

# Détection de la terminaison: un algorithme fondé sur une approche observationnelle

Noël Plouzeau

► **To cite this version:**

Noël Plouzeau. Détection de la terminaison: un algorithme fondé sur une approche observationnelle.  
[Rapport de recherche] RR-0610, INRIA. 1987. inria-00075944

**HAL Id: inria-00075944**

**<https://hal.inria.fr/inria-00075944>**

Submitted on 24 May 2006

**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.

**INRIA**

UNITÉ DE RECHERCHE  
INRIA-RENNES

Institut National  
de Recherche  
en Informatique  
et en Automatique

Domaine de Voluceau  
Rocquencourt  
BP 105  
78153 Le Chesnay Cedex  
France  
Tél. (1) 39 63 55 11

Rapports de Recherche

N° 610

**DÉTECTION DE LA TERMINAISON:  
UN ALGORITHME FONDÉ  
SUR UNE  
APPROCHE OBSERVATIONNELLE**

Noël PLOUZEAU

Février 1987

**Détection de la Terminaison :  
un Algorithme Fondé sur une Approche Observationnelle****Termination Detection :  
an Algorithm Based on Observation**Publication Interne n° 331Décembre 1986 - 12 pages

Noël Plouzeau  
IRISA  
Université de Rennes 1  
Campus de Beaulieu  
35042 RENNES CEDEX

*Résumé*

Cet article présente un algorithme de détection de la terminaison d'un calcul dans un système réparti. Le calcul de détection repose sur un principe d'observation de l'activité du calcul principal dont la terminaison doit être détectée. Tous les processus de détection exécutent le même texte : il n'y a pas de processus privilégié. En ce sens, l'algorithme est symétrique. Aucun processus ne lance de calcul d'interrogation dans le réseau (à l'aide d'un jeton ou d'une vague de messages) pour apprendre l'état des processus du système. Chaque processus détecte la terminaison lorsqu'elle se produit.

*Abstract*

In this paper a termination detection algorithm for distributed computation is presented. The detection method is based on the observation of the main computation activity. Every detecting process executes the same code : there is no leader. In that sense, the algorithm is symmetrical. No process has to send some message wave in order to learn the state of the processes in the system. When termination occurs, every process will notice this event after some finite time.

## 1 Introduction

La détection de la terminaison d'un calcul est un exemple-type des problèmes de détection de l'occurrence de propriétés de stabilité dans un système distribué. On peut classer les différents algorithmes de détection de la terminaison connus en fonction du type du calcul de détection.

1. Un seul processus du système, que nous appellerons le détecteur, est chargé de la détection de la terminaison du calcul principal. Le principe de base de ce type d'algorithme est l'interrogation, par le détecteur, de chacun des processus afin qu'ils lui communiquent leur état. Cette interrogation emploie des messages circulant entre le détecteur et les autres processus [Dijkstra et al. 83, Chandy et Lamport 85]. Au bout d'un temps fini, le processus détecteur obtient le résultat de son calcul de l'état global du système. Ce résultat lui permet :
  - soit de déclarer que le calcul principal est terminé : il signale alors ce fait à tous les autres processus du système en diffusant un message d'information,
  - soit de constater que le résultat du calcul ne permet pas de conclure de manière certaine à la terminaison du calcul principal : le processus détecteur lance alors un nouveau calcul de détection dans le réseau.
2. Un processus du système lance un calcul pour capter l'état global du système. Pendant que ce calcul progresse dans le système, un processus constate que les résultats obtenus permettent de conclure à la terminaison du calcul principal. Il signale alors à tous les processus que le calcul principal est terminé. Dans ce type d'algorithme, le processus qui lance le calcul de détection de la terminaison et le processus qui détecte la terminaison peuvent être distincts [Misra 83].
3. Un processus particulier, unique, active les processus du système lors de l'initialisation du calcul principal, en utilisant pour ce faire un calcul diffusant d'activation. Ce même processus joue ensuite le rôle de détecteur de la terminaison. Il attend pour cela la réponse au calcul diffusant d'activation. Cette réponse arrive au détecteur si et seulement si le calcul principal est terminé. Lorsque le détecteur reçoit la réponse, il signale la fin du calcul principal à tous les processus du système en diffusant un message d'information [Dijkstra et Scholten 80].

L'algorithme présenté ici propose une quatrième façon de détecter la terminaison. L'approche originale retenue s'appuie uniquement sur l'observation de l'activité des messages de calcul dans le réseau de communication. Cette observation est effectuée par tous les processus du système. Lorsqu'un processus a détecté la terminaison du calcul principal il n'en informe pas les autres processus. Ceux-ci ont découvert seuls, ou vont découvrir, que le calcul principal est terminé. Aucun processus ne joue le rôle de détecteur unique : tous sont détecteurs.

Nous ne nous intéressons pas au cas des pannes de sites, le but de cet article étant la

présentation de la technique de l'observation distribuée, au moyen d'un algorithme simple. Nous n'emploierons pas la communication par variable partagée entre sites voisins sur un anneau [Saikkonen et Rönn 86] : la communication entre sites se fera exclusivement par messages. Contrairement à [Lai 85], la création et la suppression dynamique de sites n'est pas prise en compte.

## 2 Hypothèses

### 2.1 Propriétés requises du réseau

L'algorithme fait les hypothèses suivantes sur le réseau qui relie les différents sites du système.

- Le déséquencement, la duplication, la perte et l'altération des messages du calcul principal sont interdits.
- L'algorithme de détection n'utilise que la diffusion fiable comme primitive de communication entre les sites du système. Le déséquencement, la duplication, la perte et l'altération des messages de contrôle entre le site origine de la diffusion et un destinataire quelconque sont interdits.

### 2.2 Définition du système à observer

Le calcul principal dont on veut détecter la terminaison est régi par les règles suivantes :

1. Sur chaque site  $S_i$  du système distribué se trouve un processus  $C_i$  participant au calcul principal.
2. Un processus du calcul principal peut être soit dans l'état *actif* soit dans l'état *passif*.
3. Pour émettre un message de calcul un processus doit nécessairement être dans l'état *actif*.
4. Un processus dans l'état *actif* peut passer arbitrairement dans l'état *passif*.
5. Un processus dans l'état *passif* passe dans l'état *actif* si et seulement si il reçoit un message de calcul ; le changement d'état est immédiat. Il n'y a donc pas d'activation spontanée de processus de calcul.
6. Au début du calcul principal tous les processus sont dans l'état *actif*.

*Définition* : On dit que le calcul principal est terminé si et seulement si tous les processus sont dans l'état *passif* et il n'y a aucun message de calcul en transit dans le réseau.

*