que, durant ces trois premiers millénaires qui ont conduit à l'établissement puis au développement des populations agricoles du Néolithique, les sociétés en présence aient connu des rythmes de croissance et de décroissance assez largement déconnectés de part et d'autre de ce grand quart nord-ouest de la France.

On constate en revanche, dans les deux régions, une même bipartition de l'âge du Bronze entre un Bronze ancien isolé d'une part et le reste de la période d'autre part. Durant la fenêtre temporelle associée au Bronze ancien, on observe dans les deux régions une faible représentation de la céréaliculture et, au contraire, de fortes proportions de plantes rudérales. Puis, au cours des trois fenêtres temporelles suivantes, les deux régions présentent des proportions de *Cerealia* type importantes, associées à une augmentation régulière des autres taxons marqueurs d'anthropisation. Une certaine convergence des dynamiques d'anthropisation semble donc prendre le pas au cours de l'âge du Bronze sur la déconnection envisagée entre les deux régions pour le Néolithique. Cette observation pourrait être rapprochée des changements culturels importants survenus au cours de cette période dans le nord-ouest de la France. En effet, durant l'âge du Bronze, le Massif armoricain dans son ensemble et le Bassin parisien, pour une bonne partie, appartiennent au même domaine d'influence Atlantique. On peut également faire le même constat pour la fenêtre du Néolithique final 2, correspondant à l'expansion du phénomène Campaniforme sur cette même façade atlantique.

Enfin, l'ensemble des propositions avancées ici, en matière de relations entre les sociétés de la pré/proto-histoire et leur environnement demeurent, en l'état, de nature assez largement hypothétiques, compte-tenu du nombre conséquent de biais méthodologiques inhérents à la démarche mise en place pour obtenir les estimations de végétation présentées dans cette étude, et compte-tenu également de la superficialité de l'approche archéologique adoptée. Néanmoins, nous espérons avoir démontré par ces quelques conclusions l'intérêt et le potentiel de telles études, menées dans un cadre pluridisciplinaire en combinant données, concepts et méthodes issues de champs aussi divers de la recherche que la palynologie, l'archéologie et la statistique bayésienne.

Conclusion et perspectives

A l'origine de ce travail de recherche, nos objectifs principaux étaient 1) de restituer la structure du couvert végétal régional et d'en retracer les évolutions au cours de l'Holocène au sein de deux régions du nord-ouest de la France, le Bassin parisien et le Massif armoricain, et 2) de les interpréter en termes de relations entre les sociétés pré- et protohistoriques et leur milieu naturel.

Pour cela, nous avons mis en place une démarche méthodologique visant à 1) redéfinir le cadre chronologique des séquences polliniques rassemblées pour les deux régions, 2) tester, adapter puis appliquer un modèle de reconstitution quantitative du couvert végétal, 3) définir une histoire de la végétation estimée relative à chaque aire géographique modélisée, 4) comparer ces histoires régionales et 5) les confronter aux informations disponibles en matière de densités de sites archéologiques et de proximité de ces sites aux points de sondages polliniques.

Le premier point, la définition d'un cadre chronologique propre à chaque zone d'étude, constituait la condition *sine qua none* pour toute comparaison inter-régionale. Ce cadre ne pouvait donc provenir que de l'établissement d'une chronologie absolue pour l'ensemble des séquences polliniques entrant en jeu dans la reconstruction des couvertures de végétation régionales. Des modèles d'âge inédits ont ainsi été produits pour chacun des 62 profils polliniques sélectionnés (cf. Annexe 3 et Annexe 4). La réalisation de ces modèles d'âge a nécessité l'emploi de deux programmes différents, CLAM (BLAAUW 2010) et RenCurve (LANOS 2004, LANOS & PHILIPPE in prep.), dont les propriétés spécifiques ont été mises à profit dans l'optique de générer des estimations d'âge les plus réalistes possible. Par ailleurs, ces travaux effectués dans le cadre de notre thèse ont constitué une occasion de réaliser en parallèle une « batterie » de tests, échelonnés sur plusieurs années, qui ont contribué à l'amélioration du logiciel RenCurve. Ce progrès accompli entre les premières versions du programme et les plus récentes est clairement illustré par la confrontation des modèles d'âge obtenus pour le Bassin parisien avec ceux, plus récents, réalisés pour le Massif armoricain.

Le Bassin parisien ne peut cependant pas être considéré comme le parent pauvre de notre étude en matière de chronologie. En effet, celui-ci a au contraire bénéficié d'une étape supplémentaire de traitement des données par rapport à la région voisine. Cette étape est basée sur la combinaison d'informations issues à la fois du domaine de la chronologie relative (Zones d'Assemblage Pollinique Régionales, stratigraphie des dépôts sédimentaires) et de celui de la chronologie absolue (datations ^{14}C). Ces informations ont ainsi été intégrées au sein d'un modèle hiérarchique bayésien, porté par le programme RenDateModel (LANOS & DUFRESNE 2012), qui a permis de déterminer statistiquement les bornes chronologiques de chacune des ZAPRs holocènes du Bassin parisien. Là encore, les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse ont contribué en parallèle à l'amélioration du logiciel RenDateModel, en produisant toute une série de tests « grandeur nature » qui a conduit à apporter un certain nombre de modifications au programme de départ, renforçant ainsi en retour la fiabilité de nos résultats. Ce mode de calcul totalement inédit pour les âges estimés des limites de ZAPRs a suscité trois principales avancées.

Tout d'abord, il a enrichi notre perception de l'histoire de la végétation du Bassin parisien en jetant une lumière nouvelle sur la chronologie des grands changements de végétation holocènes associés aux passages d'une ZAPR à la suivante.

Ensuite, l'analyse de l'impact du modèle sur chacune des datations ^{14}C individuelles entrant en jeu nous a amenés à tirer des conclusions, positives, au sujet de la cohérence globale des contraintes chronologiques imposées, et par là-même au sujet de la pertinence d'une utilisation

de la zonation pollinique en terme de chronologie relative à l'échelle du centre-est du Bassin parisien.

Enfin, ce cadre chronologique devenu absolu, et bénéficiant du crédit conféré par les 193 datations ^{14}C intégrées au calcul, a pu être réemployé en contribuant à l'établissement de nouveaux modèles d'âge pour une partie des séquences polliniques intégrées à la modélisation du couvert végétal du Bassin parisien.

Le deuxième point de notre démarche, relatif à la reconstitution quantitative du couvert végétal régional, a nécessité de réaliser un certain nombre de tests préalables à l'application du modèle REVEALS (REgional Vegetation Estimates from Large Sites) (SUGITA 2007a) aux données rassemblées pour nos deux zones d'étude. En effet, celles-ci provenant généralement de sites non-idéaux (FYFE *et al.* 2013), certaines métadonnées nécessaires au calcul nous étaient parfois inaccessibles ou bien ne correspondaient pas totalement au schéma habituellement rencontré dans ce type d'études (surfaces des bassins, contextes de dispersion et déposition du pollen).

Afin d'adapter au mieux la méthode, nous avons fait varier de façon empirique les paramètres d'entrée du modèle à partir des données du Bassin parisien, presque toutes issues de paléochenaux. La confrontation des résultats obtenus en fonction des diverses hypothèses de départ nous a orientés vers certains choix méthodologiques, que nous avons par la suite conservés pour la reconstruction du couvert végétal du Massif armoricain.

La question de l'étendue géographique de la zone modélisée a aussi été abordée. En Bassin parisien, la confrontation des résultats obtenus pour le seul bassin de la Marne avec ceux générés à partir de l'ensemble du corpus régional de données polliniques n'a pas révélé de différences notables pour les fenêtres temporelles renseignées par un nombre suffisant de séquences polliniques. En revanche, dans le cas du Massif armoricain, la comparaison des résultats obtenus pour la zone de Mayenne-Vilaine avec ceux se rapportant à la zone de Basse-Loire a montré des divergences entre ces deux secteurs. Toutefois, les différences les plus importantes ont été observées au sein des fenêtres temporelles les moins bien documentées, relativisant ainsi fortement la portée de ces résultats. L'hypothèse d'une cohérence générale de la dynamique de végétation holocène du Massif armoricain dans son ensemble a donc été avancée.

Ainsi, cette première application du modèle REVEALS aux corpus de données polliniques du Bassin parisien et du Massif armoricain nous a apporté une information quantitative inédite au sujet du couvert végétal holocène de ces deux régions. De plus, dans le cas du Massif armoricain, elle a fourni une vue d'ensemble de la végétation régionale, abordée sous un autre jour que dans les travaux précédents (GAUDIN 2004, MORZADEC-KERFOURN 1974). A leur échelle, les résultats de la modélisation eux-mêmes, ainsi que les questions d'ordre méthodologique soulevées lors de leur processus d'acquisition et les réponses qui y ont été apportées, contribuent aux recherches, menées au sein du programme LANDCLIM (GAILLARD *et al.* 2010), dont un des objectifs est d'évaluer empiriquement la pertinence des résultats de modélisation du couvert végétal à l'échelle de l'Europe du Nord-Ouest.

Ces résultats nous ont par la suite permis d'aborder les troisième et quatrième points de notre démarche, soit définir une histoire de la végétation estimée relative à chaque aire géographique modélisée, pour pouvoir ensuite comparer ces histoires régionales entre elles.

La définition de Zones de Végétation Estimée Régionales (ZVERS) a participé à la détermination de cadres structurant l'évolution du couvert végétal pour chacune des deux régions étudiées. Des cadres ainsi établis ressortent les grandes étapes, à commande climatique,

de la mise en place des paysages au cours du dernier interglaciaire (VAN DER HAMMEN *et al.* 1971). Cette histoire générale de la colonisation du milieu par différents groupements végétaux successifs peut être observée aussi bien dans le Bassin parisien que sur le Massif armoricain. En revanche, les caractéristiques climatiques, topographiques, édaphiques ou encore hydrographiques de chacune de ces deux régions peuvent influer sur le développement des différentes essences végétales, aboutissant alors à des rythmes de changements propres à chaque secteur géographique modélisé.

L'observation de ces différences nous a amenés à identifier certaines spécificités régionales tant en matière de chronologie de l'évolution de la végétation estimée qu'en matière de proportions relatives de chacun des taxons présents. Si l'emploi de méthodologies différentes pour déterminer les végétations estimées de chaque région a pu jouer un rôle dans l'obtention de ces divergences, il semble toutefois assez clair que ces biais méthodologiques ne permettent pas, à eux seuls, d'expliquer l'intégralité des variations inter-régionales observées dans ces reconstructions. Une certaine singularité doit donc être reconnue à l'évolution des paysages holocènes de chacune de ces deux parties du nord-ouest de la France.

Enfin, une fois ces cadres généraux de dynamique régionale du couvert végétal posés, le cinquième et dernier point de notre démarche a pu être appréhendé. Ainsi, la confrontation des estimations régionales du couvert végétal avec les informations archéologiques qui ont pu être rassemblées a révélé des liens évidents entre les variations de l'impact anthropique enregistré et celles de la densité des occupations reconnues dans le secteur. De même, il a été clairement observé que la proximité des sites archéologiques aux points de prélèvement des profils polliniques participant à la reconstruction du couvert végétal constituait un critère d'explication essentiel pour comprendre l'évolution du niveau d'anthropisation tel que décrit par les résultats du modèle. Néanmoins, des contre-exemples ont également été soulignés, infirmant par là-même l'hypothèse d'un strict déterminisme de ces deux facteurs sur les résultats obtenus et laissant ouvert le champ des interprétations possibles vis-à-vis des fluctuations observées d'une région à l'autre.

On remarque notamment des dynamiques et des niveaux d'anthropisation tout à fait distincts entre Bassin parisien et Massif armoricain sur toute la plage de temps couverte par les fenêtres temporelles comprises entre le Mésolithique final et le Néolithique final 1 (5600-2500 cal. BC). A l'inverse, on retrouve de part et d'autre du nord-ouest de la France une certaine similarité entre les proportions estimées pour les taxons marqueurs d'anthropisation, et dans une certaine mesure pour l'ensemble des autres taxons, entre la fenêtre temporelle associée au Néolithique final 2 (2500-2200 cal. BC) et celle attachée au Bronze final 2 (1020-800 cal. BC). On retiendra l'image générale de variations indépendantes d'une région à l'autre se muant en une évolution relativement commune à partir de la toute fin du Néolithique.

Enfin, parvenus au bout de la démarche mise en place au cours de cette étude, nous avons pu mesurer l'intérêt et le potentiel de mener à bien nos travaux dans un cadre pluridisciplinaire en combinant données, concepts et méthodes issues de champs aussi divers de la recherche que la palynologie, l'archéologie et la statistique bayésienne.

Dans le prolongement de cette étude, il nous semblerait souhaitable de mettre à profit le meilleur des chacune des deux méthodes employées pour établir la chronologie des séquences polliniques, en transposant certaines étapes d'une région à l'autre.

Par exemple, l'application du modèle hiérarchique bayésien RenDateModel (LANOS & DUFRESNE 2012) au large corpus de datations ^{14}C disponibles pour le Massif armoricain permettrait de tester dans une nouvelle région l'hypothèse de changements végétaux de portée régionale et dont la chronologie serait relativement homogène à l'échelle de ce territoire. Le pourcentage de datations jugées « hors tendance » par le calcul nous renseignerait ainsi sur la cohérence d'une utilisation de ZAPRs armoricaines en termes de chronologie relative. Cependant, un préalable, et non des moindres, à ce test serait tout d'abord de définir ces ZAPRs à partir du réexamen de l'ensemble des profils polliniques de la région. En effet, pour mettre en place les diverses zonations polliniques existantes, les auteurs des analyses polliniques ont mis à contribution les datations ^{14}C dont ils disposaient, or pour appliquer un modèle bayésien à un corpus de données les contraintes imposées aux données (i.e. la zonation pollinique) et les données elles-mêmes (i.e. les datations ^{14}C) doivent impérativement être indépendantes.

Dans le cas où ce test s'avèrerait négatif, c'est-à-dire si les datations « hors tendance » représentaient une proportion non négligeable du corpus de départ, il nous faudrait alors redescendre d'un échelon en diminuant la taille de l'aire géographique étudiée et peut-être revenir à l'échelle « micro-régionale » utilisée en Mayenne (BARBIER 1999) et dans le bassin aval de la Loire (CYPRIEN 2001).

De façon symétrique, l'obtention de nouvelles datations ^{14}C pour les séquences polliniques du Bassin parisien qui n'ont pu être intégrées à la modélisation dans notre thèse, faute d'un nombre de calages chronologiques suffisant, permettrait de compléter le corpus de données de cette région. Un corpus plus riche fournirait ainsi des reconstitutions du couvert végétal plus fiables et une meilleure approche des relations Hommes/Milieux.

Parallèlement, il serait tout à fait souhaitable d'arriver à transposer les incertitudes chronologiques, issues du long et complexe processus de datation et de construction des modèles d'âge, au sein du modèle REVEALS. En effet, comme le soulignaient déjà Telford *et al.* (2004a) : "It would be ironic if these advanced statistical tools were only used to find the 1σ range of the date, but the intercept used for all subsequent calculations."

Pour affiner notre démarche de confrontation des évolutions de la végétation estimée avec les informations fournies par la recherche archéologique, une étape suivante pourrait consister en une réutilisation des résultats obtenus dans cette thèse en matière de couvert végétal régional pour appliquer le modèle LOVE (SUGITA 2007b) à un certain nombre de sites clés. Ces sites pourraient être sélectionnés en fonction de la résolution de l'enregistrement pollinique, de l'amplitude chronologique qu'ils renseignent, et bien sûr de leur liaison plus ou moins affirmée avec des occupations humaines. Ceci nous permettrait de livrer aux archéologues une image plus précise du milieu dans lequel évoluèrent les populations qu'ils étudient et ainsi de l'impact anthropique de ces populations sur ce même milieu.

Dans une autre optique encore, il serait envisageable d'appliquer le modèle LOVE à l'ensemble des séquences polliniques disponibles, puis de réutiliser les nombreuses estimations de végétation locale ainsi obtenues en de multiples points pour les soumettre à l'approche mise

en place par Gaudin (2004), basée sur la technique du krigeage. Cette méthode nous permettrait alors de représenter sous forme de cartes les variations géographiques des proportions de différents taxons ou groupes de taxons en extrapolant entre les multiples points de sondages polliniques maillant le territoire. Ces cartes pourraient ensuite servir de point de départ pour une analyse basée sur des Systèmes d'Information Géographiques (SIGs), mobilisant les données issues des différentes cartes archéologiques régionales. Cette approche permettrait alors de traiter efficacement la question de la relation aux sites archéologiques en croisant les données de végétation estimée avec des couches d'information renseignant, non seulement la position des sites référencés, mais également la nature des vestiges retrouvés. Enfin, ces observations pourraient également être combinées avec des informations d'ordres géologique, topographique, hydrographique, ou encore le gradient de continentalité.

Cependant, il faut bien prendre en compte que la répartition des sites archéologiques reconnus ne reflète pas non plus fidèlement la réalité des occupations aux différentes époques. En effet, notre connaissance des implantations n'est généralement que fragmentaire et de nombreux facteurs influent sur la distribution géographique des découvertes recensées (proximité d'un laboratoire, zones faisant l'objet de plus de fouilles archéologiques, réalisation de grands travaux, accessibilité, etc.). Quelquefois, voire souvent, les analyses polliniques font ainsi part d'indices d'anthropisation du milieu pour des périodes durant lesquelles aucune occupation n'a jusqu'ici été référencée dans les environs.

Enfin, l'application de la démarche utilisée dans cette thèse, tout comme de celles envisagées ci-dessus, n'est évidemment pas limitée au nord-ouest de la France et celles-ci pourraient tout aussi bien être déclinées et adaptées dans d'autres régions, de France ou d'ailleurs.

Références Bibliographiques

AABY, B. 1986. "Trees as anthropogenic indicators in regional pollen diagrams from eastern Denmark." Dans *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams*, Edité par Karl-Ernst Behre, 73-93. A.A. Balkema Publishers.

AMMERMAN, A. J., et CAVALLI-SFORZA, L. L. 1971. "Measuring the rate of spread of early farming in Europe." *Man* no. 6 (4):674-688.

ANDERSEN, S. T. 1970. *The relative pollen productivity and pollen representation of North European trees, and correction factors for tree pollen spectra, determined by surface pollen analyses from forests*. Copenhagen: Danmarks Geologiske Undersøgelse.

ANDERSEN, S. T. 1973. "The differential pollen productivity of trees and its significance for the interpretation of a pollen diagram from a forested region." Dans *Quaternary plant ecology*, Edité par H. John B. Birks et R.G. West, 109-115. Oxford: Blackwell.

ANDERSEN, S. T., et BERGLUND, B. E. 1994. "Maps for terrestrial non-tree pollen (NAP) percentages in north and central Europe 1800 and 1450 BP." Dans *Evaluation of Land Surfaces Cleared from Forest in the Roman Iron Age and the Time of Migrating Germanic Tribes Based on Regional Pollen Diagrams*, Edité par Frenzel (Ed.). Stuttgart: Fischer Verlag, Paläoklimaforschung - Paleoclimate Research.

AOUSTIN, D. 2005. *Relation Homme/Milieu : l'exemple du village médiéval du Goënidou dans les Monts d'Arrée (Berrien, Finistère). Apport de la palynologie et de l'anthracologie à l'histoire de la végétation*. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A.), Environnement et Archéologie, Université de Rennes 1, Rennes.

ARBOGAST, R.-M. 1993. "Restes osseux d'animaux du Rubané du nord-est de la France." Dans *Le Néolithique au quotidien : actes du XVIe colloque interrégional sur le Néolithique, Paris, 5-6 novembre 1989*, 133-143. Paris, Maison des Sciences de l'Homme: Documents d'archéologie française.

ARNOLD, J. R., et LIBBY, W. F. 1949. "Age determinations by radiocarbon content: checks with samples of known age." *Science* no. 110 (2869):678-680.

AUDOUZE, F., et BÜCHSENSCHUTZ, O. 1989. *Villes, villages et campagnes de l'Europe celtique, du début du IIème millénaire à la fin du Ier siècle av. J.-C*. Paris: Errance.

AUGEREAU, A., BRUNET, P., COSTA, L., COTTIAUX, R., HAMMON, T., IHUEL, E., LANGRY-FRANÇOIS, F., MAGNE, P., MAINGAUD, A., et MALLET, N. 2007. "Le Néolithique récent dans le Centre Nord de la France (3400/3300-2800/2700 av. J.-C.): l'avenir du Seine-Oise-Marne en question." Dans *Un siècle de construction du discours scientifique en Préhistoire. Actes du Congrès du Centenaire de la société préhistorique française, Avignon, 21-25 sept. 2004*, Edité par J. Evin, 165-184. Joué-lès-Tours: SPF et MCC.

AUGEREAU, A., et HAMARD, D. 1991. "Les industries lithiques du Néolithique moyen II des Vallées de la Petite Seine, de l'Aisne et de l'Oise." Dans *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours, 17-19 mai 1989*, 235-249. Nemours: APRAIF, Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France n°4.

AUGEREAU, A., et TRESSET, A. 1992. "« Silex, poteries, ossements... », le travail de laboratoire." Dans *La Bassée avant l'histoire. Archéologie et Gravières en Petite-Seine*, Edité par C. Mordant, 46-62. Nemours: Editions de l'APRAIF.

BAILLOUD, G. 1971. "Le Néolithique danubien et le Chasséen dans le Nord et le Centre de la France." *Die Anfange des Neolithikums vom Orient bis Nordeuropa. Fundamenta, VI, 201* no. 6:201-245.

BAILLOUD, G. 1975. "Les céramiques" cannelées" du Néolithique morbihannais." *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux* no. 72:345-367.

BAILLOUD, G. 1979. *Le Néolithique dans le Bassin parisien*. Vol. suppl. n° 2, seconde édition. Paris: Gallia Préhistoire, CNRS.

BAILLOUD, G., et BURNEZ, C. 1962. "Le Bronze ancien dans le Centre-Ouest de la France." *Bulletin de la Société préhistorique de France* no. 59 (7-8):515-524.

BARBIER, D. 1999. *Histoire de la végétation du nord-mayennais de la fin du Weichsélien à l'aube du XXIème siècle: mise en évidence d'un tardiglaciaire armoricain: interactions homme-milieu*: Université de Nantes, Groupe d'étude des milieux naturels.

BARBIER, D., et VISSET, L. 2000. "La vallée de l'Erve en Mayenne (massif Armoricain, France) a-t-elle joué le rôle de station refuge au cours du dernier épisode glaciaire (Weichsélien) ?" *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie* no. 323 (5):469-476. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0764-4469(00)00157-8.

BARTHELEMY, L. 1976. *Recherches sur les relations entre les pluies polliniques stationnelles et les paysages végétaux avoisinants (Cessières, Aisne, France)*. Thèse de Doctorat, Université Paris X.

BARTHELEMY, L. 1985. "Réflexions sur la répartition du pollen. Conséquences pour l'archéologie." Dans *Palynologie archéologique, actes des journées des 25-26-27 janvier 1984*, 53-85. CNRS-CRA Notes et Monographies techniques.

BEHRE, K.-E. 1981. "The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams." *Pollen et Spores* no. 23:225-245.

BEHRE, K.-E. 1986. "Anthropogenic indicators in pollen diagrams." *Rotterdam: AA Balkema*:232.

BEHRE, K.-E. 1988. "The role of man in European vegetation history." Dans *Handbook of Vegetation Science*, Edité par B. Huntley et I.T. Webb, 633- 672. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing.

BEHRE, K.-E. 2007. "Evidence for Mesolithic agriculture in and around central Europe?" *Vegetation History and Archaeobotany* no. 16 (2-3):203-219.

BEHRE, K.-E. 2008. "Comment on:"Mesolithic agriculture in Switzerland? A critical review of the evidence" by W. Tinner, EH Nielsen and AF Lotter." *Quaternary Science Reviews* no. 27 (13):1467-1468.

BELOKUPITOV, I. E., et BERESNEVITCH, V. V. 1955. "Giktorf's peat borers." *Turf. Prom.* no. 8 (9-10).

BERGLUND, B. E. 1973. "Pollen dispersal and deposition in an area of southeastern Sweden - some preliminary results." Dans *Quaternary plant ecology*, Edité par H.J.B. Birks et R.G. West, 326. Oxford: Blackwell.

BERGLUND, B. E., et RIDDERSPORRE, M. 1991. *The cultural landscape during 6000 years in southern Sweden: the Ystad Project*. Edité par Munksgaard International Booksellers and Publishers. Vol. 41: Ecological Bulletins 41.

BERNARD, J. 1996. *Paléoenvironnement du Pays-de-Retz et du marais Breton-Vendéen*. Thèse de doctorat, Université de Nantes.

BILLAND, G., et TALON, M. 2007. "Apport du Bronze Age Study Group au vieillissement des' hair-tings' dans le Nord de la France." Dans *Beyond Stonehenge. Essays on the Bronze Age in Honour of Colin Burgess*, Edité par Colin Burgess, 342-351. Oxford.

BILLARD, C., BLANCHET, J.-C., et TALON, M. 1996. "Origine et composantes de l'âge du Bronze ancien dans le Nord-Ouest de la France." Dans *Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques, 113°,(Clermont-Ferrand, 1992), Pré et Protohistoire*, 579-601.

BLAAUW, M. 2010. "Methods and code for 'classical'age-modelling of radiocarbon sequences." *Quaternary Geochronology* no. 5 (5):512-518.

BLAAUW, M. 2012. "Out of tune: the dangers of aligning proxy archives." *Quaternary Science Reviews* no. 36:38-49.

BLAAUW, M., et CHRISTEN, J. A. 2005. "Radiocarbon peat chronologies and environmental change." *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)* no. 54 (4):805-816.

BLAAUW, M., CHRISTEN, J. A., MAUQUOY, D., VAN DER PLICHT, J., et BENNETT, K. D. 2007. "Testing the timing of radiocarbon-dated events between proxy archives." *The Holocene* no. 17 (2):283-288.

BLAAUW, M., WOHLFARTH, B., CHRISTEN, J. A., AMPEL, L., VERES, D., HUGHEN, K. A., PREUSSER, F., et SVENSSON, A. 2009. "Were last glacial climate events simultaneous between Greenland

and France? A quantitative comparison using non-tuned chronologies." *Journal of Quaternary Science* no. 25 (3):387-394.

BLANCHARD, A. 2012. *Le Néolithique récent de l'Ouest de la France (IVe-IIIe millénaires avant J.-C.): productions et dynamiques culturelles*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1.

BLANCHET, J.-C. 1984a. *Les premiers métallurgistes en Picardie et dans le Nord de la France-Chalcolithique, Age du Bronze et début du premier Age du Fer*. Vol. 17, *Mémoires de la Société préhistorique française*. Paris: Société préhistorique française.

BLANCHET, J.-C. 1984b. "Les premiers métallurgistes en Picardie et dans le Nord de la France-Chalcolithique, Age du Bronze et début du premier Age du Fer." *Mémoires de la Société préhistorique française* no. 17.

BLANCHET, J.-C. 1988. "Les relations entre le Nord et l'Est de la France au Néolithique final et au Chalcolithique." Dans *Du Néolithique moyen II au Néolithique final au nord-ouest des Alpes : actes du 12e colloque interrégional sur le Néolithique de l'Est de la France, Lons-le-Saunier, 11-13 octobre 1985*, 9-13. Lons-le-Saunier: Cercle Girardot.

BLANCHET, J.-C. 1989a. "L'âge du Bronze dans le Bassin parisien et le Nord de la France." Dans *Le Temps de la Préhistoire*, Edité par J.-P. Mohen, 413-415.

BLANCHET, J.-C. 1989b. "Néolithique final et Chalcolithique dans le Bassin parisien et le nord de la France." Dans *Le Temps de la Préhistoire*, Edité par J.-P. Mohen, 396-399.

BLANCHET, J.-C. 2001. "Nouveaux dépôts de la transition âge du Bronze final / début du premier âge du Fer dans le contexte de la moyenne vallée de l'Oise." Dans *Du monde des chasseurs à celui des métallurgistes. Hommage scientifique à la mémoire de Jean L'Helgouac'h et mélanges offerts à Jacques Briard*, Edité par C.-T. Le Roux, 171-180. Rennes: Revue Archéologique de l'Ouest.

BLANCHET, J.-C., et MARTINEZ, R. 1986. "Vers une chronologie interne du Chasséen dans le Nord du Bassin parisien." Dans *Le Néolithique de la France: hommage à G. Bailloud.* , Edité par J.-P. Demoule et J. Guilaine, 331-342. Paris: Picard.

BLANCHET, J.-C., et TALON, M. 2005. "L'âge du Bronze dans la moyenne vallée de l'Oise : apports récents." Dans *L'âge du Bronze du nord de la France dans son contexte européen, actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques, 125°, (Lille, 2000)*, Edité par J. Bourgeois et M. Talon, 227 - 268. ed. C.T.H.S. et APRAB.

BLANCHET, S., HAMON, C., HAMON, G., FORRE, P., et FROMONT, N. 2007. "Un habitat du Villeneuve-Saint-Germain en Bretagne orientale (Pluvignon à Betton–Ille et Vilaine)." Dans *Quoi de neuf à l'ouest? Culture, réseaux et échanges des premières sociétés néolithiques à leur expansion. Résumé de communication au 28ème colloque INTERNEO*.

BLANCQUAERT, G., LEROYER, C., LORHO, T., MALRAIN, F., et ZECH-MATTERNE, V. 2012. Rythmes de créations et d'abandons des établissements ruraux du second âge du Fer et interactions environnementales. Dans Variabilités environnementales, mutations sociales. Nature, intensités, échelles et temporalités des changements, à Antibes.

BLYTT, A. G. 1876. *Essay on the immigration of the Norwegian flora during alternating rainy and dry periods*: A. Cammermeyer.

BOND, G., KROMER, B., BEER, J., MUSCHELER, R., EVANS, M. N., SHOWERS, W., HOFFMANN, S., LOTTI-BOND, R., HAJDAS, I., et BONANI, G. 2001. "Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene." *Science* no. 294 (5549):2130-2136.

BONNY, A. P. 1978. "The effect of pollen recruitment processes on pollen distribution over the sediment surface of a small lake in Cumbria." *The Journal of Ecology*:385-416.

BONNY, A. P. 1980. "Seasonal and annual variation over 5 years in contemporary airborne pollen trapped at a Cumbrian lake." *The Journal of Ecology*:421-441.

BOUCHET, J. M., et BURNEZ, C. 1992. "La civilisation des Matignons. Révision des données." Dans *Recherches Archéologiques en Saintonge*, 3-34. Saintes: Société Archéologique et Historique de la Charente-Maritime.

BOUJOT, C., CASSEN, S., GUILLIER, G., et MARCHAND, G. 1995. "Le tracé du T.G.V. en Pays-de-la-Loire (1985-1986). 1 - Prospections, sondage et diagnostic archéologiques. 2 - Analyse des découvertes, du Mésolithique final à l'époque gallo-romaine." *Revue archéologique de l'ouest* no. 12:177-194.

BOULEN, M. 2010. "Synthèse des analyses polliniques pour la période romaine sur le secteur de la bordure nord-ouest du plateau briard." *Revue Archéologique d'Ile de France* no. 3:133-148.

BOULEN, M. 2011. "Le paysage au Néolithique dans le nord de la France : nouvelles données sur le Subboréal." Dans *Le Néolithique du Nord de la France dans son contexte européen : habitat et économie aux 4e et 3e millénaires avant notre ère*, Edité par RAP, 301-311. Villeneuve d'Ascq: Actes du 29e colloque interrégional sur le Néolithique, 2-3 octobre 2009.

BOURNERIAS, M. 1979. *Guide des groupements végétaux de la région parisienne*: Sedes-Masson.

BOURNERIAS, M., RAMEAU, J.-C., et ROYER, J.-M. 1985. *Carte de la végétation de la France*. Vol. 26. Troyes: IGN-CNRS.

BREWER, S., CHEDDADI, R., DE BEAULIEU, J.-L., et REILLE, M. 2002. "The spread of deciduous Quercus throughout Europe since the last glacial period." *Forest Ecology and Management* no. 156 (1–3):27-48. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00646-6.

BRIARD, J. 1989. "L'Âge du Bronze : la spécialisation des sociétés." Dans *Archéologie de la France: 30 ans de découvertes : exposition Galeries nationales du Grand Palais*, 186-189. Paris: Editions de la Réunion des Musées nationaux.

BRIARD, J. 1996. L'Âge du Bronze ancien atlantique. Dans *Cultures et Sociétés du Bronze ancien en Europe, 117e Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques*, Edité par C. Mordant et O. Gaiffe. Paris: Editions du C.T.H.S.

BRONK RAMSEY, C. 1995. "Radiocarbon calibration and Analysis of Stratigraphy: The Oxcal Program." *Radiocarbon* no. 37 (2):425-430.

BRONK RAMSEY, C. 2008. "Deposition models for chronological records." *Quaternary Science Reviews* no. 27 (1):42-60.

BRONK RAMSEY, C. 2009. "Bayesian analysis of radiocarbon dates." *Radiocarbon* no. 51 (1):337-360.

BRONK RAMSEY, C., DEE, M. W., ROWLAND, J. M., HIGHAM, T. F. G., HARRIS, S. A., BROCK, F., QUILES, A., WILD, E. M., MARCUS, E. S., et SHORTLAND, A. J. 2010. "Radiocarbon-based chronology for dynastic Egypt." *Science* no. 328 (5985):1554-1557.

BROSTRÖM, A. 2002. *Estimating source area of pollen and pollen productivity in the cultural landscapes of southern Sweden-developing a palynological tool for quantifying past plant cover*. Ph.D. thesis, Department of Quaternary Geology, Lund University, LUNDQUA, Lund.

BROSTRÖM, A., NIELSEN, A. B., GAILLARD, M.-J., HJELLE, K., MAZIER, F., BINNEY, H., BUNTING, J., FYFE, R., MELTSOV, V., et POSKA, A. 2008. "Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation: a review." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 17 (5):461-478.

BROSTRÖM, A., SUGITA, S., et GAILLARD, M.-J. 2004. "Pollen productivity estimates for the reconstruction of past vegetation cover in the cultural landscape of southern Sweden." *The Holocene* no. 14 (3):368-381.

BRUN, C. 2007. *Archéophytes et néophytes. Pour une nouvelle détermination des marqueurs polliniques de l'anthropisation. Le cas des milieux cultivés et rudéraux de Franche-Comté*. Thèse de Doctorat, Université de Besançon.

BRUN, C. 2011. "Anthropogenic indicators in pollen diagrams in eastern France: a critical review." *Vegetation history and archaeobotany* no. 20 (2):135-142.

BRUNET, P., CHARAMOND, C., CHARAMOND, C., COTTIAUX, R., COUTURIER, D., DELATTRE, V., DURAND, J.-C., DURBET, G., GOSSELIN, R., et LAFAGE, F. 2009. "De la fin du Campaniforme à l'aube du Bronze moyen dans la basse vallée de Marne." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 106 (2):329-356.

BRUNET, P., COTTIAUX, R., HAMON, T., LANGRY-FRANÇOIS, F., MAGNE, P., et SALANOVA, L. 2004. "La céramique de la fin du 4e et du 3e millénaire dans le Centre-Nord de la France: Bilan documentaire." *Anthropologica et Praehistorica* no. 115:155-178.

BUCK, C. E. 1994. *Towards Bayesian archaeology*. PhD Thesis, University of Nottingham.

BUCK, C. E., CAVANAGH, W. G., et LITTON, C. D. 1996. *Bayesian approach to interpreting archaeological data*: Wiley Chichester.

BUCK, C. E., CHRISTEN, J. A., et JAMES, G. N. 1999. "BCal: an on-line Bayesian radiocarbon calibration tool." *Internet archaeology* no. 7.

BUCK, C. E., KENWORTHY, J. B., LITTON, C. D., et SMITH, A. F. M. 1991. "Combining archaeological and radiocarbon information: a Bayesian approach to calibration." *Antiquity* no. 65 (249):808-821.

BUCK, C. E., LITTON, C. D., et SMITH, A. F. M. 1992. "Calibration of radiocarbon results pertaining to related archaeological events." *Journal of Archaeological Science* no. 19 (5):497-512.

BURNEZ, C. 1976. *Le Néolithique et le chalcolithique dans le Centre-Ouest de la France*. Vol. 12. Paris: Mémoires de la Société préhistorique française.

BURNEZ, C. 2006. *Font-Rase à Barbezieux et Font-Belle à Segonzac (Charente): deux sites du néolithique récent saintongeais Matignons/Peu-Richard*. Vol. 1562: British Archaeological Reports Ltd.

BURNEZ, C., et CASE, H. 1966. "Les camps néolithiques des Matignons à Juillac-le-Coq (Charente)." *Gallia préhistoire* no. 9 (1):131-245.

CAMPS, G., et GIOT, P.-R. 1960. "Un poignard chalcolithique au Cap Chenoua." *Libyca : Anthropologie, Préhistoire, Ethnographie* no. 8:263-276.

CARCAUD, N., CYPRIEN, A.-L., et VISSET, L. 2000. "Marais et vallée de la Loire, mémoire des paysages depuis 10000 ans." *Archives d'Anjou* no. 4:187-215.

CAROZZA, L., et MARCIGNY, C. 2007. *L'âge du bronze en France*. Paris: La Découverte.

CAROZZA, L., MARCIGNY, C., et TALON, M. 2009. "Ordres et désordres de l'économie des sociétés durant l'Âge du bronze en France." Dans *The economic foundations of the European Bronze age*, Edité par M. Bartelheim & H. Stäuble, 23-65. Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft.

CAROZZA, L., et MILLE, B. 2007. "Chalcolithique et complexification sociale : quelle place pour le métal dans la définition du processus de mutation des sociétés de la fin du Néolithique en France?" Dans *Le chalcolithique et la construction des inégalités, tome 1, le continent européen, séminaires du collège de France.* , Edité par J. Guilaine, 195-232. Paris: Errance.

CASSEN, S. 1987. *Le Centre-Ouest de la France au IVème millénaire av. JC*. Vol. 342. Oxford: British Archaeological Reports.

CASSEN, S. 1989. "Préhistoire récente du Choletais : une exploitation cartographique de la prospection désordonnée." *Revue archéologique de l'ouest* no. 6:71-92.

CASSEN, S., AUDREN, C., HINGUANT, S., LANNUZEL, G., et MARCHAND, G. 1998. "L'habitat Villeneuve-Saint-Germain du Haut-Mée (Saint-Étienne-en-Coglès, Ille-et-Vilaine)." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 95 (1):41-75.

CHAMBON, P., MORDANT, D., et PARIAT, J.-G. 2007. "Sépultures du Néolithique moyen en Bassin parisien : le cas des architectures sépulcrales." Dans *Relations interrégionales au Néolithique entre Bassin parisien et Bassin rhénan, Actes du 26e colloque interrégional sur le Néolithique, Luxembourg, 8 et 9 novembre 2003*, Edité par Foni Le Brun-Ricalens, François Valotteau et Anne Hauzeur, 445-467. Archaeologia Mosellana.

CHANCEREL, A., et BILLARD, C. 1991. "Le chasséen en Normandie." Dans *Identité du Chasséen, Actes du Colloque International de Nemours 1989*, Edité par A. Beeching, D. Binder, J.-C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.-P. Thévenot et J. Vaquer, 165-173. Nemours: Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France, APRAIF.

CHANCEREL, A., MARCIGNY, C., et GHESQUIERE, E. 2006. "Le plateau de Mondeville (Calvados) du Néolithique à l'Âge du Bronze." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 104 (1):181-182.

CHAUSSE, C., LEROYER, C., GIRARDCLOS, O., ALLENET, G., PION, P., et RAYMOND, P. 2008. "Holocene history of the River Seine, Paris, France: bio-chronostratigraphic and geomorphological evidence from the Quai-Branly." *The Holocene* no. 18 (6):967-980. doi: 10.1177/0959683608093535.

CHRISTEN, J. A. 1994. "Summarizing a set of radiocarbon determinations: a robust approach." *Applied Statistics*:489-503.

CONFALONIERI, J., et LE JEUNE, Y. 2013. "Le site mésolithique de la Haute-Île à Neuilly-sur-Marne (Seine-Saint-Denis) : premiers résultats." *Séances de la Société Préhistorique Française* no. 2 (3):51-68.

CONGDON, P. 2010. *Applied Bayesian hierarchical methods*. Edité par Chapman and Hall: CRC Press Boca Raton.

CONSTANTIN, C. 1989. "Néolithique ancien et moyen dans le Nord de la France." Dans *Le temps de la Préhistoire*, Edité par J.-P. Mohen, 371-373. Société préhistorique française, Archeologia.

CONSTANTIN, C. 1990. "A propos du Cerny-Sud: un ensemble culturel néolithique de grande étendue dans la France moyenne." *Bulletin de la Société préhistorique française*:206-216.

CONSTANTIN, C. 1997. "Le Cerny-Sud: Suite et fin." *Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France* (6):187-194.

CONSTANTIN, C., MORDANT, D., et SIMONIN, D. 1997. *La Culture de Cerny, Nouvelle économie, nouvelle société au Néolithique*. Vol. 6, *Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ile-de-France. Actes du 6e colloque international de Nemours 9-11 mai 1994*. Nemours: APRAIF.

CORILLION, R. 1971. *Notice détaillée des feuilles armoricaines. Phytogéographie et végétation du Massif armoricain*. 1 vols, *Editions du C.N.R.S.* Paris.

COSTA, L.-J., et MARCHAND, G. 2006. "Transformations des productions lithiques du premier au second Mésolithique en Bretagne et en Irlande." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 103 (2):275-290.

COUR, P. 1974. "Nouvelles techniques de détection des flux et retombées polliniques ; étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol." *Pollen et Spores* no. XVI (1):103-141.

COUTARD, S., DUCROCQ, T., LIMONDIN-LOZOUET, N., BRIDAULT, A., LEROYER, C., ALLENET DE RIBEMONT, G., et PASTRE, J.-F. 2010. "Contexte géomorphologique, chronostratigraphique et paléoenvironnemental des sites mésolithiques et paléolithiques de Warluis dans la vallée du Thérain (Oise, France)." *Quaternaire* no. 24 (4):357-384.

CUI, Q.-Y., GAILLARD, M.-J., LEMDAHL, G., GREISMAN, A., JACOBSON, G., et OLSSON, F. 2013. "The role of tree composition in Holocene forest-fire history at two sites of the hemiboreal zone of southern Sweden, highlighted by the application of the Landscape Reconstruction Algorithm (LRA)." *The Holocene*.

CUSHING, E. J. 1963. *Late-Wisconsin pollen stratigraphy in east-central Minnesota*. Ph.D. thesis, University of Minnesota.

CYPRIEN, A.-L. 2001. *Chronologie de l'interaction de l'homme et du milieu dans l'espace central et aval de la Loire*. Thèse de Doctorat, Université de Nantes, Groupe d'Etude des Milieux Naturels, Nantes.

DAVID, R., LEROYER, C., LANOS, P., DUFRESNE, P., et ALLENET DE RIBEMONT, G. in prep.-a. "Constraining the age of Holocene pollen zones of the Paris basin with Bayesian probability methods."

DAVID, R., LEROYER, C., MAZIER, F., LANOS, P., DUFRESNE, P., ALLENET DE RIBEMONT, G., et AOUSTIN, D. 2012. Les transformations de la végétation du bassin parisien par la modélisation des données polliniques holocènes. Dans Variabilités environnementales, mutations sociales. Nature, intensités, échelles et temporalités des changements, à Antibes.

DAVID, R., LEROYER, C., MAZIER, F., LANOS, P., DUFRESNE, P., ALLENET DE RIBEMONT, G., et AOUSTIN, D. in prep.-b. "The Holocene vegetation cover of the Paris Basin: facing problems of basin size, deposition mode and reconstruction scale."

DAVID, R., MAZIER, F., MARGUERIE, D., LANOS, P., AOUSTIN, D., GAUDIN, L., BARBIER, D., CYPRIEN, A.-L., VISSET, L., et OUGUERRAM, A. in prep.-c. "The Holocene vegetation cover of the Armorican Massif: regional and sub-regional reconstruction scales."

DAVIS, M. B. 1963. "On the theory of pollen analysis." *American Journal of Science* no. 261 (10):897-912.

DAVIS, M. B. 1968. "Pollen grains in lake sediments: redeposition caused by seasonal water circulation." *Science* no. 162 (3855):796-799.

DAVIS, M. B., et BRUBAKER, L. B. 1973. "Differential sedimentation of pollen grains in lakes." *Limnology and Oceanography* no. 18:635-646.

DAVIS, M. B., et DEEVEY, E. S. 1964. "Pollen accumulation rates: estimates from late-glacial sediment of Rogers Lake." *Science* no. 145 (3638):1293-1295.
DAVIS, M. B., et FORD, M. S. 1982. "Sediment focusing in Mirror Lake, New Hampshire." *Limnology and Oceanography* no. 27:137-150.
DAVIS, M. B., MOELLER, R. E., et FORD, J. 1984. "Sediment focusing and pollen influx." Dans *Lake Sediments and Environmental History*, Edité par ed. EY Haworth, 261-293. Univ. Leicester Press, Leicester, UK: JWG Lund.
DE BEAULIEU, J. L. 1977. *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III.
DEBUT, A., et MASSET, C. 1991. "Restes humains épars en milieu chasséen septentrional. Recherches en cours." Dans *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours, 17-19 mai 1989*, 409-412. Nemours: APRAIF, Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France n°4.
DEMOULE, J.-P. 2007. *La révolution néolithique en France*. Paris: La Découverte.
DEMOULE, J. P. 1984. "Le Néolithique danubien en Picardie." *Revue archéologique de Picardie* no. 1 (1):7-8.
DEMOULE, J. P., et VAQUER, J. 1989. "La communauté villageoise." Dans *Archéologie de la France, 30 ans de découvertes : exposition Galeries Nationales du Grand Palais, 27 sept. - 31 déc. 1989*, 132-135. Paris: Réunion des musées nationaux.
DESACHY, B. 2005. "Du temps ordonné au temps quantifié: application d'outils mathématiques au modèle d'analyse stratigraphique d'Edward Harris." *Bulletin de la Société préhistorique française*:729-740.
DESACHY, B. 2008. *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*. PhD Thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
DONAT, R., SOHN, M., LANGRY-FRANÇOIS, F., POLLONI, A., MAINGAUD, A., MAZIERE, G., et CRUBEZY, E. à paraître. "Le mobilier de l'hypogée II du Mont-Aimé à Val-des-Marais

(Marne) dans son cadre régional : nouvelles données." Dans *Le Néolithique récent dans le Centre Nord de la France*, Edité par Richard COTTIAUX et Laure SALANOVA. supplément à la Revue Archéologique de l'Est.
DONNER, J. J., JUNGNER, H., et VASARI, Y. 1971. *The hard-water effect on radiocarbon measurements of samples from Säynäjälampi, north-east Finland*: Soc. Scientiarum Fennica.
DUBOIS, C. 1964. "Observations palynologiques sur des tourbes provenant de Valenciennes (Nord)." *Annales de la Société Géolologique du Nord* no. 84:51-53.
DUBOIS, C., et SAUVAGE, J. 1960. "Documents palynologiques sur deux tourbières normandes: marais Vernier et marais d'Heurteauville." *Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace-Lorraine* no. 13, fascicule 1:5-10.
DUBOIS, C., et SAUVAGE, J. 1963. "Analyse sporo-pollinique de tourbes de Bretagne septentrionale (Santec et le Guerzit)." *Bulletin du Service de la Carte Géologique. Alsace-Lorraine* no. 16 (Fascicule 4):241-247.
DUBOIS, G. 1924. "Examen pollinique d'une tourbe de Lille." *Annales de la Société Géolologique du Nord* no. 49:66-68.
DUBOIS, G., et DUBOIS, C. 1933. *Sur la silve de l'Armor léonard depuis le Flandrien moyen et sur la genèse de quelques tourbes en cette contrée*. Vol. 206. Paris: Comptes-rendus de l'Académie des Sciences.
DUBOIS, G., et DUBOIS, C. 1934. *Sur les modifications forestières flandriennes de la région parisienne*. Vol. 198. Paris: Compte Rendu de l'Académie des Sciences.
DUBOIS, G., et DUBOIS, C. 1937a. *Analyse pollinique d'une tourbe rencontrée à Paris, Quai Saint-Bernard lors des travaux du chemin de fer métropolitain*. Vol. 2e semestre, n° 1, t. IX. Paris: Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle.
DUBOIS, G., et DUBOIS, C. 1937b. *Etude paléobotanique de tourbières de la région parisienne*. Vol. sér. 5, t. 7: Bulletin de la Société Géolologique Française.

DUBOULOZ, J. 2003. "Datation absolue du premier Néolithique du Bassin parisien: complément et relecture des données RRBP et VSG." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 100 (4):671-689.

DUBOULOZ, J. 2012. "Interdépendance et cohésion des différents niveaux de territorialité au Néolithique rubané en Bassin parisien." Dans *Des Hommes aux Champs. Pour une archéologie des espaces ruraux, Actes de la table ronde de Caen, octobre 2008, Archéologie et Culture*, Edité par V. Carpentier et C. Marcigny, 23-34. Rennes: PUR.

DUBOULOZ, J., HAMARD, D., LASSERRE, M., et LE BOLLOCH, M.-A. 1986. "Douze années de sauvetage dans la vallée de l'Aisne. Rössen tardif et « Michelsberg ancien ». Fin du quatrième et début du troisième millénaire." Dans *Le Néolithique de la France. Hommage à G. Bailloud*, Edité par J.-P. Demoule et J. Guilaine, 141-146. Paris: Picard.

DUBOULOZ, J., MARTINEZ, R., et MORDANT, D. 1989. "3789 avant J.-C. en Bassin parisien : une révolution tranquille au Néolithique." Dans *exposition Musée de préhistoire d'Ile-de-France, Nemours 17 mai-31 décembre 1989*, 79. Nemours: APRAIF.

DUBOULOZ, J., MORDANT, D., et PRESTREAU, M. 1991. "Les enceintes «néolithiques» du Bassin parisien. Variabilité structurelle, chronologique et culturelle. Place dans l'évolution socio-économique du Néolithique régional. Modèles interprétatifs préliminaires." Dans *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours, 17-19 mai 1989*, 211-229. Nemours: APRAIF, Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France n°4.

DUDAY, H., et MASSET, C. 1989. "Les sépultures collectives." Dans *Archéologie de la France, 30 ans de découvertes : exposition Galeries Nationales du Grand Palais, 27 sept.-31 déc. 1989*, 170-175. Paris: Réunion des musées nationaux.

DUPONT, C., MARCHAND, G., CARRION MARCO, Y., DESSE-BERSET, N., GAUDIN, L., GRUET, Y., MARGUERIE, D., et OBERLIN, C. 2010. "Beg-an-Dorchenn (Plomeur, Finistère): une fenêtre ouverte sur l'exploitation du littoral par les peuples mésolithiques du VIe millénaire dans l'Ouest de la France." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 107 (2):227-290.

DUPONT, C., SCHULTING, R. J., et TRESSET, A. 2007. "Prehistoric shell middens along the French Atlantic façade: The use of marine and terrestrial resources in the diets of coastal human populations." Dans *Shell middens and coastal resources along the Atlantic façade*, Edité par N. Milner et G. Bailey, 123-135. Oxford: Oxbow Books.

EISENHUT, G. 1961. *Untersuchungen über dei Morphologie und ökologie der Pollenkörner heimischer und fremdländischer Waldbäume*. Edité par Paul Parey. Hamburg: (Translated to English by Jackson S.T., Jaumann P., 1989).

ELHAÏ, H. 1959. "Analyse pollinique de deux tourbières normandes." *Pollen et Spores* no. 1 (1):59-76.

ELHAÏ, H. 1960. "La Tourbière de Gathémo, Manche, Normandie." *Pollen et Spores* no. 2 (2):263-274.

ERDTMAN, O. 1924. "Studies in Micro-Palaeontology. I–IV." *GFF* no. 46 (6-7):676-681.

ESCHASSERIAUX, E. 1882. "Le camp néolithique du Peurichard (Charente-Inférieure)." *Matériaux pour l'histoire primitive et naturelle de l'Homme* no. 17 (2ème série):505.

ETIENNE, D. 2011. *Les mardelles intra-forestières de Lorraine. Origines, archives paléo-environnementales, évolutions dynamiques et gestion conservatoire*. thèse de doctorat, Géosciences, Université de Lorraine, Henri Poincaré Nancy 1, Nancy.

ETIENNE, D., RUFFALDI, P., DUPOUEY, J. L., GEORGES-LEROY, M., RITZ, F., et DAMBRINE, E. 2013. "Searching for ancient forests: A 2000 year history of land use in northeastern French forests deduced from the pollen compositions of closed depressions." *The Holocene* no. 23 (5):678-691.

ETIENNE, D., RUFFALDI, P., et GOEPP, S. 2011. "The origin of closed depressions in Northeastern France: A new assessment." *Geomorphology* no. 126 (121-131).

ETIENNE, D., RUFFALDI, P., et RITZ, F. 2010. "Etude des variations de la végétation d'un massif forestier de la Plaine Lorraine (Moselle, France) depuis le Moyen Age." *Quaternaire* no. 21:317-323.

FAEGRI, K. 1935. *Quartärgeologische Untersuchungen im westlichen Norwegen. 1: Über zwei präboreale Klimaschwankungen im südwestlichen Teil*. Edité par Naturvitens kapelig Rekke. Vol. 8. Bergen: Bergens Museum Arbok.

FAEGRI, K. 1940. *Quartärgeologische Untersuchungen im Westlicher Norwegen II: Zur spätquartären Geschichte Jaerens*. Edité par Naturvitens kapelig Rekke. Vol. 7. Bergen: Bergens Museum Arbok.

FAEGRI, K., et IVERSEN, J. 1989. *Textbook of Pollen Analysis, (revised by K. Faegri, P.E. Kaland, K. Krzywinski)*. Chichester: Wiley & Sons.

FAGERLIND, F. 1952. "The real significance of pollen diagrams." *Bot Notiser* no. 105:185-224.

FARE, A., DUTARTE, A., et REBILLARD, J.-P. 2001. *Les principaux végétaux aquatiques du Sud-Ouest de la France*: Agence de l'eau Adour Garonne - Cemagref.

FIRBAS, F. 1949. *Spat und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nordlich der Alpen*. Vol. 1 Allgermeine Waldgeschichte: Gustav Fischer Verlag.

FIRBAS, F. 1954. *Die Synchronisierung der mitteleuropäischen Pollendiagramme*. Vol. 2, *Rk. 80*: Damn. Geol. Unders.

FYFE, R. 2006. "GIS and the application of a model of pollen deposition and dispersal: a new approach to testing landscape hypotheses using the POLLANDCAL models." *Journal of Archaeological Science* no. 33 (4):483-493. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.005.

FYFE, R. M., DE BEAULIEU, J.-L., BINNEY, H., BRADSHAW, R. H., BREWER, S., LE FLAO, A., FINSINGER, W., GAILLARD, M.-J., GIESECKE, T., et GIL-ROMERA, G. 2009. "The European Pollen Database: past efforts and current activities." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 18 (5):417-424.

FYFE, R. M., TWIDDLE, C., SUGITA, S., GAILLARD, M.-J., BARRATT, P., CASELDINE, C. J., DODSON, J., EDWARDS, K. J., FARRELL, M., FROYD, C., GRANT, M. J., HUCKERBY, E., INNES, J. B., SHAW, H., et WALLER, M. 2013. "The Holocene vegetation cover of Britain and Ireland: overcoming problems of scale and discerning patterns of openness." *Quaternary Science Reviews* no. 73 (0):132-148. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.05.014.

GAILLARD, F. 1892. "Le dolmen de la Pointe de Conguel à Quiberon." *Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris*:37-47.

GAILLARD, F. 1893. "Gisement néolithique du Castellic-en-Carnac." *Bulletin de la Société d'anthropologie de Paris*:225-231.

GAILLARD, M.-J., SUGITA, S., MAZIER, F., TRONDMAN, A.-K., BROSTROM, A., HICKLER, T., KAPLAN, J. O., KJELLSTROM, E., KOKFELT, U., KUNES, P., LEMMEN, C., OLOFSSON, J., SMITH, B., STRANDBERG, G., FYFE, R., NIELSEN, A. B., ALENIUS, T., BALAKAUSKAS, L., BARNEKOW, L., BIRKS, H. J. B., BJUNE, A., BJÖRKMAN, L., GIESECKE, T., HJELLE, K., KALNINA, L., KANGUR, M., VAN DER KNAAP, W. O., KOFF, T., LAGERÅS, P., LATALOWA, M., LEYDET, M., LECHTERBECK, J., LINDBLADH, M., ODGAARD, B., PEGLAR, S., SEGERSTRÖM, U., VON STEDINGK, H., et SEPPÄ, H. 2010. "Holocene land-cover reconstructions for studies on land cover-climate feedbacks." *Climate of the Past* no. 6:483-499.

GAILLARD, M. J., LEBAMBA, J., SUGITA, S., HÉLY, C., VINCENS, A., MAZIER, F., et LÉZINE, A. M. 2012. "Application of the Landscape Reconstruction Algorithm on Holocene pollen records in Cameroon." Dans *Human Impact and Biodiversity in Western Africa*. Paris: Proceedings of the Colloquium Holocene Climate Change.

GAILLARD, M. J., SUGITA, S., BUNTING, M. J., MIDDLETON, R., BROSTRÖM, A., CASELDINE, C., GIESECKE, T., HELLMAN, S. E. V., HICKS, S., HJELLE, K., et MEMBERS, P. 2008. "The use of modelling and simulation approach in reconstructing past landscapes from fossil pollen data: a review and results from the POLLANDCAL network." *Vegetation History Archaeobotany* no. 17:419-443.

GAJEWSKI, K., VIAU, A. E., SAWADA, M., ATKINSON, D. E., et FINES, P. 2006. "Synchronicity in climate and vegetation transitions between Europe and North America during the Holocene." *Climatic change* no. 78 (2-4):341-361.

GANNE, A. en cours. *Intercalibration du signal paléoenvironnemental estuarien et océanique à l'Holocène. Application à la Loire et à la plate-forme Armoricaine*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1.

GAUDIN, L. 2004. *Transformations spatiotemporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstitutions paléopaysagères*. Thèse de doctorat, Archéologie et Archéométrie, Université de Rennes 1, Rennes.

GAUTHIER, E. 2002. "Évolution des activités agropastorales du Haut Jura (France) au cours des trois derniers millénaires." *Quaternaire* no. 13 (2):137-147.

GEBHARDT, A. 1990. *Evolution du paléopaysage dans le Nord-Ouest de la France. Apport de la micromorphologie*, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1.

GEBHARDT, A., et MARGUERIE, D. 2006. "Les sols, leur couvert végétal et leur utilisation au Néolithique." Dans *Monuments mégalithiques à Locmariaquer (Morbihan)*, Edité par Charles-Tanguy Le Roux, 13-23. Paris: Gallia Préhistoire.

GELFAND, A. E., et SMITH, A. F. M. 1990. "Sampling-based approaches to calculating marginal densities." *Journal of the American statistical association* no. 85 (410):398-409.

GEYH, M. A., KRUMBEIN, W. E., et KUDRASS, H.-R. 1974. "Unreliable 14C dating of long-stored deep-sea sediments due to bacterial activity." *Marine Geology* no. 17 (1):M45-M50.

GEYH, M. A., SCHOTTERER, U., et GROSJEAN, M. 1998. "Temporal changes of the 14C reservoir effect in lakes." *Radiocarbon* no. 40 (2):921-931.

GHESQUIERE, E., MARCIGNY, C., AUBRY, B., CLEMENT-SAULEAU, S., DIETSCH-SELLAMI, M.-F., DELOZE, V., HAMON, G., QUERRE, G., et RENAULT, V. 2003. "L'habitat néolithique moyen I de Vivoin" le Parc"(Sarthe)." *Bulletin de la Société préhistorique française*:533-573.

GHESQUIERE, E., MARCIGNY, C., CARPENTIER, V., DURAND, J., et GIAZZON, D. 2001. "Témoins d'occupation domestique du Néolithique ancien à Pont/Plomb «Le Champ Hardy»(Manche)." *Revue archéologique de l'Ouest* no. 18:5-12.

GHESQUIERE, E., MARCIGNY, C., GIAZZON, D., et GAUME, É. 2000. "Un village rubané en Basse-Normandie? L'évaluation du site de la ZAC du Lazzaro à Colombelles (Calvados)." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 97 (3):405-418.

GHESQUIERE, E., MARCIGNY, C., LEPAUMIER, H., DIETSCH-SELLAMI, M.-F., RENAULT, V., et SAVARY, X. 1999. "Les gisements Cerny d'Hébécrevon "le village de l'Hôtel Torquet" et" La Couesnerie"(Manche)." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 96 (4):529-546.

GIESECKE, T., BENNETT, K. D., BIRKS, H. J. B., BJUNE, A. E., BOZILOVA, E., FEURDEAN, A., FINSINGER, W., FROYD, C., POKORNÝ, P., et RÖSCH, M. 2011. "The pace of Holocene vegetation change–testing for synchronous developments." *Quaternary Science Reviews* no. 30 (19):2805-2814.

GILKS, W. R., RICHARDSON, S., et SPIEGELHALTER, D. J. 1996. *Markov chain Monte Carlo in practice*. Vol. 2: CRC press.

GIOT, P.-R., L'HELGOUACH, J., et MONNIER, J.-L. 1979. *Préhistoire de la Bretagne*. Rennes: Éditions Ouest-France.

GIRARD, M., et RENAULT-MISKOVSKY, J. 1969. "Nouvelles techniques de préparation en Palynologie appliquées à 3 sédiments du Quaternaire final de l'abri Cornille (Istres, Bouches du Rhône)." *Bulletin AFEQ* no. 4:275-284.

GODWIN, H. 1940. "Pollen analysis and forest history of England and Wales." *New Phytologist* no. 39 (4):370-400.

GODWIN, H. 1956. *The history of the British flora. A factual basis for phytogeography*. Cambridge: Cambridge University Press.

GOEURY, C. 1988. "Acquisition, gestion et représentation des données de l'analyse pollinique sur micro-ordinateur." *Inst. fr. Pondichery, trav. sec. sci. tech.* no. XXV:405-416.

GOH, K. M. 1972. "Comparison and evaluation of methods for including nitrate in the total nitrogen determination of soils." *Journal of the Science of Food and Agriculture* no. 23 (3):275-284.

GOH, K. M. 1991. "Carbon dating." Dans *Carbon Isotope Techniques*, Edité par D. C. Coleman et B. Fry, 125-145. San Diego, CA, USA: Academic Press.

GOMEZ DE SOTO, J. 1973. "Une nouvelle datation C 14 pour la civilisation d'Artenac en Charente." *Bulletin de la Société Préhistorique Française* no. 70 (7):199-200.

GOUGE, P. 2008. "Vers la crise du Xe siècle avant notre ère." Dans *Préhistoire en Île-de-France*, 256-263. Nemours: Les collections du Musée départemental de Préhistoire d'Île-de-France. APRAIF.

GOUGE, P., et PEAKE, R. 2005. "Aux marges du Bronze atlantique: sites et chronologies de la région du confluent Seine-Yonne." Dans *L'Âge du Bronze du nord de la France dans le contexte européen occidental: nouvelles découvertes et propositions de périodisation. Actes de la table ronde tenue dans le cadre du 125ème Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Lille, 2000, Pré- et Protohistoire* Edité par J. Bourgeois et M. Talon, 333-359. Paris: Editions du C.T.H.S.

GOULETQUER, P.-L., KAYSER, O., LE GOFFIC, M., LEOPOLD, P., MARCHAND, G., et MOULLEC, J.-M. 1996. "Où sont passés les Mésolithiques côtiers bretons? Bilan 1985-1995 des prospections de surface dans le Finistère." *Revue archéologique de l'ouest* no. 13:5-30.

GREGORY, P. H. 1973. *The microbiology of the atmosphere. A Plant Science Monograph*. Aylesbury: Leornard Hill.

GUILAINE, J., et ROUSSOT-LARROQUE, J. 1989. "La fin du Néolithique et l'apparition du métal." Dans *Archéologie de la France, 30 ans de découvertes : exposition Galeries Nationales du Grand Palais, 27 sept.-31 déc. 1989*, 176-183. Paris: Réunion des musées nationaux.

GUTIERREZ-ZUGASTI, I., ANDERSEN, S. H., ARAUJO, A. C., DUPONT, C., MILNER, N., et MONGE-SOARES, A. M. 2011. "Shell midden research in Atlantic Europe: State of the art, research problems and perspectives for the future." *Quaternary International* no. 239 (1–2):70-85. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2011.02.031.

GUYODO, J.-N. 2001. *Les assemblages lithiques des groupes néolithiques sur le Massif armoricain et ses marges*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1.

GUYODO, J.-N., et MENS, E. 2008. Aménagements de l'affleurement et architectures en bois au milieu du Vème mil. avant J.-C.: l'exemple de l'habitat de Gréez-sur-Roc (Sarthe). Dans Technologie des premières architectures en pierres en Europe Occidentale du 5ème au 2ème millénaire av. J.-C., Colloque international Musée Dobrée. Nantes.

HAMMOND, A. P., GOH, K. M., TONKIN, P. J., et MANNING, M. R. 1991. "Chemical pretreatments for improving the radiocarbon dates of peats and organic silts in a gley podzol environment: Grahams Terrace, North Westland." *New Zealand journal of geology and geophysics* no. 34 (2):191-194.

HAMON, N. 2003. *Les productions céramiques au Néolithique ancien et moyen dans le nord-ouest de la France*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1.

HARRIS, E. C. 1979. *Principles of archaeological stratigraphy*. Londres: Academic Press.

HAVINGA, A. J. 1984. "A 20-years experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types." *Pollen et Spores* no. XXVI (3-4):541-558.

HEBRAS, C. 1965. "Le Dolmen E 136, du groupe de Monpalais, commune de Taizé (Deux-Sèvres)." *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux* no. 62 (1):139-158.

HEDBERG, H. D. 1976. *International Stratigraphic Guide: A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure.* . Edité par International Subcommission on Stratigraphic Classification: Wiley.

HEIM, J. 1970. *Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale*. Thèse d'Etat, Université de Louvain (Belgique).

HELLMAN, S. 2007. *Validating and Testing the Landscape Reconstruction Algorithm in Southern Sweden - Towards Quantitative Reconstruction of Past Vegetation*. Dissertation series 46, University of Kalmar.

HELLMAN, S., BUNTING, M. J., et GAILLARD, M.-J. 2009. "Relevant source area of pollen in patchy cultural landscapes and signals of anthropogenic landscape disturbance in the pollen record: a simulation approach." *Review of Palaeobotany and Palynology* no. 153 (3):245-258.

HELLMAN, S., GAILLARD, M. J., BROSTRÖM, A., et SUGITA, S. 2008a. "The REVEALS model, a new tool to estimate past regional plant abundance from pollen data in large lakes: validation in southern Sweden." *Journal of Quaternary Science* no. 23 (1):21-42.

HELLMAN, S. E. V., GAILLARD, M.-J., BROSTRÖM, A., et SUGITA, S. 2008b. "Effects of the sampling design and selection of parameter values on pollen-based quantitative reconstructions of regional vegetation: a case study in southern Sweden using the REVEALS model." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 17 (5):445-459.

HENOCQ-POCHINOT, G., et MORDANT, D. 1991. "La marge sud-est du Bassin parisien: Chasséen et Néolithique moyen Seine-Yonne." Dans *Identité du Chasséen : actes du Colloque international de Nemours, 17-19 mai 1989*, 199-209. Nemours: APRAIF, Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France n°4.

HERVE, D., et LALOË, F. 2009. *Modélisation de l'environnement: entre natures et sociétés*. Edité par Collection «Indisciplines». Vol. 2, *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*. Paris: Quae-NSS Dialogues.

HESSELMAN, H. 1916. "Yttrande med anledning av L. von Post's föredrag:"Om skogsträdpollen i sydsvenska torfmosselagerföljder"." *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* no. 38:390-392.

HICKS, S. 2001. "The use of annual arboreal pollen deposition values for delimiting tree-lines in the landscape and exploring models of pollen dispersal." *Review of Palaeobotany and Palynology* no. 117 (1):1-29.

HINOUT, J. 1984. "Les outils et armatures standards mésolithiques dans le Bassin parisien par l'analyse des données." Dans *Le Néolithique dans le Nord de la France et le Bassin parisien : actes du neuvième colloque interrégional sur le Néolithique, Compiègne, 1982*, Edité par Université de Picardie, 9-30. Revue archéologique de Picardie.

HINOUT, J. 1989. "Tardenoisien et faciès de Mauregny dans le Bassin parisien." Dans *Le temps de la Préhistoire : actes du XXIIIe Congrès Préhistorique de France*, Edité par J.-P. Mohen, 346-347. Paris: Archéologia.

HJELLE, K. L. 1998. "Herb pollen representation in surface moss samples from mown meadows and pastures in western Norway." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 7 (2):79-96.

HOEK, W. Z. 1997. "Late-glacial and early Holocene climatic events and chronology of vegetation development in the Netherlands." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 6 (4):197-213.

HUNTLEY, B., et BIRKS, H. J. B. 1983. *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0-13000 years ago*. Edité par Cambridge University Press. Cambridge.

ILETT, M., CONSTANTIN, C., FARRUGGIA, J.-P., et BAKELS, C. 1995. "Bâtiments voisins du Rubané et du groupe de Villeneuve-Saint-Germain sur le site de Bucy-le-Long «La Fosse Tounise» (Aisne)." Dans *actes du 19e Colloque interrégional sur le Néolithique, Amiens 1992*, 17-39. Université de Picardie: Revue archéologique de Picardie, n° spécial 9.

IRRIBARIA, R. 2007. "Le Chambon, son extension, sa nature: recherches récentes." Dans *Du Cerny au Castellic: le début du Néolithique moyen dans l'Ouest de la France, Séminaire archéologique de l'ouest de la France, Séminaire archéologique de l'ouest 2007*, Edité par C. Marcigny et E. Ghesquière.

IVERSEN, J. 1954. "The late-glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil." *Geol. Survey of Denmark* no. II Series (Roekke 80):87-119.

JACOBSON, G. L., et BRADSHAW, R. H. W. 1981. "The selection of sites for paleovegetational studies." *Quaternary Research* no. 16 (1):80-96.

JAHIER, I. 2005. "Le village de Cahagnes (Calvados)." Dans *La Normandie à l'aube de l'histoire. Les découvertes archéologiques de l'âge du Bronze 2300-800 av. J.-C.*, Edité par C. Marcigny, 50-51. Paris.

JALUT, G. 1966. "Analyse pollinique de la tourbière de Poigny." *Pollen et Spores* no. 8 (1):123-133.

JALUT, G. 1967. "Analyse pollinique de la tourbière de l'Archet." *Pollen et Spores* no. 9 (2):305-317.

JALUT, G. 1974. *Évolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millenaires dans l'extremité orientale des Pyrénées*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse Paul Sabatier.

JALUT, G. 1991. "Le pollen traducteur du paysage agraire." Dans *Pour une archéologie agraire*, Edité par J. Guilaine, 345-368. Paris: Armand Colin.

JELINSKI, D. E., et WU, J. 1996. "The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology." *Landscape ecology* no. 11 (3):129-140.

JESSEN, K. 1935. "Archaeological dating in the history of North Jutland's vegetation." *Acta Archeologica* no. 5 (3):185-214.

JESSEN, K. 1938. "Some west Baltic pollen diagrams." *Quartär* no. 1:124-139.

JEUNESSE, C. 1995. "Les relations entre l'Alsace et le Bassin parisien au Néolithique ancien vues à travers l'étude des pratiques funéraires." Dans *actes du 20e colloque interrégional sur le Néolithique, Evreux, 1993*, 13-20. Revue archéologique de l'Ouest. Supplément n° 7.

JOLY, D., BROSSARD, T., CARDOT, H., CAVAILHES, J., HILAL, M., et WAVRESKY, P. 2010. "Les types de climats en France, une construction spatiale." *Cybergeo: European Journal of Geography*.

JONES, M., et NICHOLLS, G. 2002. "New radiocarbon calibration software." *Radiocarbon* no. 44 (3):663-674.

JOUSSAUME, R. 1981. "Le Néolithique de l'Aunis et du Poitou occidental dans son cadre atlantique." *Travaux du Laboratoire d'Anthropologie, Préhistoire, Protohistoire et Quaternaire Armoricain de Rennes*:625.

JOUSSAUME, R., CADOT, R., et GILBERT, J.-M. 2006. "Les tumulus de Champ-Châlon à Benon (Charente-Maritime)." *Bulletin du Groupe Vendéen d'Etudes Préhistoriques* (42):90.

JOUSSAUME, R., JAUNEAU, J.-M., ROBIN, P., GACHINA, J., et GACAINA, J. 1979. "Néolithique ancien du Centre-Ouest. Note préliminaire." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 76 (6):178-183.

JOUSSAUME, R., et PAUTREAU, J.-P. 1990. *La Préhistoire du Poitou: Poitou, Vendée, Aunis, des origines à la conquête romaine*. Rennes: Ouest-France.

JULVE, P. 1998. "Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France." *Institut Catholique de Lille, Lille*.

JULVE, P. 1999. "Carte phytogéographique de la France." *Cahiers de Géographie Physique* no. 13:30-43.

KAYSER, O. 1985. "A propos de la fin du Mésolithique en Bretagne: l'amas coquillier de Beg-an-Dorchenn (Finistère). Note préliminaire." *Travaux de l'Institut d'Art Préhistorique, Université de Toulouse-Le Mirail* no. 27:80-92.

KERDIVEL, G. 2004. Entre Massif armoricain et Bassin parisien: le Néolithique de Basse-Normandie et d'Anjou, mémoire de DEA. Rennes: mémoire de DEA, UMR 6566.

KERDIVEL, G. 2009. *Occupation de l'espace et gestion des ressources à l'interface entre massifs primaires et bassins secondaires et tertiaires: l'exemple du Massif armoricain et de ses marges au Néolithique*, Thèse de Doctorat Université Rennes 1, Rennes.

KILIAN, M. R., VAN DER PLICHT, J., et VAN GEEL, B. 1995. "Dating raised bogs: new aspects of AMS 14C wiggle matching, a reservoir effect and climatic change." *Quaternary Science Reviews* no. 14:959-966.

KILIAN, M. R., VAN GEEL, B., et VAN DER PLICHT, J. 2000. "C14 AMS wiggle-matching of raised bog deposits and models of peat accumulation." *Quaternary Science Reviews* no. 19:1011-1033.

KRIER, V., LEROYER, C., LIMONDIN-LOZOUET, N., et RODRIGUEZ, P. 1996. "Synthèse préliminaire sur l'évolution du système fluvial de la Seine entre Montereau et Troyes, du Tardiglaciaire au Postglaciaire." Dans *La Bourgogne entre les bassins rhénan, rhodanien et parisien : carrefour ou frontière ?, actes du XVIIIe Colloque interrégional sur le Néolithique, (Dijon, 25-27 octobre 1991)*, Edité par P. Duhamel, 339-344. Revue Archéologique de l'Est.

L'HELGOUACH, J. 1962. "Le dolmen de Conguel en Quiberon (Morbihan)." *Bulletin de la Société préhistorique de France* no. 59 (5-6):371-381.

L'HELGOUACH, J. 1965. *Les Sépultures mégalithiques en Amorique*. Thèse de Doctorat, Université de Rennes.

LANCHON, Y. 2008. "La culture de Blicquy/Villeneuve-Saint-Germain dans la basse vallée de la Marne: première approche chronologique à partir de la céramique." Dans *Fin des traditions danubiennes dans le Néolithique du Bassin parisien et de la Belgique (5100-4700 BC)*, 143-60.

LANCHON, Y. 2012. "Le Néolithique ancien dans la basse vallée de la Marne : premières réflexions sur les sites, leur statut et leur organisation territoriale." Dans *Des Hommes aux Champs. Pour une archéologie des espaces ruraux, Actes de la table ronde de Caen, octobre 2008, Archéologie et Culture*, Edité par V. Carpentier et C. Marcigny, 35-54. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.

LANCHON, Y., et CONVERTINI, F. 2013. "Etude des mobiliers du Néolithique ancien: le mobilier céramique." *Un hameau du Néolithique ancien: Le Pré des Bateaux à Luzancy (Seine-et-Marne)*:64-84.

LANCHON, Y., et MARQUIS, P. 1992. "Vie de la société." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 89 (5):131-132.

LANOS, P. 2004. "Bayesian inference of calibration curves: application to archaeomagnetism." Dans *Tools for Constructing Chronologies, Crossing Disciplinary Boundaries*, Edité par C.E. Buck et A.R. Millard, 43-82. London: Springer-Verlag.

LANOS, P., et DUFRESNE, P. 2012. "Analyse des données chronologiques par modélisation statistique bayésienne: le logiciel RenDateModel." Dans *Archéologie en mouvement*, Edité par Actes du Colloque INSHS 25 juin 2010. Paris: Editions du CNRS.

LANOS, P., et PHILIPPE, A. in prep. "Combinaison de datations par statistique hiérarchique bayésienne : le modèle chronologique du Fait ou d'événement."

LAPORTE, L. 1996. "Quelques réflexions sur le Néolithique final du Centre-Ouest de la France." *Revue archéologique de l'ouest* no. 13:51-74.

LAPORTE, L. 2005. "Néolithisations de la façade atlantique du Centre-Ouest et de l'Ouest de la France." Dans *Unité et diversité des processus de néolithisation sur la façade atlantique de l'Europe (6ème-4ème millénaires avant J.-C.), Table-Ronde de Nantes, 2002*, Edité par G. Marchand et A. Tresset, 99-125. Paris: Mémoires de la Société préhistorique française.

LAPORTE, L., BEDAULT, L., et BERTIN, F. 2009. *Des premiers paysans aux premiers métallurgistes sur la façade atlantique de la France (3500-2000 av. JC)*. Vol. 33. Chauvigny: Association des publications chauvinoises.

LAPORTE, L., JOUSSAUME, R., et SCARRE, C. 2002. "Le tumulus C de Péré à Prissé-la-Charrière (Deux-Sèvres). Etat des recherches après 6 années d'intervention." *Gallia préhistoire*:167-214.

LAPORTE, L., et PICQ, C. 2002. "Les occupations néolithiques du vallon des Ouchettes (Plassay, Charente-Maritime)." *Gallia Préhistoire* no. 44:1-120.

LAVERGNE, D. 1965. *Carte de la végétation de la France*. Vol. 15. Rouen: IGN-CNRS.

LE BOLLOCH, M.-A. 1984. "La culture de Michelsberg dans la vallée de l'Aisne." Dans *Le Néolithique dans le Nord de la France et le Bassin parisien : actes du neuvième colloque interrégional sur le Néolithique, Compiègne, 24-26 septembre 1982*, 133-145. Revue Archéologique de Picardie.

LE CORRE, C., AUVRAY, B., BALLEVRE, M., et ROBARDET, M. 1991. "Le Massif Armoricain." *Bulletin des Sciences Géologiques, Strasbourg* no. 44 (1-2):31-103.

LE GUEN, P., AUXIETTE, G., BRUN, P., DUBOULOZ, J., GRANSAR, F., et POMMEPUY, C. 2005. "Apport récent sur la transition Âge du Bronze - Âge du Fer dans la vallée de l'Aisne, Osly-Courtil "La Terre Saint-Mard" (Aisne). Processus de différenciation de l'habitat au cours du Bronze Final." Dans *Hommages à Claudine Pommepuy*, Edité par Auxiette G. et Malrain F., 141-161. Revue archéologique de Picardie, numéro spécial 22.

LE JEUNE, Y., LEROYER, C., et PASTRE, J.-F. 2012. "L'évolution holocène de la basse vallée de la Marne (Bassin parisien, France) entre influences climatiques et anthropiques." *Géomorphologie : relief, processus, environnement* no. 4:459-476.

LEGUEDOIS, S., PARTY, J.-P., DUPOUEY, J.-L., GAUQUELIN, T., GEGOUT, J.-C., LECAREUX, C., BADEAU, V., et PROBST, A. 2011. "La carte de végétation du CNRS à l'ère du numérique." *Cybergeo : European Journal of Geography* no. Environnement, Nature, Paysage (document 559). doi: 10.4000/cybergeo.24688.

LEHMAN, J. T. 1975. "Reconstructing the rate of accumulation of lake sediment: the effect of sediment focusing." *Quaternary Research* no. 5 (4):541-550.

LEROYER, C. 1989. "Palynologie en milieu alluvial." Dans *Archéologie et carrières, Séminaire Archéologie et carrières de granulats, St-Pierre-les-Nemours, 26-27 mai 1988*, 65-67. Institut du Patrimoine.

LEROYER, C. 1995. Paris XIIe, Z.A.C. du Nouveau Bercy - Fresnes-sur-Marne, Le Chemin des Noues - Fresnes-sur-Marne, L'île du Gord - Vert-Saint-Denis - Lailly, Le Gros Pré. Edité par Ministère de la Culture. Paris.

LEROYER, C. 1996a. Annet-sur-Marne, Passage TGV - Annet-sur-Marne, La Boucle de Jablines - Lesches, Les Prés du Refuge. Edité par Ministère de la Culture. Paris.

LEROYER, C. 1996b. La séquence pollinique de la vallée de l'Alain. Dans L'Homme et la Nature au Moyen Age, à Grenoble.

LEROYER, C. 1997. *Homme, climat, végétation au Tardi- et Postglaciaire dans le Bassin parisien : apports de l'étude palynologique des fonds de vallée*. Thèse de Doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris.

LEROYER, C. 1998. "Evolution de la végétation et emprise de l'Homme sur le milieu à Bercy." Dans *Le Néolithique du Centre-Ouest de la France, actes du XXIe colloque interrégional sur le Néolithique, (Poitiers ,1994)*, Edité par X. Gutherz et R. Joussaume, 407-407. Paris: Association des Publications Chauvinoises.

LEROYER, C. 2003. "Environnement végétal des structures funéraires et anthropisation du milieu durant le Néolithique récent/final dans le Bassin parisien. Sans dessus dessous - La recherche du sens en préhistoire. Recueil d'études offert à J. Leclerc et Cl. Masset." *Revue Archéologique de Picardie* no. n.s. 21:83-92.

LEROYER, C. 2004. "L'anthropisation du Bassin parisien du VIIe au IVe millénaire d'après les analyses polliniques de fonds de vallées : mise en évidence d'activités agro-pastorales très précoces." Dans *Néolithisation précoce. Première trace d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*, Edité par Hervé Richard, 11-27. Besançon: Presses Universitaires de Franche-Comté.

LEROYER, C. 2006a. L'impact des groupes néolithiques du Bassin parisien sur le milieu végétal : évolution et approche territoriale d'après les données polliniques. Dans Impacts interculturels au Néolithique moyen. Du terroir au territoire : sociétés et espaces, à Dijon.

LEROYER, C. 2006b. "L'environnement végétal des sites : les données de la palynologie." Dans *Les sites laténiens de la moyenne vallée de l'Oise du Ve au Ier s. avant notre ère. Contribution à l'Histoire de la société gauloise*, Edité par F. Malrain et E. Pinard, 34-42. Revue archéologique de Picardie.

LEROYER, C., et ALLENET DE RIBEMONT, G. 1996. Etude pollinique de la Vallée de la Verse (60).

LEROYER, C., et ALLENET DE RIBEMONT, G. 1997. Analyse pollinique des sites archéologiques de Rueil-Malmaison " Les Closeaux ".

LEROYER, C., et ALLENET DE RIBEMONT, G. 1999. Neuilly-sur-Marne "La Haute Ile" : étude palynologique de trois séquences organiques.

LEROYER, C., et ALLENET DE RIBEMONT, G. 2006a. "L'anthropisation du paysage végétal d'après les données polliniques : l'exemple des fonds de vallées du Bassin parisien." Dans *L'érosion entre Société, Climat et Paléoenvironnement*, Edité par Philippe Allée et Laurent Lespez, 63-72. Clermont-Ferrand: Presses universitaires Blaise Pascal.

LEROYER, C., et ALLENET DE RIBEMONT, G. 2006b. Lesches sur Marne « Le Pré du Refuge » / Etude palynologique.

LEROYER, C., ALLENET DE RIBEMONT, G., PASTRE, J.-F., et LANCHON, Y. soumis. "L'étude pollinique de Vignely « La Corvée »." Dans *Le site de Vignely « La Porte aux Bergers »*, Edité par F. Bostyn et Y. Lanchon. Inrap/CNRS éditions.

LEROYER, C., ALLENET DE RIBEMONT, G., et PERRIERE, J. sous-presse. "Environnement végétal et anthropisation du milieu à Villiers-sur-Seine (77) : étude palynologique du comblement du paléochenal du « Gros Buisson »." Dans *Le site de Villiers-sur-Seine « Le Gros Buisson »*, Edité par Rebecca Peake. Inrap/CNRS éditions.

LEROYER, C., et AOUSTIN, D. 2010. Evolution du paysage végétal en forêt de Dourdan (91) de l'Antiquité à la fin du Moyen-Age d'après l'analyse pollinique de deux mares tourbeuses.

LEROYER, C., BOULEN, M., AUBRY, L., ALLENET DE RIBEMONT, G., AOUSTIN, D., et PERRIERE, J. 2014. *Environnement et incidence des occupations du Néolithique moyen dans la sphère michelsberg : apport de la base de données polliniques*. Rapport de l'ANR MK Projekt.

LEROYER, C., BOULEN, M., MARGUERIE, D., LORHO, T., PRAT, B., ARGANT, J., ALLENET DE RIBEMONT, G., AOUSTIN, D., DIOT, M.-F., GAUDIN, L., GUENET, P., LATOUR-ARGANT, C., MAREMBAT, L., PERRIERE, J., TIXIER, C., et VIVENT, D. 2009. "Base de données S.I.G. palynologiques sur l'Âge du Fer en France : une autre approche du paysage végétal et de son anthropisation." Dans *Habitats et paysages ruraux en Gaule et regards sur d'autres régions du monde celtique*, Edité par Duval A. Bertrand I., Gomez de Soto J. et Maguer P., 447-468. Chauvigny: Actes du XXXIe colloque international de l'association Française pour l'Etude de l'Âge du Fer, 17-20 mai 2007, Mémoire XXXV, Tome II.

LEROYER, C., COUBRAY, S., ALLENET DE RIBEMONT, G., PERRIERE, J., et PERNAUD, J. M. 2011. "Vegetation dynamics, human impact and exploitation patterns in the Paris Basin through the Holocene palynology vs. anthracology." *Saguntum* no. Extra 11:81-82.

LEROYER, C., DAVID, R., MAZIER, F., ALLENET DE RIBEMONT, G., LANOS, P., et DUFRESNE, P. 2012. Environnement et anthropisation du milieu durant l'âge du Bronze dans le Bassin parisien : l'apport des données polliniques et de la modélisation du couvert végétal. Dans L'Homme, ses ressources et son environnement, dans le Nord-Ouest de la France à l'âge du Bronze : actualité de la recherche, à Rennes.

LEROYER, C., PASTRE, J.-F., FONTUGNE, M., et LIMONDIN-LOZOUET, N. 1997. "Le Tardiglaciaire et le début de l'Holocène dans le bassin aval de la Marne (Seine-et-Marne, France) : chronostratigraphie et environnement des occupations humaines." Dans *Le Tardiglaciaire en Europe du Nord-Ouest, actes du 119e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, (Amiens octobre 1984)*, Edité par J.-P. Fagnart et A. Thévenin, 151-164. C.T.H.S.

LIKENS, G. E., et DAVIS, M. B. 1975. "Post-glacial history of Mirror Lake and its watershed in New Hampshire: an initial report." *Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie* no. 19:982-993.

LITT, T., BRAUER, A., GOSLAR, T., MERKT, J., BAŁAGA, K., MÜLLER, H., RALSKA-JASIEWICZOWA, M., STEBICH, M., et NEGENDANK, J. F. 2001. "Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments." *Quaternary Science Reviews* no. 20 (11):1233-1249.

LOPEZ-ROMERO GONZALEZ DE LA ALEJA, E. 2008. "Monuments néolithiques de la région de Lorient (Morbihan, Bretagne) : à propos des modes d'organisation des territoires." *L'Anthropologie* no. 112 (4–5):572-597. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.anthro.2008.06.002.

LOUBOUTIN, C., et SIMONIN, D. 1997. "Le Cerny-Videlles: un faciès ancien de la culture de Cerny. Nouvelle économie, nouvelle société au Néolithique." Dans *Actes du Colloque International de Nemours 1994. Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France*, Edité par C. Constantin, D. Mordant et D. Simonin, 135-137. Nemours: APRAIF.

MAGUET, E. 2013. *Création et exploitation d'une base de données palynologiques sur le Mésolithique et le Néolithique du Bassin parisien*. Mémoire de Master 1 « Histoire et Archéologie », Université de Rennes 2.

MANGERUD, J., ANDERSEN, S. T., BERGLUND, B. E., et DONNER, J. J. 1974. "Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification." *Boreas* no. 3 (3):109-128.

MARCHAND, G. 1999. *La néolithisation de l'ouest de la France: caractérisation des industries lithiques*. Vol. 748. Oxford: British Archaeological Reports Ltd, International Series.

MARCHAND, G. 2000a. "Facteurs de variabilité des systèmes techniques lithiques au Mésolithique récent et final dans l'ouest de la France." Dans *Meso'97, Table ronde sur l'Épipaléolithique et le Mésolithique, Lausanne, 1997*, Edité par P. Crotti, 37-48.

MARCHAND, G. 2000b. "La néolithisation de l'ouest de la France: aires culturelles et transferts techniques dans l'industrie lithique." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 97 (3):377-403.

MARCHAND, G. 2003. "Les zones de contact Mésolithique/Néolithique dans l'ouest de la France: définition et implications." Dans *Muita gente, poucas antas? Origens, espaços e contextos do Megalitismo: Actas do II Coloquio Internacional sobre Megalitismo*, Edité par V.S. Gonçalves, 181-197. Lisboa: Trabalhos de Arqueologia.

MARCHAND, G. 2007. "Et maintenant, qu'est-ce qu'on fait ? Le Mésolithique de l'Ouest, 80 ans après M. et St.-J. Péquart." Dans *Marthe et Saint-Just Péquart, archéologues des îles. De Houat à Hoedic, 1923-1934*, 213-228. Melvan, La Revue des Deux Iles (n° spécial).

MARCHAND, G., BLANCHET, S., CHEVALIER, G., GALLAIS, J.-Y., LE GOFFIC, M., NAUDINOT, N., et YVEN, E. 2004. "La fin du Tardiglaciaire sur le Massif armoricain: territoires et cultures matérielles." *Paléo* no. 16:137-170.

MARCHAND, G., et MANEN, C. 2006. "Le rôle du Néolithique ancien méditerranéen dans la néolithisation de l'Europe atlantique." Dans *Paysages et peuplements. Aspects culturels et chronologiques en France méridionale. Actualité de la recherche. Actes des VIe Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente. Colloque Néolithique de Périgueux, 2004*, Edité par P. Fouéré, C. Chevillot, P. Courtaud, O. Ferullo et C. Leroyer, 213-232. Périgueux: Coédition ADRAHPPSO.

MARCHAND, G., PAILLER, Y., et TOURNAY, G. 2006. "Carrément à l'Ouest! Indices du Villeneuve-Saint-Germain au centre de la Bretagne (le Dillien à Cléguérec et Bellevue à Neulliac; Morbihan)." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 103 (3):519-533.

MARCHAND, G., et TSOBGOU AHOUPE, R. 2007. "Comprendre la diffusion des roches au Mésolithique en Bretagne: analyse structurale des matériaux et variabilité technique." *ArchéoSciences. Revue d'archéométrie* (31):113-126.

MARCIGNY, C., et GHESQUIERE, E. 2008. "Espace rural et systèmes agraires dans l'ouest de la france à l'âge du Bronze : quelques exemples normands." Dans *Villes, villages, campagnes de l'Âge du Bronze*, Edité par Jean Guilaine, 256-278. Séminaires du Collège de France. Editions Errance.

MARCIGNY, C., GHESQUIERE, E., JUHEL, L., et CHARRAUD, F. 2010. "Entre Néolithique ancien et Néolithique moyen en Normandie et dans les îles anglo-normandes. Parcours chronologique." Dans *Premiers Néolithiques de l'Ouest. Cultures, réseaux, échanges des premières sociétés néolithiques à leur expansion*, Edité par C. Billard et M. Legris, 117-62. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.

MARE, E. 2005. "Le village de Malleville-sur-le-Bec (Eure)." Dans *La Normandie à l'aube de l'histoire, les découvertes archéologiques de l'âge du Bronze 2300-800 av. J.-C.*, Edité par C. Marcigny, 52-53. Paris.

MARGUERIE, D. 1992. *Evolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Thèse de Doctorat, Association des travaux du Laboratoire d'anthropologie, préhistoire, protohistoire et quaternaire armoricains, Université Rennes 1, Rennes.

MARGUERIE, D. 2009. *Interactions sociétés-milieux dans le nord-ouest de la France à l'Holocène récent : méthodologie et données archéobotaniques*. Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches (H.D.R.), Université de Rennes 1, Rennes.

MARGUERIE, D., et HUNOT, J.-Y. 2007. "Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France." *Journal of archaeological science* no. 34 (9):1417-1433.

MARINVAL, P. 1993. "Données récentes sur l'agriculture au Néolithique ancien et moyen dans le nord de la France." Dans *Le néolithique au quotidien : actes du XVIe colloque interrégional sur le Néolithique, Paris, 5-6 novembre 1989*, 122-125. Paris, Maison des Sciences de l'Homme: Documents d'Archéologie Française n° 39.

MARINVAL, P. 1995. "Réserve et consommation sur un site post-rubané:«Les Plantes-du-Monts», Gurgy (Yonne)." Dans *Actes du 19e Colloque interrégional sur le Néolithique, Amiens 1992*, 165-169. Revue archéologique de Picardie. Numéro spécial 9.

MARTINEZ, R., et DAVID, E. 1991. "Chasséen septentrional ou Néolithique moyen régional. Analyse et réflexion sur la définition d'une culture." Dans *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours, 17-19 mai 1989*, 177-198. Nemours: APRAIF, Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France n°4.

MASSET, C. 1995. "Question de nomenclature: l'expression "Seine-Oise-Marne"." Dans *actes du 20e colloque interrégional sur le Néolithique, Evreux, 1993*, 141-142. Revue archéologique de l'Ouest. Supplément n°7.

MATTHEWES, J. A. 1985. "Radiocarbon dating of surface and buried soils: principles, problems and prospects." Dans *Geomorphology and Soils*, Edité par K. S. Richards, R. R. Arnett et S. Ellis, 269-288. London, England: George Allen & Unwin Ltd.

MAYER, J. H., BURR, G. S., et HOLLIDAY, V. T. 2008. "Comparisons and Interpretations of Charcoal and Organic Matter Radiocarbon Ages from Buried Soils in North-central Colorado." *Late Quaternary Landscape Evolution, Environmental Change, and Paleoindian Geoarchaeology in Middle Park, Colorado*:331-346.

MAZIER, F. 2006. *Modélisation de la relation entre pluie pollinique actuelle, végétation et pratiques pastorales en moyenne montagne (Pyrénées et Jura). Application pour l'interprétation des données polliniques fossiles*. Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel et de Franche-Comté.

MAZIER, F., BROSTRÖM, A., GAILLARD, M.-J., SUGITA, S., VITTOZ, P., et BUTTLER, A. 2008. "Pollen productivity estimates and relevant source area of pollen for selected plant taxa in a pasture woodland landscape of the Jura Mountains (Switzerland)." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 17 (5):479-495.

MAZIER, F., GAILLARD, M. J., KUNEŠ, P., SUGITA, S., TRONDMAN, A. K., et BROSTRÖM, A. 2012. "Testing the effect of site selection and parameter setting on REVEALS-model estimates of plant abundance using the Czech Quaternary Palynological Database." *Review of Palaeobotany and Palynology* no. 187 (0):38-49. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.07.017.

MAZIER, F., KUNEŠ, P., SUGITA, S., TRONDMAN, A.-K., BROSTRÖM, A., et GAILLARD, M.-J. 2010. "Pollen-inferred quantitative reconstructions of Holocene land-cover in NW Europe for the evaluation of past climate-vegetation feedbacks - Evaluation of the REVEALS based reconstruction using the Czech Republic database." *EGU General Assembly 2010* no. Geophysical Research Abstract, 12:EGU2010- 4248.

MAZOYER, M., et ROUDART, L. 1997. *Histoire des agricultures du monde*. Paris: Seuil.

MAZURIE DE KEROUALIN, K. 2001. *La premiere néolithisation de l'Europe: une réévaluation des modalités de peuplement*, Thèse d'Anthropologie et d'Écologie, Université de Genève, Faculté des Sciences, Genève.

MAZURIE DE KEROUALIN, K. 2003. *Genèse et diffusion de l'agriculture en Europe : agriculteurs-chasseurs-pasteurs*. Paris: Editions Errance, coll. «Hespérides».

MENNESSIER-JOUANNET, C., et BUCHSENSCHUTZ, O. 1996. "Des « champs celtiques » aux systèmes de parcellaires protohistoriques." Dans *Les formes du paysage. Archéologie des parcellaires : colloque ARCHEA-AGER, Orléans, 1996*, Edité par G. Chouquer, 174-179. Paris: Errance.

MICHCZYNSKI, A. 2007. "Is it possible to find a good point estimate of a calibrated radiocarbon date?" *Radiocarbon* no. 49 (2):393-401.

MIRAS, Y. 2004. *L'analyse pollinique du plateau de Millevaches (Massif central, France) et de sites périphériques limousins et auvergnats: approche des paléoenvironnements, des systèmes agropastoraux et évolution des territoires ruraux*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.

MIRAS, Y. 2009. "L'étude des relations entre végétation et pluie pollinique actuelle sur le plateau de Millevaches (Limousin, France): outil pour une meilleure caractérisation pollenanalytique des formes paysagères et des pratiques agrosylvopastorales." *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne* no. 73:71-104.

MOHEN, J.-P., et OLIVIER, L. 1989. "Les premiers métallurgistes." Dans *Archéologie de la France: 30 ans de découvertes : exposition Galeries nationales du Grand Palais*, 198-200. Paris: Editions de la Réunion des Musées nationaux.

MONTEGUT, J. 1987. *Les plantes aquatiques. Tome 1 : Milieu aquatique*: Ed. ACTA.

MORDANT, C. 2008. "L'Age du Bronze. Un matériau nouveau ; Des objets de prestige ; des productions en série ; Nouveaux rites, nouvelles pratiques." Dans *Préhistoire en Île-de-*

France: les collections du Musée départemental de Préhistoire d'Île-de-France, Edité par Anne-Sophie Leclerc, 229-249. Nemours: APRAIF.

MORDANT, C., et MORDANT, D. 1989. "Noyen-sur-Seine, site mésolithique en milieu humide fluviatile." Dans *L'Homme et l'eau au temps de la Préhistoire. Actes du 112e Congrès national des Sociétés savantes, Lyon 1987, Commission de Pré-protohistoire*, 33-52. Paris.

MORDANT, D. 1984a. "Datations radiocarbone de la Petite-Seine et bases d'une chronologie du Néolithique régional." Dans *Influences méridionales dans l'Est et le Centre-Est de la France au Néolithique : le rôle du Massif central : actes du 8e colloque interrégional sur le Néolithique, Le Puy-en-Velay, 3-4 octobre 1981*, 229-239. Clermont-Ferrand: CREPA.

MORDANT, D. 1984b. "Le Néolithique moyen II dans le secteur Seine-Yonne." Dans *Le Néolithique Moyen Bourguignon (NMB), Actes du colloque de Beffia (Jura, France), 4 et 5 juin 1983*, 105-113. Genève: Archives Suisses d'Anthropologie Générale.

MORDANT, D. 1987. "Noyen-sur-Seine avant le Néolithique: des vestiges mésolithiques en milieu humide." *Bulletin du Groupement Archéologique de Seine-et-Marne* (28-31):17-38.

MORDANT, D. 1989. "Les enceintes Néolithiques." Dans *Le temps de la Préhistoire*, 129-133. Paris: Bulletin de la Société préhistorique française, Édition Archéologia.

MORDANT, D. 1992. "Noyen et les enceintes de la Bassée." Dans *La Bassée avant l'histoire. Archéologie et Gravières en Petite-Seine*, Edité par Daniel Mordant, 92-101. Nemours: APRAIF.

MORDANT, D., VALENTIN, B., et VIGNE, J.-D. 2013. "Noyen-sur-Seine, vingt cinq ans après." Dans *Palethnographie du Mésolithique. Recherches sur les habitats de plein air entre Loire et Neckar. Actes de la table ronde internationale de Paris 26 et 27 novembre 2010*, Edité par B. Valentin, 37-49. Séances de la Société préhistorique française.

MORZADEC-KERFOURN, M.-T. 1974. *Variation de la ligne de rivage armoricaine au quaternaire. Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux*. Thèse de Doctorat, Mémoire de la Société Géologique Minéralogique de Bretagne, Université Rennes 1, Rennes.

NICOLAS, E., MARCHAND, G., HENAFF, X., JUHEL, L., PAILLER, Y., DARBOUX, J.-R., et ERRERA, M. 2013. "Le Néolithique ancien à l'ouest de la Bretagne : nouvelles découvertes à Pen Hoat Salaün (Pleuven, Finistère)." *L'Anthropologie* no. 117 (2):195-237. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.anthro.2013.02.002.

NIELSEN, A. B. 2003. *Pollen Based Quantitative Estimation of Land Cover: Relationships Between Pollen Sedimentation in Lakes and Land Cover as Seen on Historical Maps in Denmark AD 1800*. Ph.D. thesis, Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelse rapport, Faculty of Science, Institute of Geography, University of Copenhagen and Geological Survey of Denmark and Greenland, Copenhagen.

NIELSEN, A. B. 2004. "Modelling pollen sedimentation in Danish lakes at c. AD 1800: an attempt to validate the POLLSCAPE model." *Journal of Biogeography* no. 31 (10):1693-1709.

NIELSEN, A. B., GIESECKE, T., THEUERKAUF, M., FEESER, I., BEHRE, K.-E., BEUG, H.-J., CHEN, S.-H., CHRISTIANSEN, J., DÖRFLER, W., et ENDTMANN, E. 2012. "Quantitative reconstructions of changes in regional openness in north-central Europe reveal new insights into old questions." *Quaternary Science Reviews* no. 47:131-149.

NIELSEN, A. B., et ODGAARD, B. V. 2010. "Quantitative landscape dynamics in Denmark through the last three millennia based on the Landscape Reconstruction Algorithm approach." *Vegetation history and archaeobotany* no. 19 (4):375-387.

NILSSON, T. 1935. "Die pollenanalytische Zonengliederung der spät-und postglazialen Bildungen Schonens." *GFF* no. 57 (3):385-562.

NILSSON, T. 1960. "Recherches pollenanalytiques dans la vallé de la Somme." *Pollen et Spores* no. 2 (2):235-262.

O'BRIEN, S. R., MAYEWSKI, A., MEEKER, L. D., MEESE, D. A., TWICKLER, M. S., et WHITLOW, S. I. 1995. "Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core." *Science* no. 270:22.

OILLIC, J.-C. 2011. *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande: étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1, Rennes.

OLDFIELD, F., CROOKS, P. R. J., HARKNESS, D. D., et PETTERSON, G. 1997. "AMS radiocarbon dating of organic fractions from varved lake sediments: and empirical test of reliability." *Journal of Paleolimnology* no. 18:87-91.

OLSSON, I. 1991. "Accuracy and precision in sediment chronology." *Hydrobiologia* no. 214:25-34.

OLSSON, I. U., EL-DAOUSHY, F., et VASARI, Y. 1983. "Säynäjälampi and the difficulties inherent in the dating of sediments in a hard-water lake." *Hydrobiologia* no. 103 (1):5-14.

ORTH, P., PASTRE, J. F., GAUTHIER, A., LIMONDIN-LOZOUET, N., et KUNESCH, S. 2004. "Les enregistrements morphosédimentaires et biostratigraphiques des fonds de vallée du bassin-versant de la Beuvronne (Bassin parisien, Seine-et-Marne, France): perception des changements climatoanthropiques à l'Holocène." *Quaternaire* no. 15 (3):285-298.

OUGUERRAM, A. 2002. *Histoire de la vallée de l'Erdre (affluent de la Loire, Massif armoricain, France) de la fin du Tardiglaciaire aux époques actuelles*. Thèse de Doctorat, Université de Nantes, Groupe d'études des milieux naturels, Nantes.

PAILLER, Y., MARCHAND, G., BLANCHET, S., GUYODO, J. N., et HAMON, G. 2008. "Le Villeneuve-Saint-Germain dans la péninsule armoricaine: Les débuts d'une enquête." Dans *Fin des traditions danubiennes dans le Néolithique du Bassin parisien et de la Belgique (5100–4700 avant J.-C.). Autour des recherches de Claude Constantin*, Edité par L. Burnez-Lanotte, M. Illet et P. Allard, 91-111. Paris: Mémoires de la Société Préhistorique Française.

PARKER, A. G., GOUDIE, A. S., ANDERSON, D. E., ROBINSON, M. A., et BONSALL, C. 2002. "A review of the mid-Holocene elm decline in the British Isles." *Progress in Physical Geography* no. 26 (1):1-45.

PARNELL, A., HASLETT, J., ALLEN, J., BUCK, C., et HUNTLEY, B. 2008. "A flexible approach to assessing synchroneity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history." *Quaternary Science Reviews* no. 27 (19):1872-1885.

PARSONS, R. W., et PRENTICE, I. C. 1981. "Statistical approaches to R-values and the pollen-vegetation relationship." *Review of Palaeobotany and Palynology* no. 32 (2):127-152.

PASTRE, J.-F., FONTUGNE, M., KUZUCUOGLU, C., LEROYER, C., LIMONDIN-LOZOUET, N., TALON, M., et TISNERAT, N. 1997. "L'évolution tardi- et postglaciaire des lits fluviaux au nord-est de Paris (France). Relations avec les données paléoenvironnementales et l'impact anthropique sur les versants." *Géomorphologie : relief, processus, environnement*:291-312.

PASTRE, J.-F., LEROYER, C., LIMONDIN-LOZOUET, N., ANTOINE, P., GAUTHIER, A., et ORTH, P. 2003. "Quinze mille ans d'environnement dans le Bassin parisien (France) : mémoires sédimentaires des fonds de vallée." Dans *Des milieux et des Hommes : fragments d'histoires croisées*, Edité par T. Muxart, F. -D. Vivien, B. Villalba et J. Burnouf, 29-41. Elsevier.

PASTRE, J.-F., LEROYER, C., LIMONDIN-LOZOUET, N., FONTUGNE, M., HATTE, C., KRIER, V., KUNESCH, S., et SAAD, M.-C. 2002a. L'Holocène du Bassin parisien: variations environnementales et réponses géoécologiques des fonds de vallées. Dans Equilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest, à Besançon.

PASTRE, J.-F., LEROYER, C., LIMONDIN-LOZOUET, N., ORTH, P., CHAUSSE, C., FONTUGNE, M., GAUTHIER, A., KUNESCH, S., LE JEUNE, Y., et SAAD, M.-C. 2002b. "Variations paléoenvironnementales et paléohydrologiques durant les 15 derniers millénaires: les réponses morphosédimentaires des vallées du Bassin Parisien (France)." Dans *Les fleuves ont une histoire, paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*, Edité par Jean-Pierre Bravard et Michel Magny, 29-44. Paris: Errance.

PASTRE, J.-F., LIMONDIN-LOZOUET, N., GEBHARDT, A., LEROYER, C., FONTUGNE, M., et KRIER, V. 2001. "Lateglacial and Holocene fluvial records from the central part of the Paris basin (France)." Dans *River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change*, Edité par D. Maddy, M.G. Macklin et J.C. Woodward, 357-373. Balkema.

PECK, R. M. 1973. "Pollen budget studies in a small Yorkshire catchment." Dans *Quaternary Plant Ecology*, Edité par H.J.B. Birks et R.G. West, 43-60. Blackwell, Oxford: John Wiley & Sons.

PENNINGTON, W. 1973. "Absolute pollen frequencies in the sediments of lakes of different morphometry." Dans *Quaternary plant ecology*, Edité par H.J.B. Birks et R.G. West, 185-193. John Wiley & Sons.

PENVEN, M.-J., MARGUERIE, D., PICHOT, D., CHARRIEAU, L., AOUSTIN, D., et DUPONT, N. 2012. Les paysages de la Vilaine aval depuis le Néolithique jusqu'au 18ème siècle, entre influences fluviales, marines et humaines. Rennes: Université Rennes 2.

PETIT, R. J., BREWER, S., BORDACS, S., BURG, K., CHEDDADI, R., COART, E., COTTRELL, J., CSAIKL, U. M., VAN DAM, B., DEANS, J. D., ESPINEL, S., FINESCHI, S., FINKELDEY, R., GLAZ, I., GOICOECHEA, P. G., JENSEN, J. S., KÖNIG, A. O., LOWE, A. J., MADSEN, S. F., MATYAS, G., MUNRO, R. C., POPESCU, F., SLADE, D., TABBENER, H., DE VRIES, S. G. M., ZIEGENHAGEN, B., DE BEAULIEU, J.-L., et KREMER, A. 2002. "Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence." *Forest Ecology and Management* no. 156 (1–3):49-74. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00634-X.

PIOTROWSKA, N., BLAAUW, M., MAUQUOY, D., et CHAMBERS, F. M. 2010. "Constructing deposition chronologies for peat deposits using radiocarbon dating." *Mires & Peat* no. 7.

POPLIN, F., POULAIN, T., MENIEL, P., VIGNE, J. D., GEDDES, D., et HELMER, D. 1986. "Les débuts de l'élevage en France." Dans *Le Néolithique de la France. Hommage à G. Bailloud*, Edité par J.-P. DEMOULE et J. GUILAINE, 37-51. Paris: Picard.

PRENTICE, C. 1985. "Pollen representation, source area, and basin size: toward a unified theory of pollen analysis." *Quaternary Research* no. 23 (1):76-86.

PRENTICE, C. 1988. "Records of vegetation in time and space: the principles of pollen analysis." Dans *Vegetation history*, Edité par B. Huntley et T. Webb, 17-42. Springer Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

PRENTICE, I. C., et PARSONS, R. W. 1983. "Maximum likelihood linear calibration of pollen spectra in terms of forest composition." *Biometrics* no. 39:1051-1057.

PRENTICE, I. C., et WEBB, T. 1986. "Pollen percentages, tree abundances and the Fagerlind effect." *Journal of Quaternary Science* no. 1 (1):35-43.

PRESTREAU, M., et DUHAMEL, P. 1991. "Témoins de contacts interculturels tardidanubiens dans le sud-est du Bassin parisien." Dans *actes du 14e colloque interrégional sur le Néolithique, Blois, 16-18 octobre 1987*, 91-101. Bulletin de la Société Archéologique, Scientifique et Littéraire du Vendômois, Supplément.

PUNNING, J. M., ILOMETS, M., et KOFF, T. 1993. "Possibilities for detailed dating of peat bog deposits." *Radiocarbon* no. 35:379-385.

QUILES, A. 2011. *Construction d'une chronologie absolue pour la 18eme dynastie de l'Egypte ancienne par la méthode du carbone 14 en Spectrométrie de Masse par Accélérateur: modélisation bayesienne et simulations de transport de faisceau*. Thèse de Doctorat, Paris 7.

RAMEAU, J.-C., MANSION, D., et DUME, G. 1989. *Flore forestière française : guide écologique illustré, T. 1 : Plaines et collines*. Paris: Institut pour le développement forestier.

RASSE, M. 2008. "La diffusion du Néolithique en Europe (7000-5000 av. J.-C.) et sa représentation cartographique." *Mappemonde* no. 90:22.

REILLE, M. 1975. *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la montagne corse*.

REIMER, P. J., BAILLIE, M. G., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J. W., BLACKWELL, P. G., RAMSEY, C. B., BUCK, C. E., BURR, G. S., et EDWARDS, R. L. 2009. "IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 yeats cal BP."

REINBOLD, A. en cours. *Les paysages en Haute Bretagne à l'époque médiévale : reconstructions, perceptions, aménagements*. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1.

RENFREW, C. 1976. "Megaliths, territories and populations : Acculturation and continuity in Atlantic Europe." *Dissertationes Archaeologicae Gandenses* no. 16:198-220.

RICHARD, H. 1983. *Nouvelles contributions à l'histoire de la végétation franc-comtoise tardiglaciaire et holocène à partir des données de la palynologie*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon.

RICHARD, H. 1995. "Analyse de l'anthropisation du milieu à partir de quelques exemples de variations de pollens d'arbres et d'arbustes." Dans *L'Homme et la dégradation de l'environnement, actes des XVe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, (Antibes, 20-22 octobre 1994), Juan-les-Pins*, 143-159. Ed. APDCA.

RICHARD, H. 2004. *Néolithisation précoce: premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*. Edité par Sous-direction de l'archéologie du CNRS et de l'université de Franche-Comté Ministère de la Culture. Vol. 777, *Série "Environnement, Sociétés et archéologie"*. Besançon: Presses Universitaires de Franche-Comté.

RICHARD, H., et GERY, S. 1993. "Variations in pollen proportions of Plantago lanceolata and P. Major/media at a Neolithic lake dwelling, Lake Chalain, France." *Vegetation History and Archaeobotany* no. 2:79-88.

RIQUET, R. 1953. "Les styles céramiques néo-énéolithiques des pays de l'Ouest." *Bulletin de la Société Préhistorique Française* no. 50 (7-8):407-422.

RIUS, D. 2010. *Reconstitution et évolution des régimes de feux holocènes dans les Pyrénées, entre contrôles bioclimatique et anthropique*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon.

RIUS, D., VANNIERE, B., et GALOP, D. 2012. "Holocene history of fire, vegetation and land use from the central Pyrenees (France)." *Quaternary Research* no. 77 (1):54-64. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2011.09.009.

ROUSSEAU, J. 2001. *Le Néolithique moyen entre Loire et Gironde à partir des témoignages céramiques*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1.

ROUSSOT-LARROQUE, J. 1984. "Artenac aujourd'hui: pour une nouvelle approche de l'énéolithisation de la France." *Revue archéologique du Centre de la France* no. 23 (2):135-196.

ROUSSOT-LARROQUE, J., BURNEZ, C., FRUGIER, G., GRUET, M., MOREAU, J., et VILLES, A. 1987. "Du Cardial jusqu'à la Loire." *Revue archéologique du centre de la France* no. 26 (1):75-82.

ROZOY, J.-G. 1978. *Les derniers chasseurs: l'Epipaléolithique en France et en Belgique: essai de synthèse*. 3 vols. Vol. 1: Bulletin de la Société archéologique champenoise.

ROZOY, J.-G. 1991. "Nature et conditions de la néolithisation. La fin de l'Epipaléolithique (« Mésolithique ») au nord de la Loire." Dans *Mésolithique et néolithisation en France et dans les régions limitrophes*, Edité par Editions du CTHS, 403-423. Paris: Actes du 113e Congrès national des Sociétés savantes, Strasbourg, 1988.

ROZOY, J.-G. 1995. "Les limites spatiales du Tardenoisien-Nord." Dans *Épipaléolithique et Mésolithique entre Seine et Rhin, table ronde d'Ancerville, 1989, Annales littéraires de Besançon, série archéologie*, 119-124. Paris: Diffusion Les Belles Lettres.

RUDDIMAN, W. F. 2003. "The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago." *Climatic Change* no. 61 (3):261-293.

RUDDIMAN, W. F. 2005. "The early anthropogenic hypothesis a year later - an editorial reply." *Climatic Change* no. 69 (2):427-434.

SALANOVA, L. 2004. "Le rôle de la façade atlantique dans la genèse du Campaniforme en Europe." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 101 (2):223-226.

SALANOVA, L., BRUNET, P., COTTIAUX, R., HAMON, T., LANGRY-FRANÇOIS, F., MARTINEAU, R., POLLONI, A., RENARD, C., et SOHN, M. 2011. "Du Néolithique récent à l'âge du Bronze dans le Centre Nord de la France: les étapes de l'évolution chrono-culturelle." Dans *Le Néolithique du Nord de la France dans son contexte européen: habitat et économie aux 4ème et 3ème millénaires avant notre ère, Actes du 29ème colloque Interrégional sur le Néolithique, Villeneuve-d'Ascq 2009*, Edité par Françoise Bostyn, Emmanuelle Martial et Yvan Praud, 77-101. Revue Archéologique de Picardie.

SAUVAGE, J. 1954. *Palynologie et pétrographie de tourbes et de sédiments de la cuvette parisienne et des Ardennes*. Vol. 12: Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine.

SÄVE-SÖDERBERGH, T., et OLSSON, I. U. 1970. "C-14 dating and Egyptian chronology." Dans *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*, Edité par I. U. Olsson, 35-53. Stockholm: Almqvist & Wiksell.

SCARRE, C. 1983. "Settlements and chambered tombs in neolithic France." *Oxford Journal of Archaeology* no. 2 (3):265-278. doi: 10.1111/j.1468-0092.1983.tb00342.x.

SCARRE, C. 2001. "Modeling prehistoric populations: The case of Neolithic Brittany." *Journal of Anthropological Archaeology* no. 20 (3):285-313.

SCHARPENSEEL, H. W., et SCHIFFMANN, H. 1977. "Radiocarbon dating of soils, a review." *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* no. 140 (2):159-174.

SCHULTING, R. J. 2005. "Comme la mer qui se retire: les changements dans l'exploitation des ressources marines du Mésolithique au Néolithique en Bretagne." Dans *Unité et diversité des processus de néolithisation sur la façade atlantique de l'Europe (6ème-4ème millénaires avant J.-C.), Table-Ronde de Nantes, 26-27 avril 2002*, Edité par G. Marchand et A. Tresset, 163-171. Paris: Mémoires de la Société préhistorique française, Vol. 36

SCHULTING, R. J., et RICHARDS, M. P. 2001. "Dating Women and Becoming Farmers: New Palaeodietary and AMS Dating Evidence from the Breton Mesolithic Cemeteries of Téviec and Hoëdic." *Journal of Anthropological Archaeology* no. 20 (3):314-344. doi: http://dx.doi.org/10.1006/jaar.2000.0370.

SCOTT, E. M. 2003. "The Third and Fourth International Radiocarbon Intercomparisons." *Radiocarbon* no. 45 (2):135-328.

SCOTT, E. M., COOK, G. T., et NAYSMITH, P. 2007. "Error and uncertainty in radiocarbon measurements." *Radiocarbon* no. 49 (2):427-440.

SERNANDER, R. 1889. "Om växtlemningar i Skandinaviens marina bildningar." *Bot. Notiser*.

SERNANDER, R. 1894. *Studier öfver den gotländska vegetationens utvecklingshistoria*. Upsala: Nya Tidnings Aktie-Bolags Tr.

SHORE, J. S., BARTLEY, D. D., et HARKNESS, D. D. 1995. "Problems encountered with the 14C dating of peat." *Quaternary Science Reviews* no. 14 (4):373-383.

SHOTTON, F. W. 1972. "An Example of Hard-Water Error in Radiocarbon Dating of Vegetable Matter." *Nature* no. 240 (5382):460-461.

SINCLAIR, W., MORMAN, J., et ENNOS, R. 1999. "The postglacial history of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in western Europe: evidence from mitochondrial DNA variation." *Molecular Ecology* no. 8 (1):83-88.

SMITH, A. G., et PILCHER, J. R. 1973. "Radiocarbon dates and vegetational history of the British Isles." *New Phytologist* no. 72 (4):903-914.

SOEPBOER, W., SUGITA, S., et LOTTER, A. F. 2010. "Regional vegetation-cover changes on the Swiss Plateau during the past two millennia: a pollen-based reconstruction using the REVEALS model." *Quaternary Science Reviews* no. 29 (3):472-483.

STOUT, J. D., GOH, K. M., et RAFTER, T. A. 1981. "Chemistry and turnover of naturally occurring resistant organic compounds in soil." *Soil biochemistry* no. 5.

STRAHM, C. 2004. "Le phénomène campaniforme et les composantes autochtones non campaniformes." *Bulletin de la Société préhistorique française* no. 101 (2):201-206.

STUIVER, M., GROOTES, P. M., et BRAZIUNAS, T. F. 1995. "The GISP2 δ18O climate record of the past 16,500 years and the role of the sun, ocean, and volcanoes." *Quaternary Research* no. 44 (3):341-354.

STUIVER, M., et POLACH, H. A. 1977. "Reporting of C-14 data–discussion." *Radiocarbon* no. 19 (3):355-363.

SUGITA, S. 1993. "A model of pollen source area for an entire lake surface." *Quaternary research* no. 39 (2):239-244.

SUGITA, S. 1994. "Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: theory and method in patchy vegetation." *Journal of Ecology* no. 82:881-897.

SUGITA, S. 2007a. "Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition." *The Holocene* no. 17 (2):229-241.

SUGITA, S. 2007b. "Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE." *The Holocene* no. 17 (2):243-257.

SUGITA, S., GAILLARD-LEMDAHL, M.-J., HELLMAN, S., et BROSTRÖM, A. 2008. Model-based reconstruction of vegetation and landscape using fossil pollen. Dans Proceedings of the 35th CAA Conference, Layers of Perception, Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, à Bonn, Germany.

SUGITA, S., GAILLARD, M.-J., et BROSTRÖM, A. 1999. "Landscape openness and pollen records: a simulation approach." *The Holocene* no. 9 (4):409-421.

SUGITA, S., PARSHALL, T., CALCOTE, R., et WALKER, K. 2010. "Testing the landscape reconstruction algorithm for spatially explicit reconstruction of vegetation in northern Michigan and Wisconsin." *Quaternary Research* no. 74 (2):289-300.

SUTTON, O. G. 1953. *Micrometeorology: A Study of Physical Process in the Lowest Layers of the Earth's Atmosphere*. New York: McGraw-Hill.

TAUBER, H. 1977. *Investigations of aerial pollen transport in a forested area [Gribskov, Sealand, Denmark]*. Vol. 32: Dansk botanisk Arkiv.

TELFORD, R. J., HEEGAARD, E., et BIRKS, H. J. B. 2004a. "All age–depth models are wrong: but how badly?" *Quaternary Science Reviews* no. 23 (1):1-5.

TELFORD, R. J., HEEGAARD, E., et BIRKS, H. J. B. 2004b. "The intercept is a poor estimate of a calibrated radiocarbon age." *The Holocene* no. 14 (2):296-298.

TERHÜRNE-BERSON, R., LITT, T., et CHEDDADI, R. 2004. "The spread of Abies throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data." *Vegetation history and Archaeobotany* no. 13 (4):257-268.

TESSIER, M. 1984. "Les industries préhistoriques à microlithes du Pays de Retz in Les sites à microlithes entre Vilaine et Marais Poitevin." Dans *Les sites à microlithes entre Vilaine et Marais Poitevin, Collectif*, 73-132. Nantes: Etudes Préhistoriques et Protohistoriques, Pays de Loire.

THEVENIN, A. 1995. "Mésolithique récent, Mésolithique final, Néolithique ancien dans le quart nord-est de la France : pour une réinterprétation des données." Dans *actes du 19e Colloque interrégional Néolithique, Amiens, 1992*, 3-15. Université de Picardie: Revue archéologique de Picardie, n° spécial 9.

THEVENOT, J.-P., et PETREQUIN, P. 1984. "Genèse et évolution des civilisations du Néolithique ancien et du Néolithique final. Rapport de synthèse." Dans *Influences méridionales dans l'Est et le Centre-Est de la France au Néolithique : le rôle du Massif central : actes du 8e colloque interrégional sur le Néolithique, Le Puy-en-Velay, 3-4 octobre 1981*, 241-242. Clermont-Ferrand: CREPA.

TINEVEZ, J.-Y., LORHO, T., et QUESNEL, L. 2006. Vestiges d'habitat du Néolithique moyen I à Quimper, Lieu-dit Kervouyec Nevez (Finistère). Internéo.

TINEVEZ, J.-Y., et NICOLAS, É. 2004. *Le site de La Hersonnais à Pléchâtel (Ille-et-Vilaine): un ensemble de bâtiments collectifs du Néolithique final*. Paris: Société préhistorique française.

TINNER, W., NIELSEN, E. H., et LOTTER, A. F. 2007. "Mesolithic agriculture in Switzerland? A critical review of the evidence." *Quaternary Science Reviews* no. 26 (9):1416-1431.

TINNER, W., NIELSEN, E. H., et LOTTER, A. F. 2008. "Evidence for late-Mesolithic agriculture? A reply to Karl-Ernst Behre." *Quaternary Science Reviews* no. 27 (13):1468-1470.

TONNEIJCK, F. H., VAN DER PLICHT, J., JANSEN, B., VERSTRATEN, J. M., et HOOGHIEMSTRA, H. 2006. "Radiocarbon dating of soil organic matter fractions in Andosols in northern Ecuador." *Radiocarbon* no. 48 (3):337.

TORNGVIST, T. E., DE JONG, A., OOSTERBAAN, W. A., et DER BORG, K. 1992. "Accurate dating of organic deposits by AMS 14C measurement of macrofossils." *Radiocarbon* no. 34 (3):566-577.

TRESSET, A. 1993. "Le rôle de la chasse dans la néolithisation de l'Europe tempérée : l'exemple de la vallée de la "Petite Seine"." Dans *Exploitation des animaux sauvages à travers le temps : XIIIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, IVe colloque international de l'Homme et l'Animal.*, 247-259. Juan-les-Pins: APDCA, Société de Recherche interdisciplinaire.

TRESSET, A. 1996. *Le rôle des relations homme / animal dans l'évolution économique et culturelle des sociétés des Ve-IVe millénaires en Bassin parisien. Approche ethno-zootechnique fondée sur les ossements animaux.*, Thèse de Préhistoire-Ethnologie-Anthropologie, Université Paris-Panthéon-Sorbonne.

TRIAT-LAVAL, H. 1978. *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardi et postglaciaire de la végétation de la basse vallée du Rhône*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille III.

TSOBGOU AHOUPE, R. 2007. *Matières et Techniques de la préhistoire récente du Massif armoricain : pétrographie, géochimie, mécanique, technologies*, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, Rennes.

TURETSKY, M. R., MANNING, S. W., et WIEDER, R. K. 2004. "Dating recent peat deposits." *Wetlands* no. 24 (2):324-356.

VALENTIN, B., SOUFFI, B., DUCROCQ, T., FAGNART, J.-P., SEARA, F., et VERJUX, C. 2013. *Palethnographie du Mésolithique. Recherches sur les habitats de plein air entre Loire et Neckar.* . Vol. 2-1: Actes de la table ronde internationale de Paris 26 et 27 novembre 2010. Séances de la Société préhistorique française.

VAN DER HAMMEN, T. H., WIJMSTRA, T. A., et ZAGWIJN, W. H. 1971. "The floral record of the late Cenozoic of Europe." *The late Cenozoic glacial ages*:391-424.

VAN ZEIST, W. 1963. "Recherches palynologiques en Bretagne occidentale." *Norois*:5-19.

VAN ZEIST, W., et VAN DER SPOEL-WALVIUS, M. 1980a. "A palynological study of the late-glacial and the postglacial in the Paris Basin." *Palaeohistoria* no. 22 (VII):68-109.

VAN ZEIST, W., et VAN DER SPOEL-WALVIUS, M. R. 1980b. "A palynological study of the late-glacial and the postglacial in the Paris Basin." *Palaeohistoria* no. 22:67-109.

VANNIÈRE, B., POWER, M. J., ROBERTS, N., TINNER, W., CARRIÓN, J., MAGNY, M., BARTLEIN, P., COLOMBAROLI, D., DANIAU, A. L., et FINSINGER, W. 2011. "Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP)." *The Holocene* no. 21 (1):53-73.

VAVRUS, S., RUDDIMAN, W. F., et KUTZBACH, J. E. 2008. "Climate model tests of the anthropogenic influence on greenhouse-induced climate change: the role of early human agriculture, industrialization, and vegetation feedbacks." *Quaternary Science Reviews* no. 27 (13–14):1410-1425. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.04.011.

VEBER, C., MILLE, B., et BOURGARIT, D. 2003. "Analyse elementaire des depots Lorrains: Essai de caracterisation d'une production metallique de la fin de l'Age du Bronze." Dans *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie, actes du XIVème colloque UISPP de Liège*, Edité par Giumlia-Mair A. et Lo Schiavo F., 67-76. BAR International Series.

VERA, F. W. M. 2000. *Grazing ecology and forest history*. Oxford: CAB International.

VIAU, A. E., GAJEWSKI, K., FINES, P., ATKINSON, D. E., et SAWADA, M. C. 2002. "Widespread evidence of 1500 yr climate variability in North America during the past 14 000 yr." *Geology* no. 30 (5):455-458.

VISSET, L. 1979. *Recherches palynologiques sur la végétation Pléistocène et Holocène de quelques sites du district phytogéographique de la Basse-Loire*, Bulletin de la Société des Sciences naturelles de l'Ouest de la France, Université de Nantes, Nantes.

VISSET, L. 1980. "Etude palynologique de l'abri-sous-roche de Roc-en-Pail en Chalonnes-sur-Loire (Maine et Loire)." *Soc. Et. Se. Anjou* no. 4:87-117.

VISSET, L. 1985. "Dernières données pollenanalytiques et radiométriques du golfe Brieron (Massif Armoricain-France)." *Ecologia mediterranea* no. 11 (1):107-116.

VISSET, L., BARBIER, D., et OUGUERRAM, A. 2005. "Le paysage végétal dans le Bas-Maine (Mayenne, France), le long de la vallée de l'Erve, de la fin du Mésolithique à l'époque récente." *Revue Archéologique de l'Ouest* no. 22 (1):85-92.

VISSET, L., et BERNARD, J. 2006. "Evolution du littoral et du paysage, de la presqu'île de Rhuys à la rivière d'Etel (Massif armoricain–France), du Néolithique au Moyen Âge." *ArchéoSciences. Revue d'archéométrie* no. 30:143-156.

VISSET, L., CYPRIEN, A.-L., CARCAUD, N., OUGUERRAM, A., BARBIER, D., et BERNARD, J. 2002. "Les prémices d'une agriculture diversifiée à la fin du Mésolithique dans le Val de Loire (Loire armoricaine, France)." *Comptes Rendus Palevol* no. 1 (1):51-58. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S1631-0683(02)00007-6.

VISSET, L., CYPRIEN, A.-L., OUGUERRAM, A., BARBIER, D., et BERNARD, J. 2004. "Les indices polliniques d'anthropisation précoce dans l'Ouest de la France. Le cas de Cerealia, Fagopyrum et Juglans." Dans *Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*, Edité par Hervé Richard, 69-79. Besançon: Presses Universitaires de Franche-Comté.

VISSET, L., et HAURAY, G. 1980. "Palynologie: une technique de sondage pour les sédiments meubles." *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France* no. 2:130-138.
VISSET, L., et HAURAY, G. 1988. "The mechanized 'Gik' corer: seven years of use and improvement." *Boreas* no. 17 (3):329-331. doi: 10.1111/j.1502-3885.1988.tb00964.x.
VISSET, L., HAURAY, G., CHARRIEAU, L., et ROUZEAU, N. 2001. Paléoenvironnement urbain: histoire du comblement des vallées de la métropole nantaise, du Tardiglaciaire à la fin de l'Holocène. Dans Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest.
VISSET, L., L'HELGOUACH, J., et BERNARD, J. 1996. "La tourbière submergée de la pointe de Kerpenhir à Locmariaquer (Morbihan). Etude environnementale et mise en évidence de déforestations et de pratiques agricoles néolithiques." *Revue archéologique de l'Ouest* no. 13 (1):79-87.
VOELTZEL, D. 1987. *Recherches pollenanalytiques sur la végétation holocène de la plaine alluviale de l'estuaire de la Loire et des coteaux environnants*. Thèse de Doctorat, Laboratoire d'Ecologie et de Phytogéographie, Université de Nantes, Nantes.
VON POST, L. 1916. "On forest tree pollen in south Swedish peat bog deposits (Translated from Swedish by K. Fagri, M.B. Davis, 1967)." *Pollen et Spores* no. 9:375- 402.
VON POST, L. 1925. "Geological Survey of Sweden." *Annual report* no. 19 (4).
VORUZ, J.-L. 1992. "La chronologie absolue de l'âge du Bronze ancien et moyen." Dans *117ème congr. nat. soc. hist. scient.*, 97-164. Clermont-Ferrand: Comité des travaux historiques et scientifiques-Section de pré-et protohistoire.
VUORELA, I. 1976. "An instance of slash and burn cultivation in southern Finland investigated by pollen analysis of a mineral soil." *Memory of Society Flora Fauna Fenniae* no. 52:29-45.
WANG, Y., AMUNDSON, R., et TRUMBORE, S. 1996. "Radiocarbon dating of soil organic matter." *Quaternary Research* no. 45 (3):282-288.
WARD, G. K., et WILSON, S. R. 1978. "Procedures for comparing and combining radiocarbon age determinations: a critique." *Archaeometry* no. 20 (1):19-31.
WARNER, B. G., et CHARMAN, D. J. 1994. "Holocene changes on a peatland in northwestern Ontario interpreted from testate amoebae (Protozoa) analysis." *Boreas* no. 23 (3):270-279.
WATTS, W. A. 1970. Criteria for identification of late-glacial climatic oscillations with special reference to the Bølling oscillation. Dans First Meeting of the American Quaternary Association (AMQUA), à Bozeman, Montana.
WHITLOCK, C., HIGUERA, P. E., MCWETHY, D. B., et BRILES, C. E. 2010. "Paleoecological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept." *Open Ecology Journal* no. 3:6-23.
WOHLFARTH, B. 1996. "The chronology of the last termination: a review of radiocarbon-dated, high-resolution terrestrial stratigraphies." *Quaternary Science Reviews* no. 15 (4):267-284.
WOHLFARTH, B., BLAAUW, M., DAVIES, S., ANDERSSON, M., WASTEGÅRD, S., HORMES, A., et POSSNERT, G. 2006. "Constraining the age of Lateglacial and early Holocene pollen zones and tephra horizons in southern Sweden with Bayesian probability methods." *Journal of Quaternary Science* no. 21 (4):321-334.
WOHLFARTH, B., SKOG, G., POSSNERT, G., et HOLMQUIST, B. 1998. "Pitfalls in the AMS radiocarbon-dating of terrestrial macrofossils." *Journal of Quaternary Science* no. 13 (2):137-145.

Sources

Bureau des Ressources Géologiques et Minières (BRGM), établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du Ministère du Redressement productif. URL : http://www.brgm.fr/.

Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) de Bretagne, Préfecture et service de l'Etat rattaché au Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. URL : http://draf.bretagne.agriculture.gouv.fr.

Inventaire Forestier National (IFN), service de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), établissement public à caractère administratif, placé sous la double tutelle du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie et du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. URL : http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/

Table des illustrations

Fig. 1 : Carte géologique du Nord-Ouest de la France (Modifiée d'après BRGM) 22
Fig. 2 : Relief, réseau hydrographique et régions naturelles du Massif Armoricain 23
Fig. 3 : Relief, réseau hydrographique et régions naturelles du Bassin parisien 24
Fig. 4 : Répartition de différentes variables climatiques et des principaux types de climats pour le nord-ouest de la France (Modifié d'après Joly et al. 2010) 27
Fig. 5 : Phytogéographie, végétation potentielle, et couvert forestier actuel dans le nord-ouest de la France 32
Fig. 6 : Distribution of sites from which the radiocarbon dates were obtained within the central-eastern Paris Basin. 62
Fig. 7 : Examples of prior and posterior PDFs for the different levels of the hierarchical model. A: posterior PDF of the Phase corresponding to the RPAZ IX with the 95% HPD illustrated by green rectangles. A1: posterior PDF of the lower boundary of the Phase corresponding to the transition between the RPAZs VIII and IX, with the 95% HPD illustrated by blue rectangle. A2: posterior PDF of the upper boundary of the Phase corresponding to the transition between the RPAZs IX and X with the 95% HPD illustrated by blue rectangle. B, C, D and E: posterior PDFs of some Facts related with the Phase IX. B1, C1, C2, D1, E1: prior (black line) and posterior (blue filling) PDFs of the individual dates related with the Facts B, C, D and E. Variances are associated with the posterior PDFs of each individual date. 68
Fig. 8 : Posterior PDFs for the transitions between successive RPAZs with the 95% HPDs illustrated by blue rectangles. The details of the extent of the 95% HPDs are mentioned on the left side. Scales are conserved between graphs. 72
Fig. 9 : Prior PDFs of the 193 calibrated radiocarbon dates included within the Bayesian model. Radiocarbon dates are chronologically ordered within each RPAZ, which are separated by grey dashed lines. Grey strips illustrate the estimated extents of the transitions between successive RPAZs. Bolded names correspond to the 20 ^{14}C dates considered as outliers by the model. 73
Fig. 10 : Exemples de modèles d'âges relatifs aux séquences polliniques du Bassin parisien. Les cases a, b, c, d, e et f représentent des modèles d'âge réalisés sous RenCurve v08/2011 (Lanos et al. 2004). Dans celles-ci, l'âge unique estimé pour chaque profondeur correspond à la courbe en bleu foncé et la bande en bleu clair illustre l'intervalle HDP à 95% associé avec chacun de ces âges. Les datations de limites de ZAPRs ayant servi à la réalisation des modèles d'âge sont représentées par des croix bleues. La barre horizontale correspond à l'étendue temporelle de la transition entre deux ZAPRs et la barre verticale à l'épaisseur de sédiments séparant les deux échantillons polliniques successifs relatifs à ces ZAPRs. Les croix rouges reliées par des lignes pointillées de la même couleur représentent les datations 14C disponibles pour chaque séquence. La barre horizontale correspond à l'incertitude temporelle de la date calibrée et la barre verticale à l'incertitude sur la profondeur datée. Les mesures radiocarbone jugées hors tendance au vu de la détermination statistique des périodes de transitions entre ZAPRs sont notées en noir. Les cases g et h représentent des modèles

d'âge réalisés sous CLAM v1.0.2 (Blaauw 2010). Dans celles-ci, les l'âge unique estimé pour chaque profondeur correspond à la courbe en noir et la bande en gris clair illustre l'intervalle HDP à 95% associé avec chacun de ces âges. Les datations 14C ayant servi à la réalisation des modèles d'âge sont chacune représentées par leur FDPs et HDP à 95% en bleu. 85
Fig. 11 : Distribution of datasets within the central-eastern Paris Basin from which the pollen counts were obtained. 92
Fig. 12 : Comparison of REVEALS-based estimates of the Holocene regional vegetation cover for 23 taxa of the central-eastern Paris Basin obtained using the "minimal size" hypothesis (orange bars) or the "maximal size" hypothesis (blue bars) for the deposition basins. 101
Fig. 13 : Comparison of REVEALS-based estimates, for 4 major taxa of the central-eastern Paris Basin vegetation cover over 3 time windows of the Holocene, obtained using the Prentice's model only (Bogs), the Sugita's model only (Lakes) or the mixed Prentice's and Sugita's models approach (Bogs & Lakes). 103
Fig. 14 : Comparison of REVEALS-based estimates of the Holocene vegetation cover for 23 taxa obtained using all the 21 sites from the whole central-eastern Paris Basin (blue bars) or only 11 sites from the smaller-scaled Marne valley area (orange bars). 105
Fig. 15 : Comparison of mean pollen percentages (faded bars) and REVEALS-based estimates of the Holocene regional vegetation cover (non-faded bars) for 23 taxa of the central-eastern Paris Basin. 107
Fig. 16 : Estimated Holocene regional vegetation cover for the central-eastern Paris Basin derived from the REVEALS model. 109
Fig. 17 : Carte de localisation des études palynologiques tardi-et-postglaciaires du Bassin parisien avec individualisation des séquences couvrant le Néolithique et des profils intégrés à la modélisation 117
Fig. 18 : Tableau récapitulatif des séquences polliniques couvrant le Néolithique renseignant l'enregistrement des marqueurs d'anthropisation et la présence de découvertes archéologiques 119
Fig. 19 : Evolution des principaux taxons selon les deux bases de données 122
Fig. 20 : Hiérarchie des principaux taxons selon les comptages polliniques utilisés pour la modélisation 123
Fig. 21 : Évolution des principaux taxons selon les comptages polliniques et leur modélisation par REVEALS 124
Fig. 22 : Hiérarchie des principaux taxons dans la végétation modélisée par REVEALS 125
Fig. 23 : Carte de localisation des études palynologiques tardi-et-postglaciaires du Bassin parisien avec individualisation des séquences couvrant l'âge du Bronze et des profils intégrés à la modélisation. 139
Fig. 24 : Diagramme de synthèse résumant l'histoire de la végétation holocène du Bassin parisien. 141
Fig. 25 : diagrammes polliniques simplifiés de Rueil-Malmaison, Châtenay-sur-Seine, Annet-sur-Marne et Sacy pour la période de l'âge du Bronze (Alnus, Cypéracées, aquatiques et fougères exclus des sommes de base). 143
Fig. 26 : tableau récapitulatif des séquences polliniques couvrant l'âge du Bronze renseignant l'enregistrement des marqueurs d'anthropisation et la présence de découvertes archéologiques. 145
Fig. 27 : Impact des dimensions des bassins de dépôt simulés sur les proportions moyennes de différents taxons dans la végétation estimée par REVEALS et sur leurs écarts-types (modifié d'après Sugita, 2007). 150
Fig. 28 : Évolution de la végétation holocène du Bassin parisien modélisée par REVEALS. 152

Fig. 29 : Exemples de modèles d'âges relatifs aux séquences polliniques du Massif armoricain. Les cases a, b, c, d, e, f, g et h représentent des modèles d'âge réalisés sous RenCurve v03/2013 (Lanos et al. 2004, Lanos et Philippe in prep..). Dans celles-ci, l'âge unique estimé pour chaque profondeur correspond à la courbe en pointillés noire et la gamme des densités de probabilité l'entourant est illustrée par un dégradé arc-en-ciel s'interrompant au-delà de l'intervalle HDP à 95% associé avec chacun de ces âges. Les datations 14C ayant servi à la réalisation des modèles d'âge sont représentées par des croix noires. La barre horizontale correspond à l'incertitude temporelle de la date calibrée et la barre verticale à l'incertitude sur la profondeur datée. 160
Fig. 30: Distribution of datasets within the Armorican Massif from which the pollen counts were obtained. 168
Fig. 31: Comparison of mean pollen percentages (faded bars) and REVEALS-based estimates of the Holocene regional vegetation cover (non-faded bars) for 23 taxa of the Armorican Massif. 173
Fig. 32: Estimated Holocene sub-regional vegetation cover for the Mayenne-Vilaine area derived from the REVEALS model. 176
Fig. 33: Estimated Holocene sub-regional vegetation cover for the Basse-Loire area derived from the REVEALS model. 177
Fig. 34 : Transposition des Zones de Végétation Estimée Régionales du Massif armoricain à la végétation estimée de la sous-région de Mayenne-Vilaine 188
Fig. 35: Transposition des Zones de Végétation Estimée Régionales du Massif armoricain à la végétation estimée de la sous-région de Basse-Loire 189
Fig. 36: Zones de Végétation Estimée Régionales du Bassin parisien 191
Fig. 37 : Zones de Végétation Estimée Régionales du Massif armoricain 194
Fig. 38: Bornes chronologiques des ZVERs holocènes du Bassin parisien et du Massif armoricain, et rappel des limites de ZAPRs du Bassin parisien obtenues par la modélisation bayésienne (cf. II.1.1.1) 200
Fig. 39: Confrontation des couvertures de végétation estimées du Bassin parisien et du Massif armoricain 206

Liste des tables

Tab. 1 : Estimated extents and durations of transitions between the successive Late Glacial and Holocene RPAZs of the central-eastern Paris Basin. 71
Tab. 2 : Liste des profils polliniques du Bassin parisien ayant suscité la réalisation d'un modèle d'âge et métadonnées relatives au nombre et au type de datations disponibles, au modèle utilisé et à l'âge unique estimé. 81
Tab. 3 : Pollen Productivity Estimates (PPEs) and Fall Speed of Pollen (FSPs) for pollen taxa used within the REVEALS analysis (Mazier et al. 2012). 89
Tab. 4 : Metadata informations for sites included within REVEALS analysis. Site numbers refers to numbers of Fig. 11. 91
Tab. 5 : Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des PPE européens et des vitesses de chute dans l'air des grains de pollen des taxons étudiés. 149
Tab. 6 : Liste des profils polliniques du Massif armoricain ayant suscité la réalisation d'un modèle d'âge et métadonnées relatives au nombre et au type de datations disponibles, au modèle utilisé et à l'âge unique estimé. 159
Tab. 7: Pollen Productivity Estimates (PPEs) and Fall Speed of Pollen (FSPs) for pollen taxa used within the REVEALS analysis (Mazier et al. 2012). 167
Tab. 8: Metadata informations for sites included within REVEALS analysis. Site numbers refers to numbers of Fig. 30. 170

Annexes

Annexe 1 : Radiocarbon dataset and metadata informations collected within the central-eastern Paris Basin.

Sample ID	RPAZ	Site	Core name	^{14}C yr BP	± 1 σ	δ13C (‰)	± 1 σ	Laboratory code
1	Tgl 1	Rochy-Condé "Merlemont"	–	13250	84	29.1	–	Erl 5087
2	Tgl 3	Houdancourt "Les Epinières"	–	12540	110	–	–	GifA 99516
3	Tgl 3	Houdancourt "Les Epinières"	–	12060	110	–	–	GifA 99515
4	Tgl 3	Migennes "Les grosses terres"	St. 5	12310	110	25	–	Beta 141704
5	Tgl 3	Sacy "Le Marais"	C2	14510	260	17.7	–	Gif 11106
6	Tgl 4	Bazoches-les-Bray "Le Tureau à l'Oseille"	Coupe est	12400	130	28.03	–	Gif 11097
7	Tgl 4	Bazoches-les-Bray "Le Tureau à l'Oseille"	Coupe est	12448	64	27.9	–	Erl 11378
8	Tgl 5	Bazoches-les-Bray "Le Tureau à l'Oseille"	Coupe est	11290	145	–	–	Gif 11099
9	Tgl 5	Houdancourt "Les Epinières"	–	11620	110	–	–	Gif 99514
10	Tgl 5	Saint-Léger "La Coloterie"	–	11780	150	–	–	Gif 10465
11	Tgl 5	Saint-Léger "La Coloterie"	–	11840	190	–	–	Gif 10466
12	Tgl 6	Bazoches-les-Bray "Le Canton"	Log 1	11063	89	–	–	Erl 5078
13	Tgl 6	Bazoches-les-Bray "Le Canton"	Log 1	10850	50	–	–	Grn 25770
14	Tgl 6	Bazoches-les-Bray "Le Tureau à l'Oseille"	Coupe est	11661	59	30.5	–	Erl 11677
15	Tgl 6	Beaurains-lès-Noyon "Le Grand Marais"	C1	8505	130	–	–	Gif 10954
16	Tgl 6	Beaurains-lès-Noyon "Le Grand Marais"	C1	9280	100	–	–	GifA 99151
17	Tgl 6	Etigny "le Brassot"	Coupe nord S1	12955	230	27.57	–	Gif 11335
18	Tgl 6	Etigny "le Brassot"	Paléosol	11330	90	–	–	GifA 99666
19	Tgl 6	Etigny "le Brassot"	Paléosol	11270	90	–	–	GifA 99667
20	Tgl 6	Houdancourt "Les Epinières"	–	11260	90	–	–	GifA 99690
21	Tgl 6	Pont-sur-Yonne "les basses veuves"	–	9870	110	28.26	–	Gif 11334
22	Tgl 6	Rueil "Les Closeaux"	S11 (St. 3)	10375	100	–	–	Ly 792 (OxA)
23	Tgl 6	Rueil "Les Closeaux"	S7	11275	85	–	–	Ly 570 (OxA)
24	Tgl 6	Rueil "Les Closeaux"	S17	11165	90	–	–	Ly 561 (OxA)
25	Tgl 6	Sacy "Le Marais"	C2	11450	260	22.96	–	Gif 11108
26	Tgl 6	Saint-Pouange "Les Maraux"	S2	11340	110	29.65	–	Gif 9252
27	Tgl 7	Houdancourt "Les Epinières"	–	10710	90	28	–	Gif 10969
28	Tgl 7	Rueil "Les Closeaux"	S17	11750	90	–	–	Ly 793 (OxA)
29	Tgl 7	Rueil "Les Closeaux"	S17	12575	125	–	–	Ly 970(OxA)
30	Tgl 7	Rueil "Les Closeaux"	S17	10840	110	–	–	OxA 6337
31	Tgl 7	Rueil "Les Closeaux"	S17	10650	75	–	–	Ly 206 (OxA)
32	Tgl 7	Rueil "Les Closeaux"	S17	10470	110	–	–	Ly 7190
33	Tgl 7	Saint-Léger "La Coloterie"	–	10400	85	28.39	–	Gif 10464
34	IV	Annet-sur-Marne "La Boucle de Jablines"	–	9270	150	29.59	–	Gif 10023
35	IV	Beaurains-lès-Noyon "Le Grand Marais"	Ech. 15	9740	125	28.03	–	Gif 10953
36	IV	Fontainebleau "Belle-Croix"	–	9505	25	–	–	Ula 1411 Uciams 70732
37	IV	Fresnes-sur-Marne "L'Ile de Gord"	Marne C2	9640	110	–	–	Gif 9316
38	IV	Fresnes-sur-Marne "L'Ile de Gord"	Marne C3	9850	130	–	–	Gif 10018
39	IV	Fresnes-sur-Marne "L'Ile de Gord"	Marne C4	9690	90	–	–	Gif 9317
40	IV	Annet-sur-Marne "Beuvronne / Passage TGV"	–	9300	100	–	–	Gif 9320
41	IV	Neuilly sur Marne "La haute ile"	Tr.1 C4	9295	45	–	–	Ly 3055
42	IV	Noyen "Le Haut des Nachères"	MN 46-47 C23	9130	100	–	–	Gif 7286

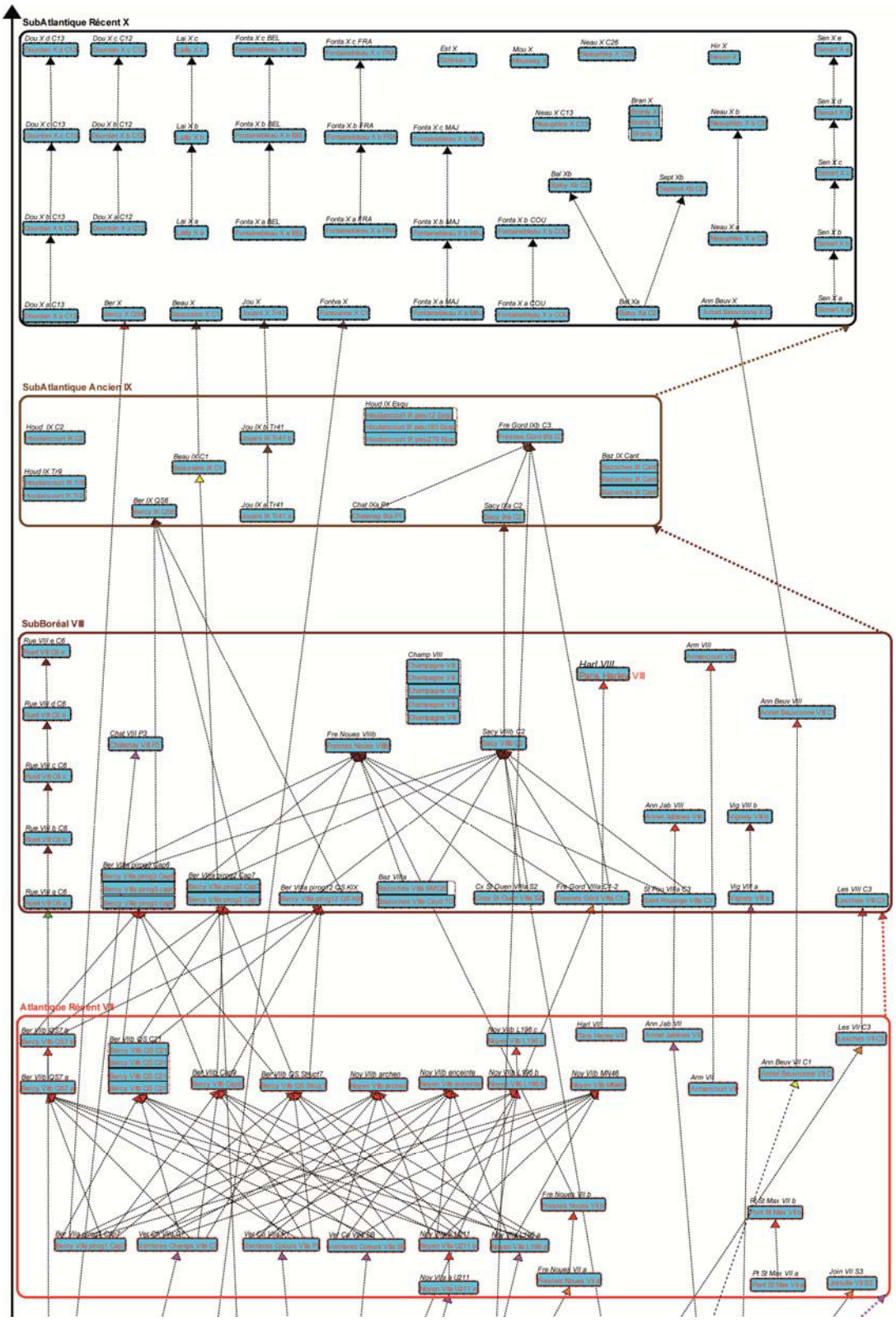
			base					
43	IV	Sacy-le-Grand "Le Marais"	C2	9110	70	–	–	–
44	IV	Sèvre-Marivel	Sond. 3	9770	100	30.6	–	Gif 11462
45	IV	Warluis "le marais de Merlemont"	Chenal 3	9150	50	–	–	Grn 27843
46	V	Joinville le pont	Sond. 3	8910	90	28.99	–	Gif 11464
47	V	Fresnes-sur-Marne "L'Ile du Gord"	Marne C2	8880	120	–	–	Gif 10015
48	V	Fresnes-sur-Marne "Le Chemin des Noues"	–	8980	75	–	–	Gif 10021
49	V	Lesches "Les Prés du Refuge"	C2	8530	20	29.11	–	Gif LSM 10025
50	V	Lesches "Les Prés du Refuge"	C3	7890	70	–	–	Grn 29240
51	V	Neuilly sur Marne "La haute ile"	C2 Ech. 73	8560	120	–	–	Gif 11361
52	V	Vignely "La Corvée"	Palier méd.	8570	80	–	–	Beta 145195
53	V	Vignely "La Corvée"	Palier méd.	8170	80	–	–	Beta 145199
54	V	Warluis "le marais de Merlemont"	Chenal 3	8810	30	–	–	Grn 27844
55	V	Warluis "le marais de Merlemont"	Chenal 3	8780	30	–	–	Grn 27845
56	VI	Annet-sur-Marne "La Boucle de Jablines"	Ech. 33	7051	41	30	–	UtC 7506
57	VI	Chatenay-sur-Seine "La Bachère Nord"	S2 Ech. 26	7790	45	31.8	–	UtC 7505
58	VI	Fontvanne "La Grille"	C3	7460	70	28.25	–	Gif 9254
59	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	GC98	8020	100	–	–	Gif 6632
60	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	CXV	7990	100	–	–	Gif 6631
61	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	CXV	7960	100	–	–	Gif 6559
62	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	L196	8000	100	–	–	Gif 6633
63	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	L196	7400	80	–	–	Gif 6984
64	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	L196	7300	80	–	–	Gif 7126
65	VI	Noyen "Le Haut des Nachères"	U211	7040	80	–	–	Gif 7125
66	VI	Sacy-le-Grand "Le Marais"	C2 Ech. 94	7220	170	25	–	Beta 143988
67	VI	Sacy-le-Grand "Le Marais"	C2 Ech. 108	6730	180	25	–	Beta 143987
68	VI	Verrières "Grand-Champs"	Coupe 007	6620	60	–	–	Gif 9222
69	VI	Verrières "Les Coeurs"	Coupe 001	7320	90	–	–	Gif 9221
70	VI	Verrières "Les Coeurs"	Sond. B	6730	80	–	–	Gif 8726
71	VI	Verrières "Les Coeurs"	Sond. B	7110	60	–	–	Gif 8727
72	VI	Vignely "La Corvée"	Palier méd.	7780	80	–	–	Beta 145198
73	VII	Annet-sur-Marne "Beuvronne / Passage TGV"	–	8550	100	28.17	–	Gif 11525
74	VII	Annet-sur-Marne "La Boucle de Jablines"	–	6150	115	29.44	–	Gif 10022
75	VII	Armancourt	C1	5565	90	28.76	–	Gif 11055
76	VII	Fresnes "Le Chemin des Noues"	–	5720	75	–	–	Gif 8456
77	VII	Fresnes "Le Chemin des Noues"	–	5490	60	–	–	Gif 10020
78	VII	Joinville-le-Pont "Quai de la Marne"	S3	6210	75	–	–	Gif 10813
79	VII	Lesches "Les Prés du Refuge"	C3	6020	60	–	–	Grn 29241
80	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	U211	6240	70	–	–	Gif 6991
81	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	U211	5400	70	–	–	Gif 6990
82	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	L196	5800	80	–	–	Gif 6043
83	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	MN 46-47 c23	4960	70	–	–	Gif 7285
84	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	L196	5060	170	–	–	Ly 2462
85	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	L196	4870	160	–	–	Ly 2457
86	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	Enceinte Néo.	4890	140	–	–	Ly 2461
87	VII	Noyen "Le Haut des Nachères"	Niv. occ. Néo.	5260	200	–	–	Ly 2458

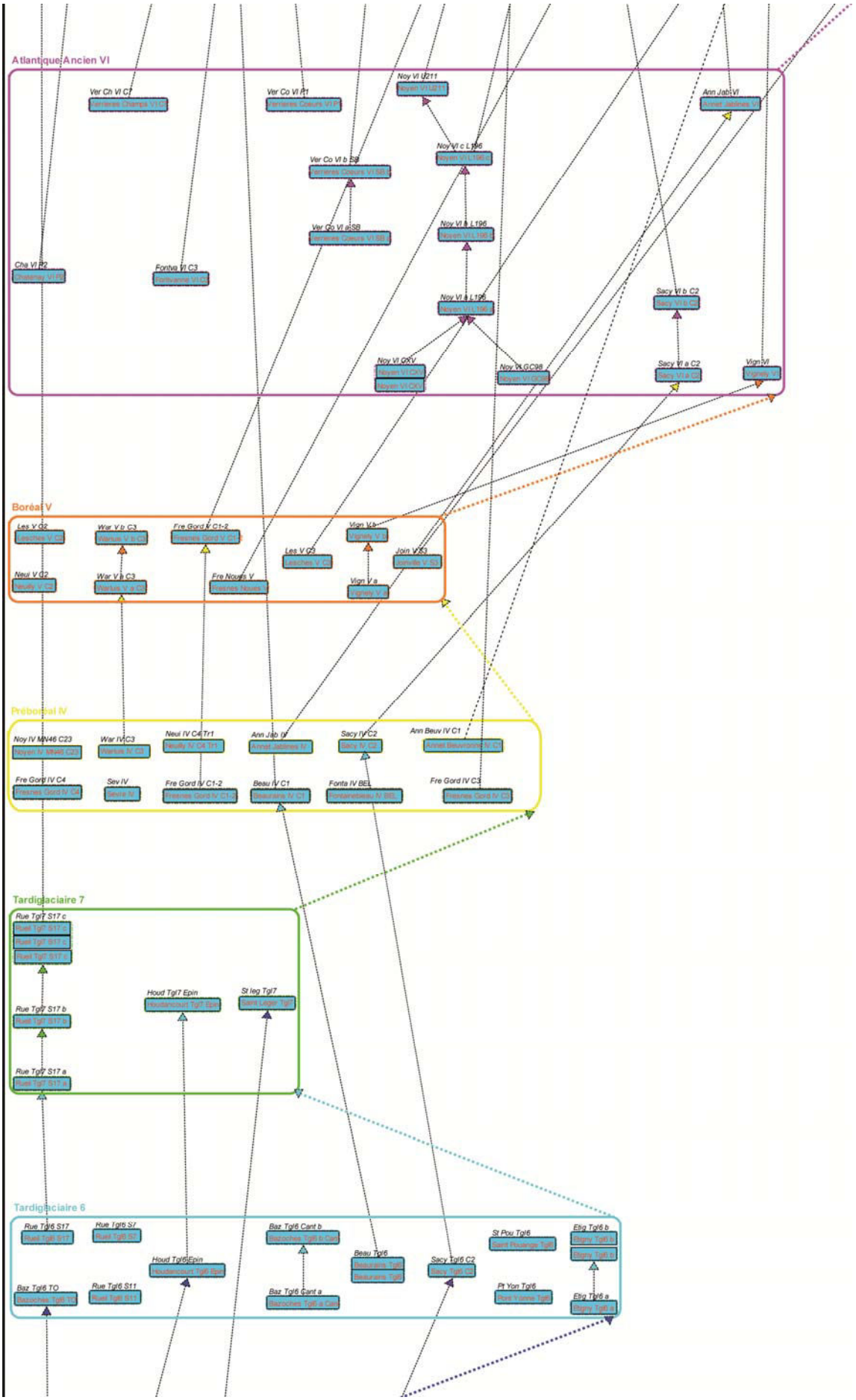
88	VII	Paris "Bercy"	C21 Qu. sud	5300	60	–	–	Gd 7361
89	VII	Paris "Bercy"	C21 Qu. sud	5200	70	–	–	Gif 9811
90	VII	Paris "Bercy"	C21 Qu. sud	5000	100	–	–	Gd 6946
91	VII	Paris "Bercy"	Str. 7 Qu. sud	4960	60	–	–	Gd 7356
92	VII	Paris "Bercy"	C21 Qu. sud	4890	50	–	–	Gd 7359
93	VII	Paris "Bercy"	Capval 9	4860	100	–	–	Gd 6950
94	VII	Paris "Bercy"	Capval 7	5510	20	–	–	Gif LSM 9224
95	VII	Paris "Bercy"	C7 Qu. sud	5310	50	–	–	Gd 7322
96	VII	Paris "Bercy"	C7 Qu. sud	4800	60	–	–	Gd 8045
97	VII	Paris "Parking Harley"	–	5060	60	–	–	Beta 102624
98	VII	Pont Saint Maxence "le poirier"	Ech. 88	5450	70	25	–	Beta 143982
99	VII	Pont Saint Maxence "le poirier"	Ech. 14	4390	60	25	–	Beta 143981
100	VII	Verrières "Grand-Champs"	C7	4180	70	–	–	Gif 9223
101	VII	Verrières "Les Coeurs"	Coupe 001	5570	80	–	–	Gif 9220
102	VII	Verrières "Les Coeurs"	Sond. B	5700	50	–	–	Gif 8728
103	VIII	Annet-sur-Marne "Beuvronne / Passage TGV"	–	4550	120	28.09	–	Gif 10012
104	VIII	Annet-sur-Marne "La Boucle de Jablines"	–	4740	70	29.06	–	Gif 8457
105	VIII	Armancourt	C1	4740	120	29.81	–	Gif 11056
106	VIII	Bazoches-les-Bray "Le Tureau à l'Oseille"	BM 126	4100	70	–	–	–
107	VIII	Bazoches-les-Bray "Le Tureau à l'Oseille"	Coupe sud	3880	50	–	–	–
108	VIII	Champagne-sur-Oise "Le Grand Marais"	C3	3270	85	–	–	Ly 6891
109	VIII	Champagne-sur-Oise "Le Grand Marais"	C14	3620	45	–	–	Ly 6893
110	VIII	Champagne-sur-Oise "Le Grand Marais"	C3	4065	40	–	–	Ly 6895
111	VIII	Champagne-sur-Oise "Le Grand Marais"	C3	4330	45	–	–	Ly 6892
112	VIII	Champagne-sur-Oise "Le Grand Marais"	C3	4340	40	–	–	Ly 6894
113	VIII	Chatenay "La bachère"	Profil 3 Ech. 156	4830	40	29.8	–	Ly 9959
114	VIII	Fresnes-sur-Marne "Le Chemin des Noues"	Marne C3	3740	90	–	–	Gif 8808
115	VIII	Fresnes-sur-Marne "L'Ile du Gord"	Marne C2	4580	100	–	–	Gif 10014
116	VIII	La Croix Saint Ouen "La station d'épuration"	–	4620	60	–	–	Gif 10159
117	VIII	Lesches "Les Prés du Refuge"	C 3	5090	40	–	–	GrN29242
118	VIII	Paris "Bercy"	Capval 6	4125	55	–	–	Ly 6023
119	VIII	Paris "Bercy"	Capval 6	4180	50	–	–	Gif 9226
120	VIII	Paris "Bercy"	Capval 6	4140	20	–	–	Gif LSM 9226
121	VIII	Paris "Bercy"	K IX Qu. sud	4100	40	–	–	Gd 7318
122	VIII	Paris "Bercy"	Capval 7	3810	50	–	–	Gif 9225
123	VIII	Paris "Bercy"	Capval 7	3800	25	–	–	Gif LSM 9225
124	VIII	Paris "Parking Harley"	–	4790	70	–	–	Beta 102625
125	VIII	Rueil Malmaison "Les Closeaux"	Coupe 6 (St. 5)	4030	60	–	–	Ly 8335
126	VIII	Rueil Malmaison "Les Closeaux"	Coupe 6 (St. 5)	3440	50	–	–	Ly 7366
127	VIII	Rueil Malmaison "Les Closeaux"	Coupe 6 (St. 5)	3155	50	–	–	Ly 7355
128	VIII	Rueil Malmaison "Les Closeaux"	Coupe 6 (St. 5)	3055	45	–	–	Ly 7673
129	VIII	Rueil Malmaison "Les Closeaux"	Coupe 6 (St. 5)	3060	45	–	–	Ly 7755
130	VIII	Sacy-le-Grand "Le Marais"	C2 Ech. 132	4030	110	25	–	Beta 143986
131	VIII	Saint Pouange "L'étang"	C3	4290	50	27.6	–	Gif 9251
132	VIII	Vignely "La Corvée"	Palier sup.	3800	70	–	–	Beta 145196
133	VIII	Vignely "La Corvée"	Palier sup.	3020	60	–	–	Beta 145197

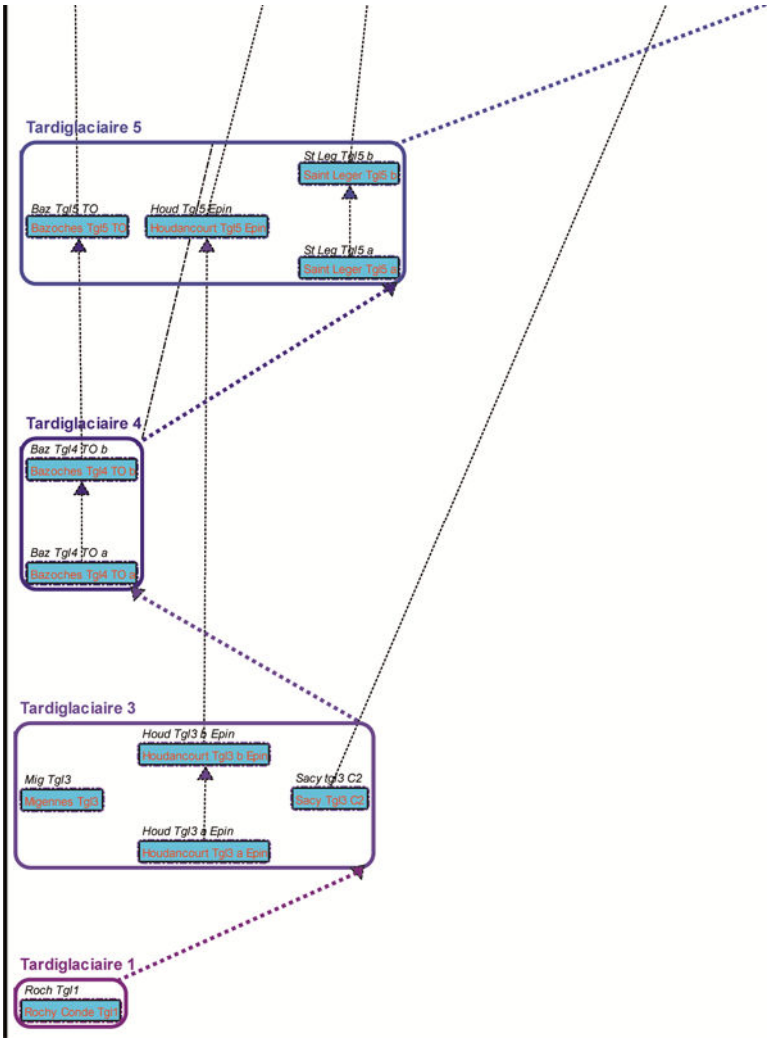
134	IX	Bazoches-les-Bray "Le Canton"	–	2391	33	–	–	Ly 9489
135	IX	Bazoches-les-Bray "Le Canton"	–	2375	30	–	–	Ly 9567
136	IX	Bazoches-les-Bray "Le Canton"	–	2290	25	–	–	Ly 9568
137	IX	Beaurains-les-Noyon "Le Grand Marais"	Ech. 67	1040	80	28.7	–	Gif 10952
138	IX	Chatenay "La bachère"	Profil 1 Ech. 123	3630	35	29.19	–	Ly 9958
139	IX	Fresnes-sur-Marne "L'Ile du Gord"	Marne C3	2350	110	–	–	Gif 10017
140	IX	Houdancourt "Esquillons"	Coupe 2 Ech. 47	2970	70	25	–	Beta 143983
141	IX	Houdancourt "Esquillons"	Coupe II	3090	60	–	–	Gif 8459
142	IX	Houdancourt "Esquillons"	Coupe II	3430	50	–	–	Gif 8460
143	IX	Houdancourt "Esquillons"	Pieu 12	2450	50	–	–	Ly-5757
144	IX	Houdancourt "Esquillons"	Pieu 183	2345	45	–	–	Ly-5755
145	IX	Houdancourt "Esquillons"	Pieu 279	2635	55	–	–	Ly-5756
146	IX	Jouars-Ponchartrain "La Ferme d'Ithe"	Tr. 41	1145	80	–	–	Gif 10955
147	IX	Jouars-Ponchartrain "La Ferme d'Ithe"	Tr. 41	1355	90	–	–	Gif 10956
148	IX	Paris "Bercy"	QS 6	2550	60	–	–	Gd 6856
149	IX	Sacy-le-Grand "Le Marais"	C2 Ech. 136	2860	70	25	–	Beta 143985
150	X	Annet-sur-Marne "Beuvronne / Passage TGV"	–	2370	70	28.78	–	Gif 10011
151	X	Baloy "Les défriches"	Ech. 30	3735	35	28.19	–	Ly 9956
152	X	Baloy "Les défriches"	Ech. 2	10705	50	28.47	–	Ly 9957
153	X	Beaurains-lès-Noyon "Le Grand Marais"	Ech. 74	1830	65	27.03	–	Gif 10951
154	X	Dourdan	C1-1 (12a)	555	35	22.8	1.1	Eth 36869
155	X	Dourdan	C1-1 (12a)	1125	35	28.8	1.1	Eth 36870
156	X	Dourdan	C1-2 (12a)	1820	35	30 ,9	1.1	Eth 36871
157	X	Dourdan	C2-1 (13b)	1235	35	28.7	1.1	Eth 36872
158	X	Dourdan	C2-2 (13b)	1525	35	33.5	1.1	Eth 36873
159	X	Dourdan	C2-2 (13b)	1945	40	31	1.1	Eth 36874
160	X	Dourdan	C2-1 (13b)	1680	35	35.7	1.1	Eth 36875
161	X	Estissac "Le nord des abimes d'enfer"	S3	9370	80	27.77	–	Gif 9130
162	X	Fontainebleau "Belle-Croix"	–	190	20	–	–	Ula 1401 Uciams 70728
163	X	Fontainebleau "Belle-Croix"	–	745	20	–	–	Ula 1403 Uciams 70729
164	X	Fontainebleau "Belle-Croix"	–	2130	20	–	–	Ula 1408 Uciams 70730
165	X	Fontainebleau "Franchard"	–	230	20	–	–	Ula 1396 Uciams 70723
166	X	Fontainebleau "Franchard"	–	655	20	–	–	Ula 1397 Uciams 70724
167	X	Fontainebleau "Franchard"	–	955	20	–	–	Ula 1398 Uciams 70725
168	X	Fontainebleau "Couleuvreux"	–	125	20	–	–	Ula 1400 Uciams 70727
169	X	Fontainebleau "Couleuvreux"	–	2065	20	–	–	Ula 1453 Uciams 71006
170	X	Fontainebleau "Mare aux Joncs"	–	110	20	–	–	Ula 1395 Uciams 70722
171	X	Fontainebleau "Mare aux Joncs"	–	835	15	–	–	Ula 1467 Uciams 72075
172	X	Fontainebleau "Mare aux Joncs"	–	1810	15	–	–	Ula 1466 Uciams 72064
173	X	Fontvanne "Les Tomelles"	C1	5740	70	27.13	–	Gif 9253
174	X	Hirson "La Grande Prairie"	–	985	115	–	–	–
175	X	Jouars-Ponchartrain "La Ferme d'Ithe "	Tr. 41 C7	1805	40	26.44	–	Gif 10957

176	X	Lailly "Le Gros Pré"	S1	590	50	28.06	–	Gif 9128
177	X	Lailly "Le Gros Pré"	S1	620	50	27.71	–	Gif 9127
178	X	Lailly "Le Gros Pré"	S1	1130	50	28.06	–	Gif 9126
179	X	Moussey "La Ferme de la Creuse"	–	1240	40	30.02	–	Gif 9129
180	X	Musée Quai Branly	–	1480	40	–	–	Ly 12375
181	X	Musée Quai Branly	–	1475	35	–	–	Ly 12374
182	X	Musée Quai Branly	–	1570	40	–	–	Ly 12376
183	X	Neauphles-le-Vieux "Le Moulin de Lettrée"	C26 Ech. 29	1070	170	–	–	Gd 9794
184	X	Neauphles-le-Vieux "Le Moulin de Lettrée"	C3 Ech. 31	1330	180	–	–	Gd 9800
185	X	Neauphles-le-Vieux "Le Moulin de Lettrée"	C3 Ech. 14	1640	170	–	–	Gd 9803
186	X	Neauphles-le-Vieux "Le Moulin de Lettrée"	C13 Ech. 15	1600	180	–	–	Gd 9796
187	X	Paris "Bercy"	QS 4	710	60	–	–	Gd 6857
188	X	Sénart "Tourbière du Cormier"	TS-C1-14C-2	1160	45	–	–	Eth 29746
189	X	Sénart "Tourbière du Cormier"	TS-C1-14C-1	2000	45	–	–	Eth 29747
190	X	Sénart "Tourbière du Cormier"	TS2-C1-14C-1	95	45	–	–	Eth 29748
191	X	Sénart "Tourbière du Cormier"	TS2-C1-14C-2	500	45	–	–	Eth 29749
192	X	Sénart "Tourbière du Cormier"	TS2-C1-14C-3	1810	50	–	–	Eth 29750
193	X	Septeuil "La féerie"	Coupe 2 Ech. 11	1010	40	28.26	–	Gif 11336

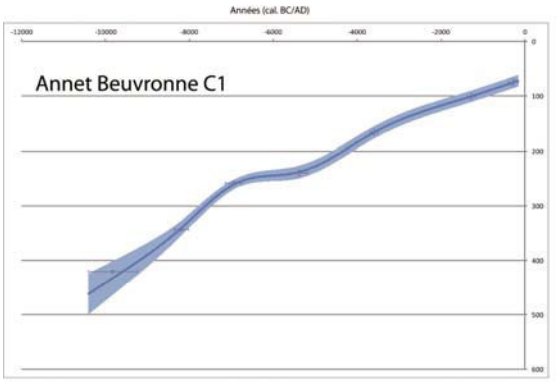
Annexe 2: Schematic representation of the Bayesian hierarchical model based on the central-eastern Paris Basin radiocarbon dataset. Bold rectangles illustrate the Phases which contain the Facts illustrated by dashed lines rectangles, itself containing one or more blue filled rectangles each describing an individual date. Bold coloured arrows refer to the pollen-based chronological constraints applied between Phases, while thin black dashed arrows refer to the stratigraphical constraints applied between Facts.

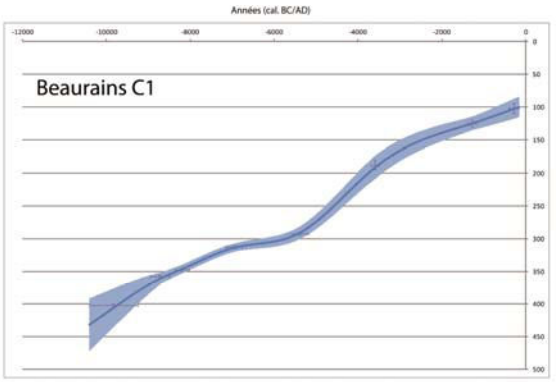


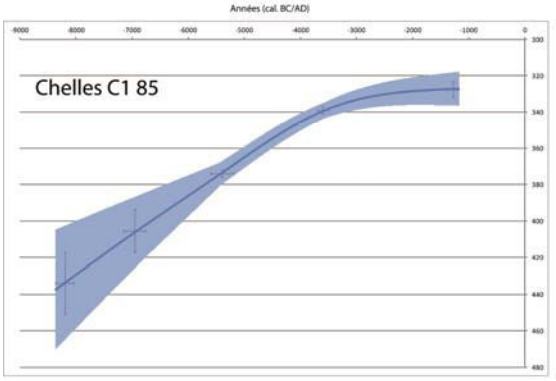

Atlantique Ancien VI
Ver Ch VI C7
Ver Co VI P1
Noy VI U211
Ann Jab VI
Noy VI c L196
Ver Co VI b SB
Ver Co VI a SB
Noy VI b L196
Cha VI P2
Fontva VI C3
Noy VI a L196
Sacy VI b C2
Noy VI CXV
Noy VI GC98
Sacy VI a C2
Vign VI
Boréal V
Les V C2
War V b C3
Fre Gord V C1-2
Vign V b
Les V C3
Join V C3
Neui V C2
War V a C3
Fre Nouds V
Vign V a
Préboréal IV
Noy IV MV46 C23
War IV C3
Neui IV C4 Tr1
Ann Jab IV
Sacy IV C2
Ann Beuv IV C1
Fre Gord IV C4
Sev IV
Fre Gord IV C1-2
Beau IV C1
Fonta IV BEL
Fre Gord IV C3
Tardiglaciaire 7
Rue Tgl7 S17 c
Houd Tgl7 Epin
St leg Tgl7
Rue Tgl7 S17 b
Rue Tgl7 S17 a
Tardiglaciaire 6
Rue Tgl6 S17
Rue Tgl6 S7
Baz Tgl6 Cant b
St Pou Tgl6
Etig Tgl6 b
Houd Tgl6 Epin
Beau Tgl6
Sacy Tgl6 C2
Baz Tgl6 TO
Rue Tgl6 S11
Baz Tgl6 Cant a
Pt Yon Tgl6
Etig Tgl6 a

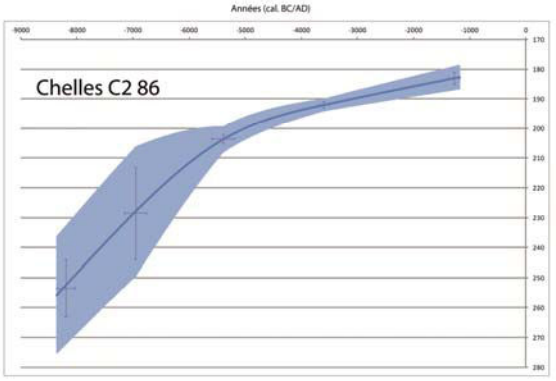

Tardiglaciaire 5
St Leg Tgl5 b
Saint Leger Tgl5 b
Baz Tgl5 TO
Bazoches Tgl5 TO
Houd Tgl5 Epin
Houdancourt Tgl5 Epin
St Leg Tgl5 a
Saint Leger Tgl5 a
Tardiglaciaire 4
Baz Tgl4 TO b
Bazoches Tgl4 TO b
Baz Tgl4 TO a
Bazoches Tgl4 TO a
Tardiglaciaire 3
Houd Tgl3 b Epin
Houdancourt Tgl3 b Epin
Mig Tgl3
Migennes Tgl3
Sacy tgl3 C2
Sacy Tgl3 C2
Houd Tgl3 a Epin
Houdancourt Tgl3 a Epin
Tardiglaciaire 1
Roch Tgl1
Rochy Conde Tgl1

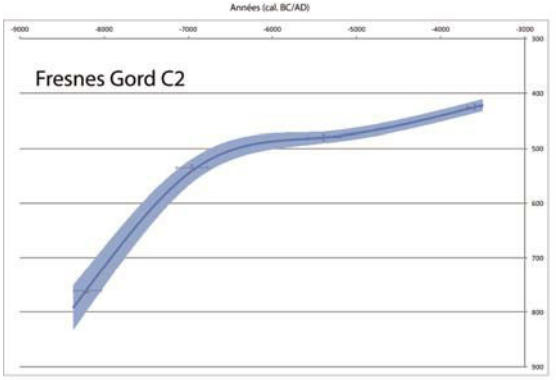
Annexe 3 : Modèles d'âge des 21 séquences polliniques sélectionnées pour le Bassin parisien

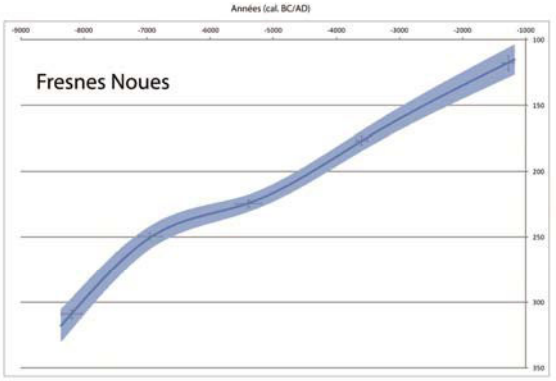


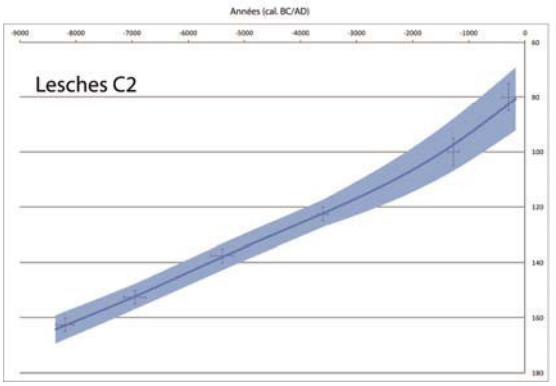


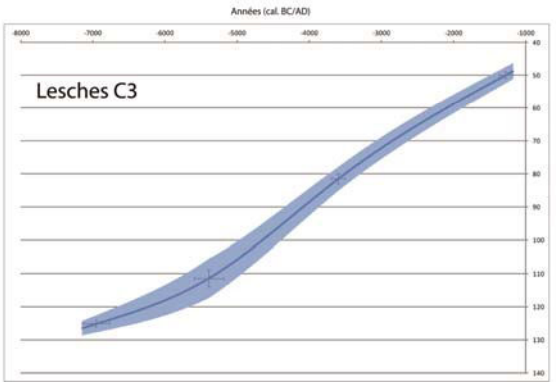


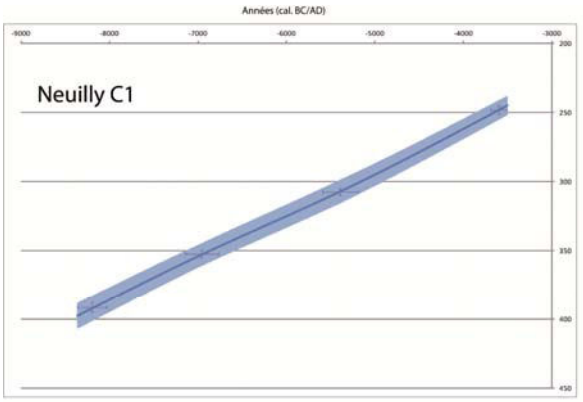


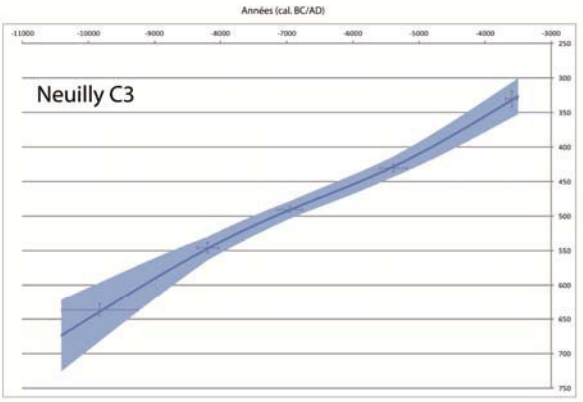


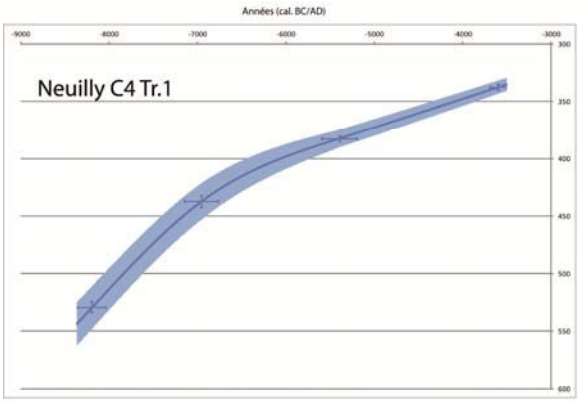


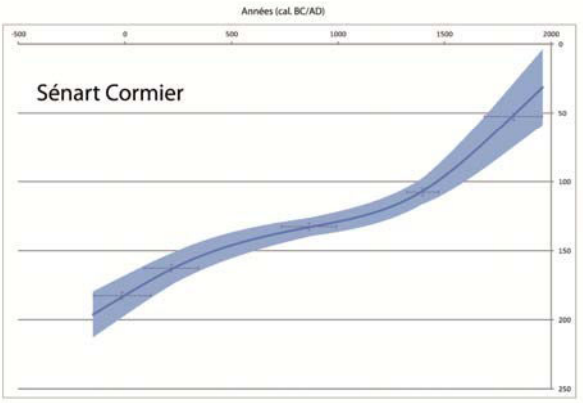


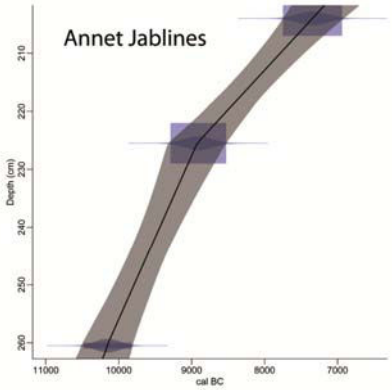


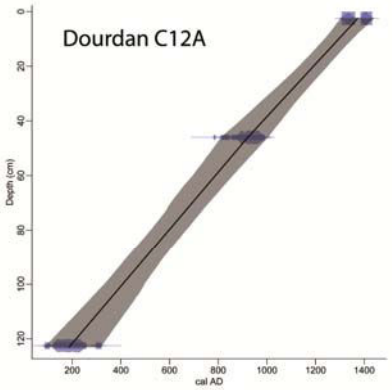

Années (cal. BC/AD)
Neuilly C1
Profondeur (cm)

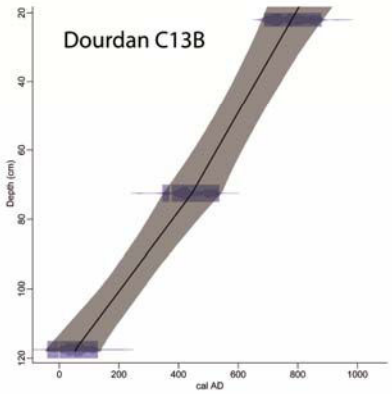

Années (cal. BC/AD)
Neuilly C3
Profondeur (cm)

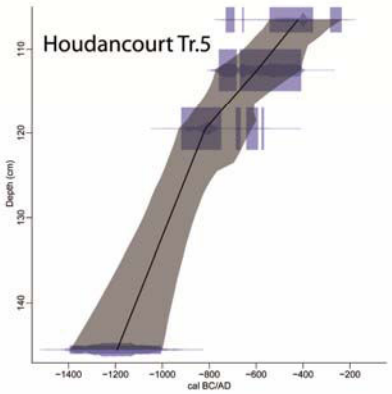

Années (cal. BC/AD)
Neuilly C4 Tr.1
Profondeur (cm)

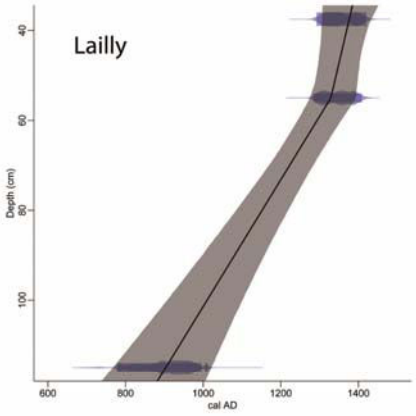

Années (cal. BC/AD)
Sénart Cormier
Profondeur (cm)

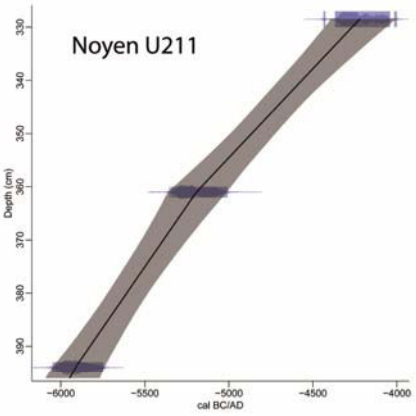

Annet Jablines
Depth (cm)
cal BC

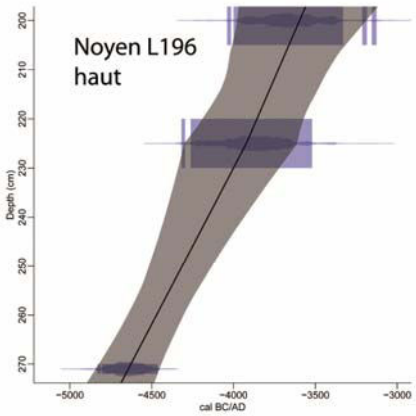

Dourdan C12A
Depth (cm)
cal AD

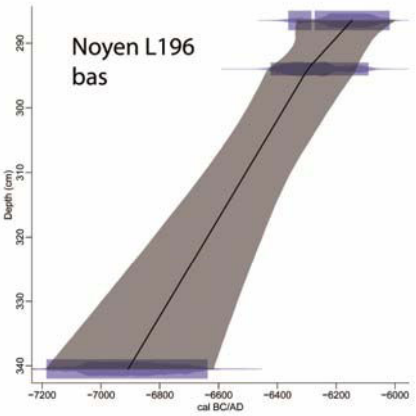

Dourdan C13B
Depth (cm)
cal AD

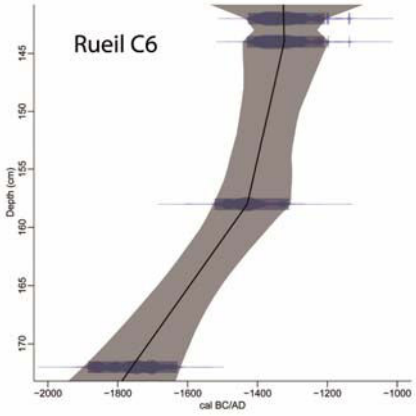

Houdancourt Tr.5
Depth (cm)
cal BC/AD

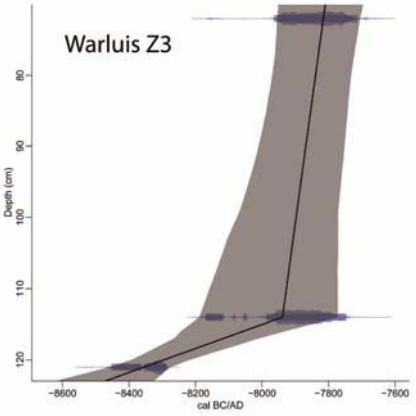

Lailly
Depth (cm)
40
60
80
100
600
800
1000
1200
1400
cal AD


Noyen U211
Depth (cm)
330
340
350
360
370
380
390
−6000
−5500
−5000
−4500
−4000
cal BC/AD

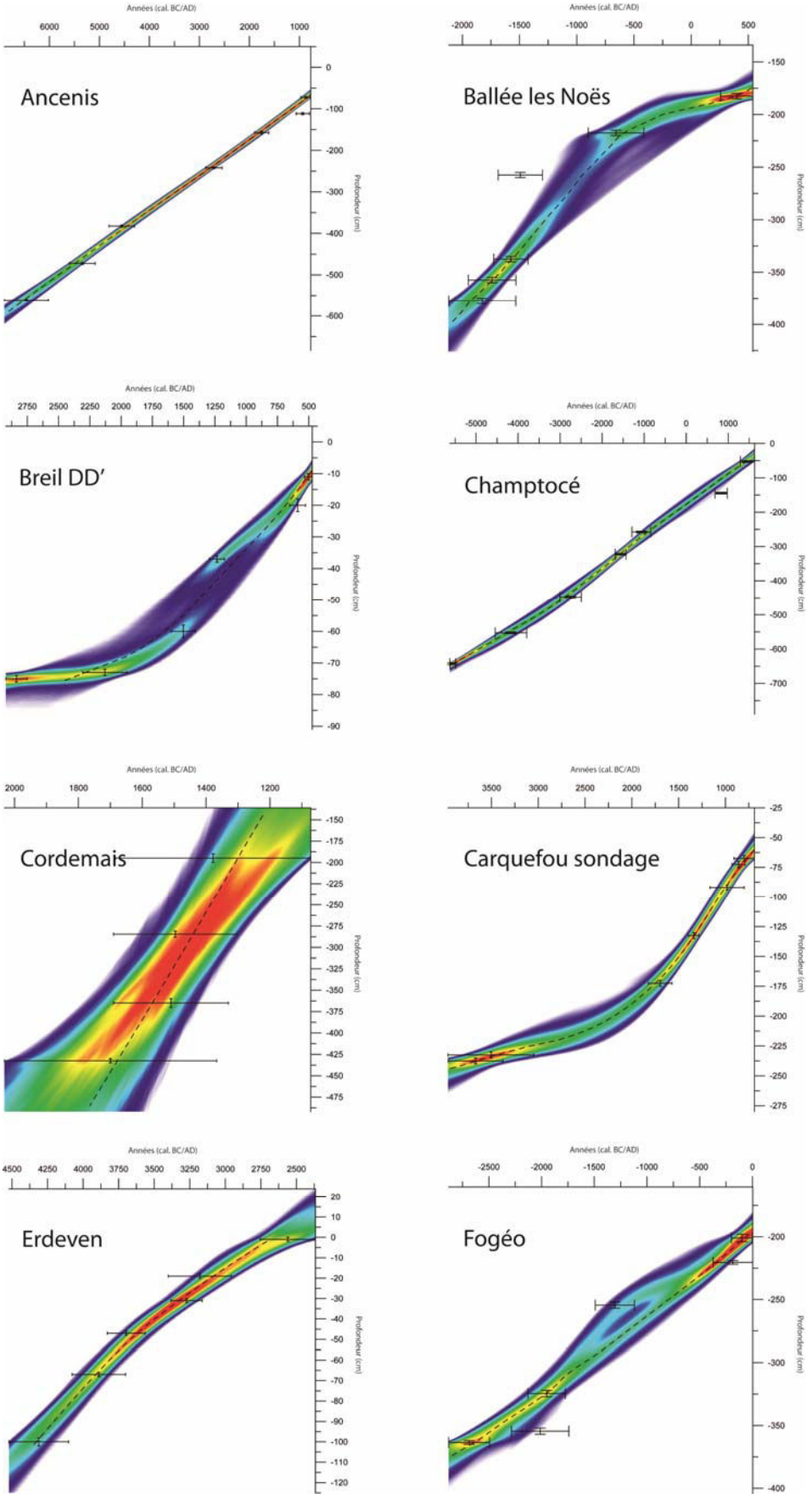

Noyen L196
haut
Depth (cm)
200
210
220
230
240
250
260
270
−5000
−4500
−4000
−3500
−3000
cal BC/AD

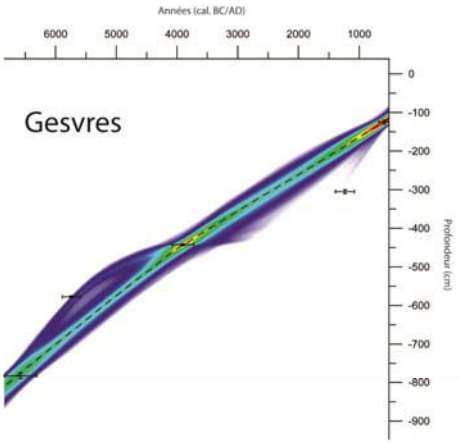

Noyen L196
bas
Depth (cm)
290
300
310
320
330
340
−7200
−7000
−6800
−6600
−6400
−6200
−6000
cal BC/AD

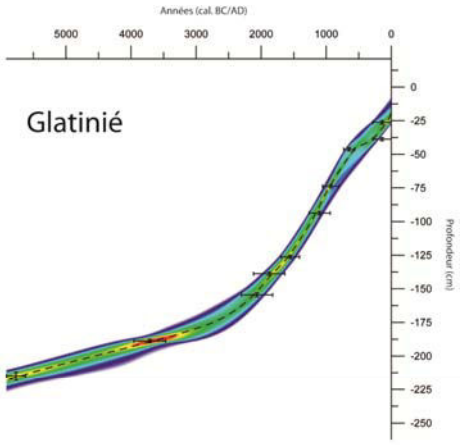

Rueil C6
Depth (cm)
145
150
155
160
165
170
−2000
−1800
−1600
−1400
−1200
−1000
cal BC/AD

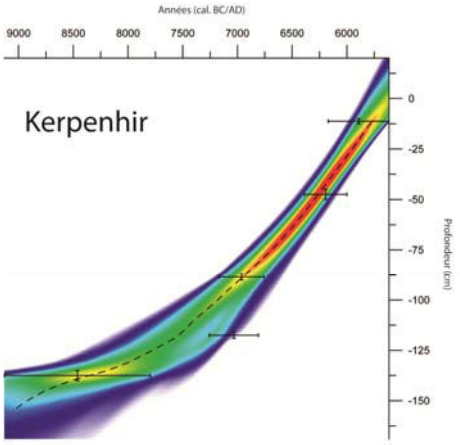

Warluis Z3
Depth (cm)
80
90
100
110
120
−8600
−8400
−8200
−8000
−7800
−7600
cal BC/AD

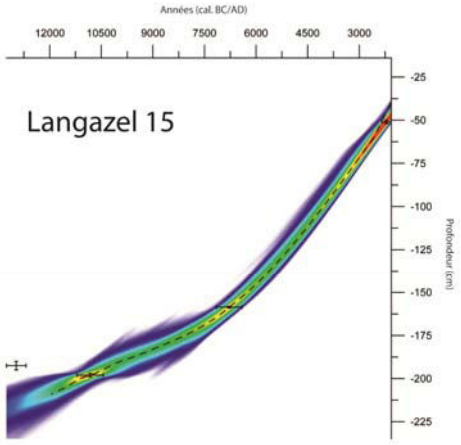
Annexe 4: Modèles d'âge des 41 séquences polliniques sélectionnées pour le Massif armoricain

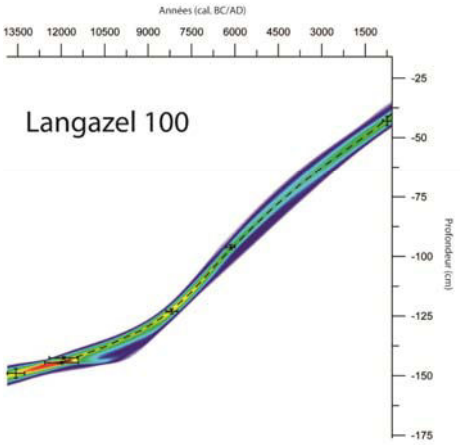


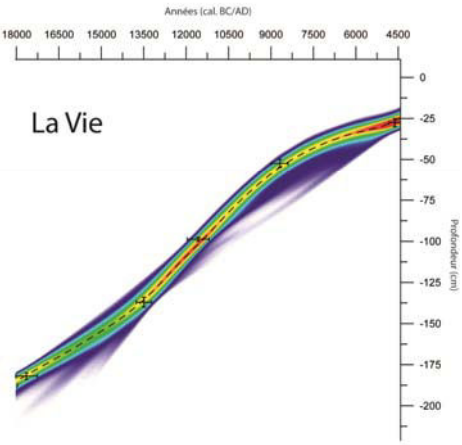

Années (cal. BC/AD)
6000 5000 4000 3000 2000 1000
Gesvres
0 -100 -200 -300 -400 -500 -600 -700 -800 -900
Profondeur (cm)

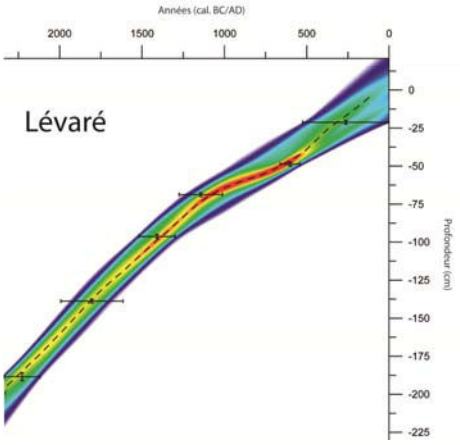

Années (cal. BC/AD)
5000 4000 3000 2000 1000 0
Glatinié
0 -25 -50 -75 -100 -125 -150 -175 -200 -225 -250
Profondeur (cm)

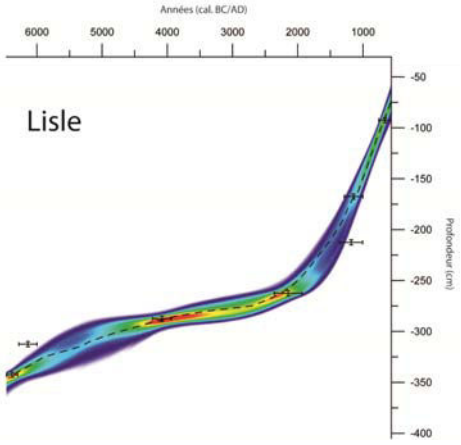

Années (cal. BC/AD)
9000 8500 8000 7500 7000 6500 6000
Kerpenhir
0 -25 -50 -75 -100 -125 -150
Profondeur (cm)

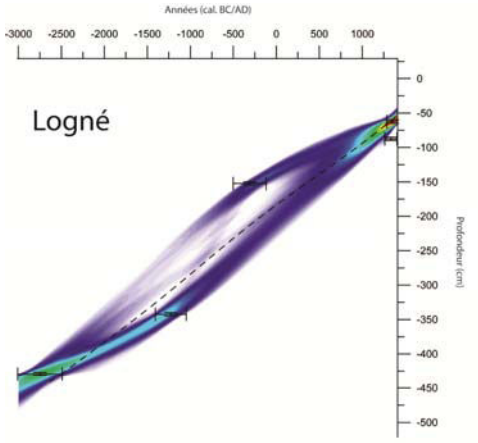

Années (cal. BC/AD)
12000 10500 9000 7500 6000 4500 3000
Langazel 15
-25 -50 -75 -100 -125 -150 -175 -200 -225
Profondeur (cm)

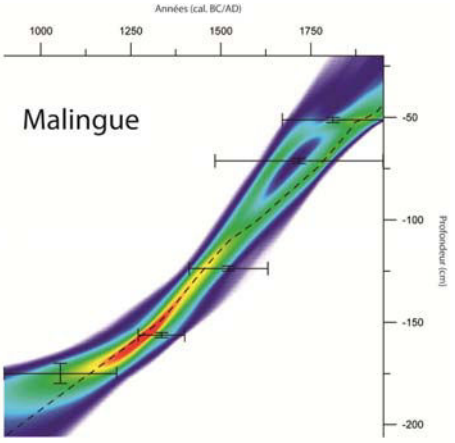

Années (cal. BC/AD)
13500 12000 10500 9000 7500 6000 4500 3000 1500
Langazel 100
-25 -50 -75 -100 -125 -150 -175
Profondeur (cm)

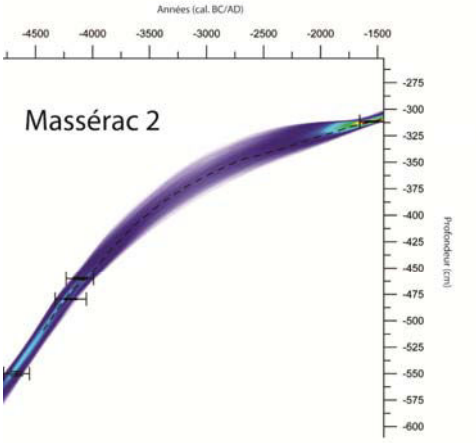

Années (cal. BC/AD)
18000 16500 15000 13500 12000 10500 9000 7500 6000 4500
La Vie
0 -25 -50 -75 -100 -125 -150 -175 -200
Profondeur (cm)

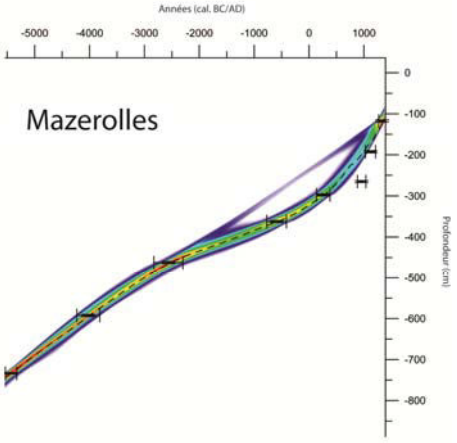

Années (cal. BC/AD)
2000 1500 1000 500 0
Lévaré
0 -25 -50 -75 -100 -125 -150 -175 -200 -225
Profondeur (cm)

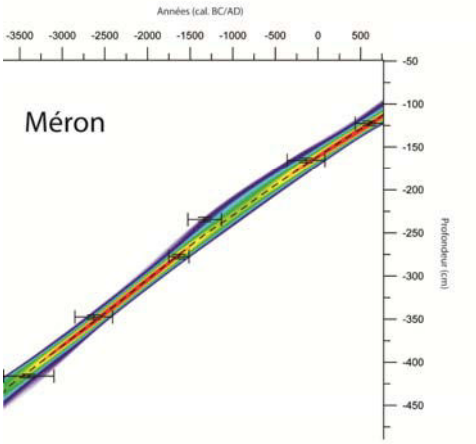

Années (cal. BC/AD)
6000 5000 4000 3000 2000 1000
Lisle
-50 -100 -150 -200 -250 -300 -350 -400
Profondeur (cm)

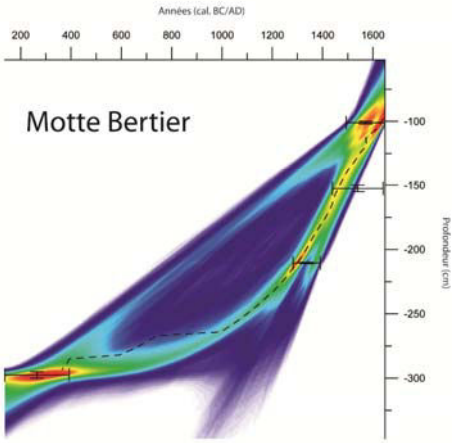

Années (cal. BC/AD)
-3000 -2500 -2000 -1500 -1000 -500 0 500 1000
Logné
0 -50 -100 -150 -200 -250 -300 -350 -400 -450 -500
Profondeur (cm)

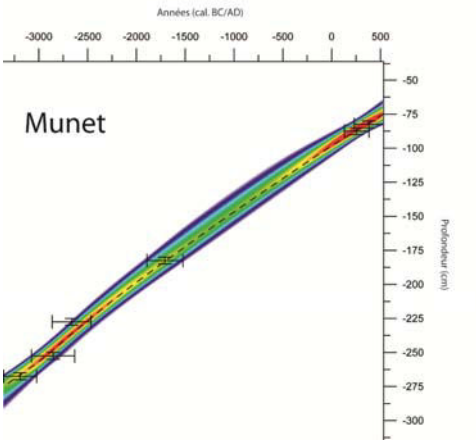

Années (cal. BC/AD)
1000 1250 1500 1750
Malingue
-50 -100 -150 -200
Profondeur (cm)

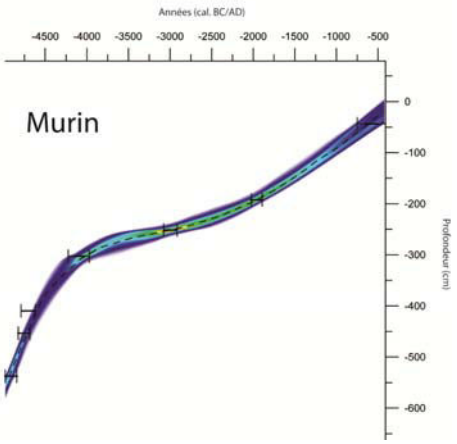

Années (cal. BC/AD)
-4500 -4000 -3500 -3000 -2500 -2000 -1500
Massérac 2
-275 -300 -325 -350 -375 -400 -425 -450 -475 -500 -525 -550 -575 -600
Profondeur (cm)

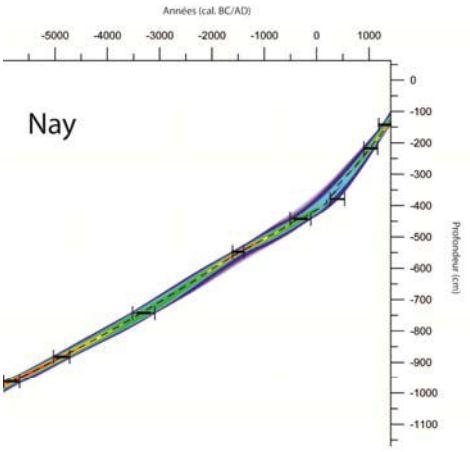

Années (cal. BC/AD)
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000
Mazerolles
0 -100 -200 -300 -400 -500 -600 -700 -800
Profondeur (cm)

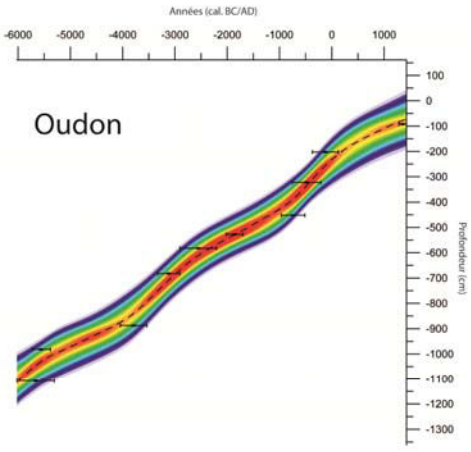

Années (cal. BC/AD)
-3500 -3000 -2500 -2000 -1500 -1000 -500 0 500
Méron
-50 -100 -150 -200 -250 -300 -350 -400 -450
Profondeur (cm)

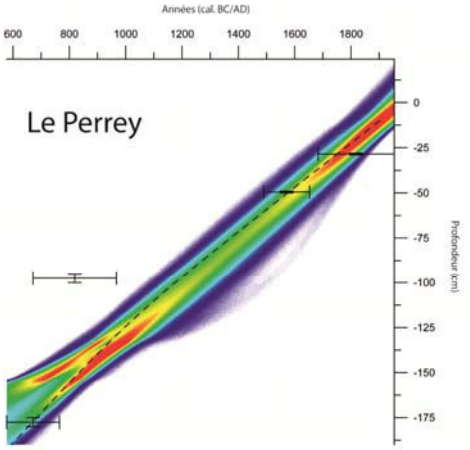

Années (cal. BC/AD)
200 400 600 800 1000 1200 1400 1600
Motte Bertier
-100 -150 -200 -250 -300
Profondeur (cm)

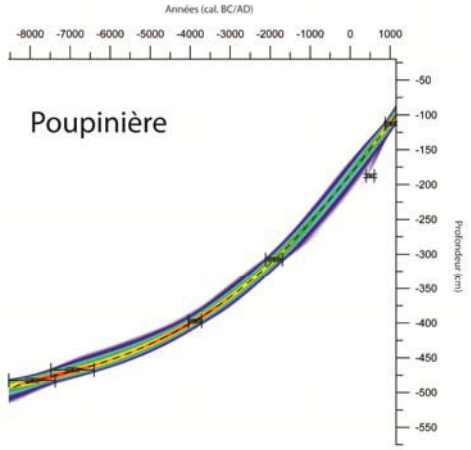

Années (cal. BC/AD)
-3000 -2500 -2000 -1500 -1000 -500 0 500
Munet
-50 -75 -100 -125 -150 -175 -200 -225 -250 -275 -300
Profondeur (cm)

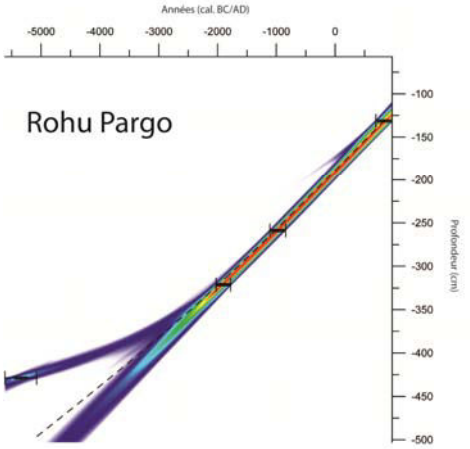

Années (cal. BC/AD)
-4500 -4000 -3500 -3000 -2500 -2000 -1500 -1000 -500
Murin
0 -100 -200 -300 -400 -500 -600
Profondeur (cm)

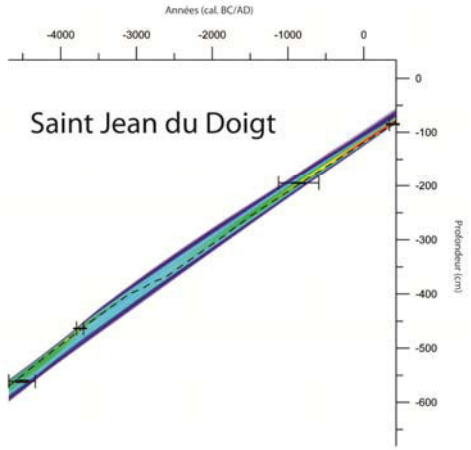

Années (cal. BC/AD)
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000
Nay
0 -100 -200 -300 -400 -500 -600 -700 -800 -900 -1000 -1100
Profondeur (cm)

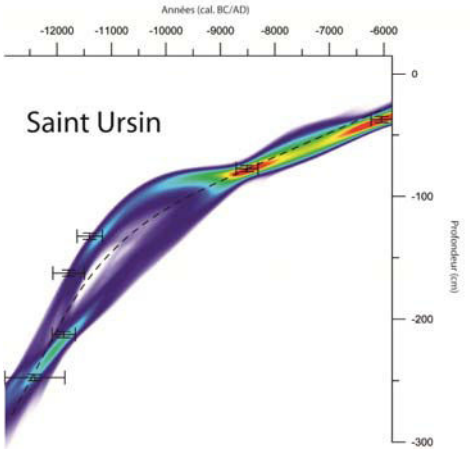

Années (cal. BC/AD)
-6000 -5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000
Oudon
100 0 -100 -200 -300 -400 -500 -600 -700 -800 -900 -1000 -1100 -1200 -1300
Profondeur (cm)

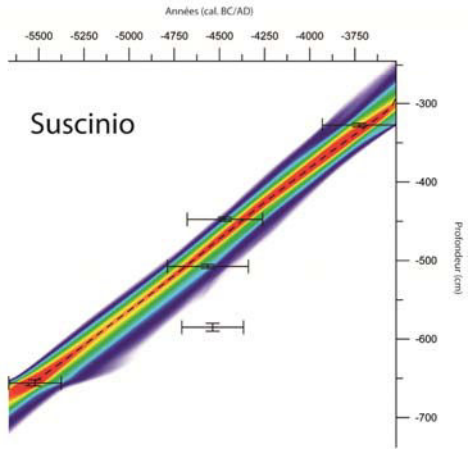

Années (cal. BC/AD)
600 800 1000 1200 1400 1600 1800
Le Perrey
0 -25 -50 -75 -100 -125 -150 -175
Profondeur (cm)

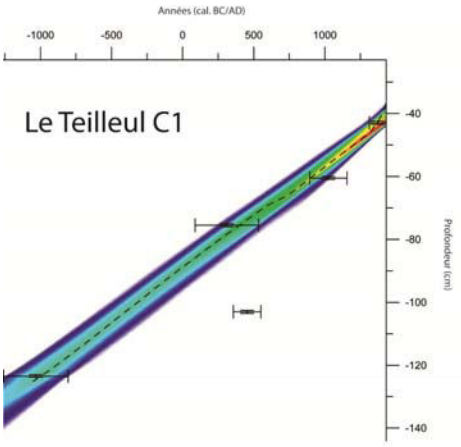

Années (cal. BC/AD)
-8000 -7000 -6000 -5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000
Poupinière
-50 -100 -150 -200 -250 -300 -350 -400 -450 -500 -550
Profondeur (cm)

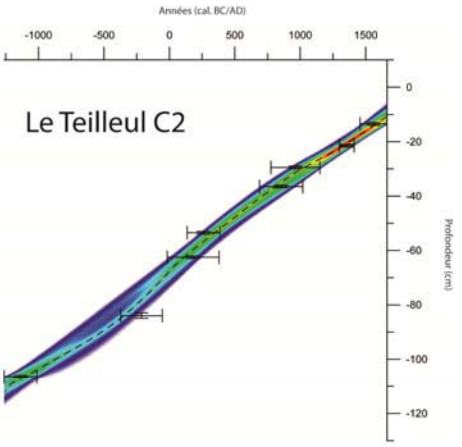

Années (cal. BC/AD)
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0
Rohu Pargo
-100 -150 -200 -250 -300 -350 -400 -450 -500
Profondeur (cm)

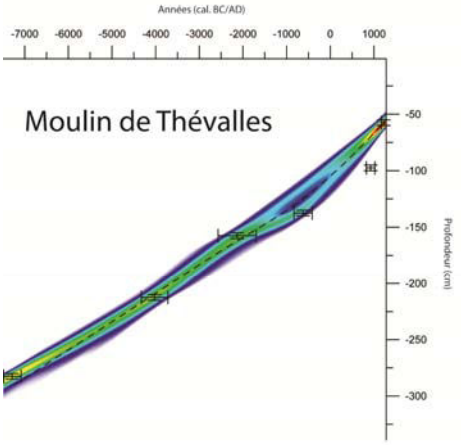

Années (cal. BC/AD)
-4000 -3000 -2000 -1000 0
Saint Jean du Doigt
0 -100 -200 -300 -400 -500 -600
Profondeur (cm)

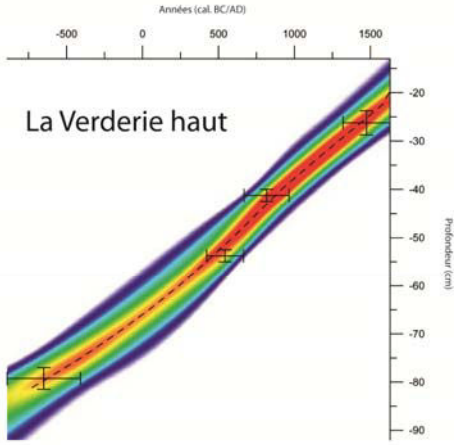

Années (cal. BC/AD)
-12000 -11000 -10000 -9000 -8000 -7000 -6000
Saint Ursin
0 -100 -200 -300
Profondeur (cm)

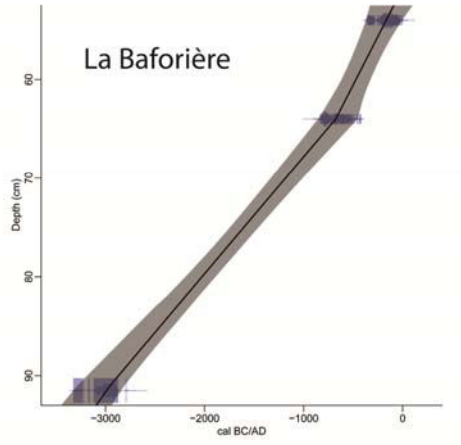

Années (cal. BC/AD)
-5500 -5250 -5000 -4750 -4500 -4250 -4000 -3750
Suscinio
-300 -400 -500 -600 -700
Profondeur (cm)

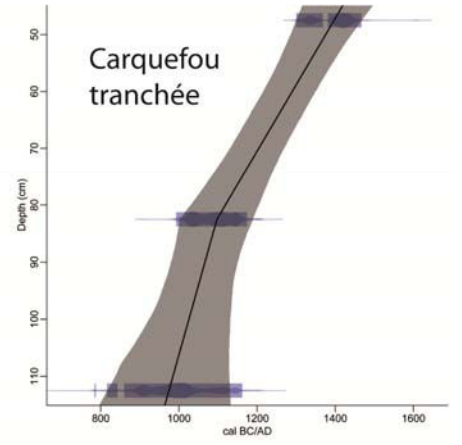

Années (cal. BC/AD)
Le Teilleul C1
Profondeur (cm)

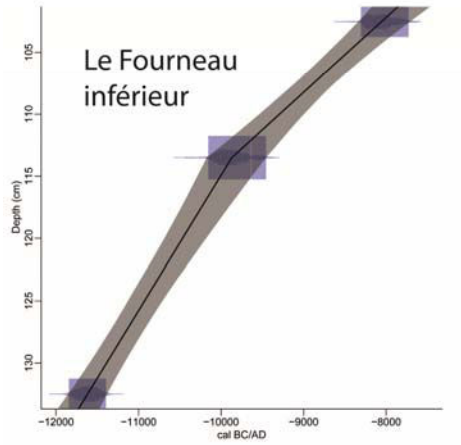

Années (cal. BC/AD)
Le Teilleul C2
Profondeur (cm)

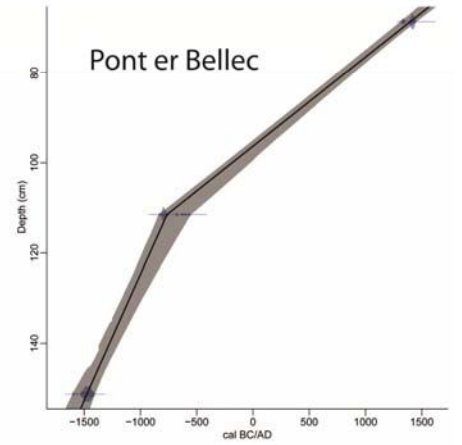

Années (cal. BC/AD)
Moulin de Thévalles
Profondeur (cm)

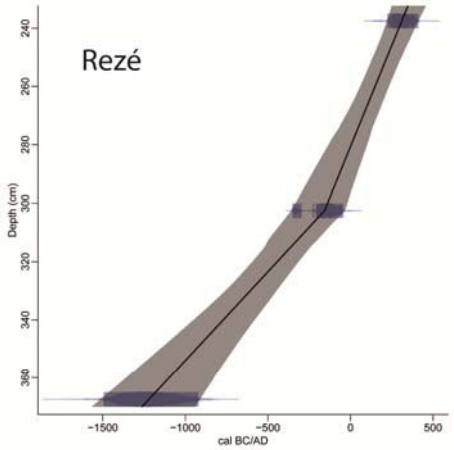

Années (cal. BC/AD)
La Verderie haut
Profondeur (cm)


La Baforière
Depth (cm)
cal BC/AD


Carquefou
tranchée
Depth (cm)
cal BC/AD


Le Fourneau
inférieur
Depth (cm)
cal BC/AD


Pont er Bellec
Depth (cm)
cal BC/AD


Rezé
Depth (cm)
240
260
280
300
320
340
360
−1500
−1000
−500
0
500
cal BC/AD

VU :

Le Directeur de Thèse

(Nom et Prénom)

VU :

Le Responsable de l'École Doctorale

VU pour autorisation de soutenance

Rennes, le

Le Président de l'Université de Rennes 1

Guy CATHELINEAU

VU après soutenance pour autorisation de publication :

Le Président de Jury,

(Nom et Prénom)

Mots-clés : Palynologie – Modélisation – Relation pollen/végétation – Statistique bayésienne – Datation – Chronologie – Archéologie – Interdisciplinarité – Paléoenvironnement – Holocène – Bassin parisien – Massif armoricain – France

Comprendre la complexité des relations entre nature et sociétés a toujours constitué un défi pour les recherches dans le domaine de l'environnement. A l'ère de la compilation de données dans de nombreuses disciplines, la modélisation constitue l'une des options les plus attractives pour comprendre et traduire les évolutions du milieu naturel.

Les objectifs principaux de ce travail de recherche sont 1) de restituer la structure du couvert végétal régional et d'en retracer les évolutions au cours de l'Holocène au sein de deux régions du nord-ouest de la France, le Bassin parisien et le Massif armoricain, et 2) de les interpréter en termes de relations entre les sociétés pré- et protohistoriques et leur milieu naturel.

Pour cela, nous avons mis en place une démarche méthodologique visant à 1) redéfinir le cadre chronologique des séquences polliniques rassemblées pour les deux régions, 2) tester, adapter puis appliquer un modèle de reconstitution quantitative du couvert végétal, 3) définir une histoire de la végétation estimée relative à chaque aire géographique modélisée, 4) comparer ces histoires régionales et 5) les confronter aux informations disponibles en matière de densités de sites archéologiques et de proximité de ces sites aux points de sondages polliniques.

Des cadres structurant l'évolution du couvert végétal pour chacune des deux régions étudiées ressortent les grandes étapes de la mise en place des paysages au cours de l'Holocène. Des spécificités régionales ont cependant pu être identifiées, tant en matière de chronologie de l'évolution de la végétation estimée qu'en matière de proportions relatives des taxons présents. Une certaine singularité doit donc être reconnue à l'évolution des paysages holocènes de chacune de ces deux parties du nord-ouest de la France.

On remarque notamment des dynamiques et des niveaux d'anthropisation tout à fait distincts entre Bassin parisien et Massif armoricain de la fin du Mésolithique à celle du Néolithique. A l'inverse, on retrouve de part et d'autre une certaine similarité entre les proportions estimées des taxons marqueurs d'anthropisation entre la fin du Néolithique et celle de l'âge du Bronze. Des liens évidents entre les variations de l'impact anthropique enregistré et celles de la densité des occupations reconnues ont par ailleurs pu être observés.

Key-words: Palynology – Modelling – Pollen/vegetation relationships – Bayesian statistics – Datings – Chronology – Archaeology – Interdisciplinary – Palaeoenvironmental studies – Holocene – Paris Basin – Armorican Massif – France

Understanding the complex relationship between nature and societies has always been a challenge for environmental sciences. With the growing impact of databases in many disciplines, the modelling appears as one of the most attractive methods for understanding and describing environmental changes.

The main objectives of this research work are 1) to reconstruct the structure of the regional vegetation cover and to determine its trends during the Holocene in two regions of north-western France, the Paris Basin and the Armorican Massif, and 2) to interpret them in terms of relationships between the pre- and proto-historic societies and their environment.

Thus, we set up a methodological approach aimed at 1) redefining the chronological framework of pollen sequences collected for both regions, 2) testing, adapting and then applying a model in order to produce quantitative estimates of vegetation cover, 3) defining a history of the estimated vegetation for each area modelled, 4) comparing these regional results and 5) confronting them to the available informations in terms of densities of archaeological sites and proximity of these sites to the pollen samples locations.

From the general framework structuring the vegetation cover changes for both study areas stand out the major steps of the development of natural landscapes during the Holocene. Nevertheless, regional distinctive features were identified; both in terms of chronology of the vegetation cover changes, than in terms of relative proportions of taxa in the vegetation estimates. Some singularity must be recognized in the Holocene landscape evolution for each of these two parts of north-western France.

We noticed distinct rates and rhythms, concerning the anthropogenic impact on the Paris Basin and the Armorican Massif estimated vegetation covers, from the late Mesolithic to the late Neolithic. On the other hand, we found similarities between both areas concerning the estimated proportions for anthropogenic markers taxa between the late Neolithic and the late Bronze Age. Clear links between changes observed in human impact on the vegetation cover estimates and those recorded in the density of archaeological sites were also noticed.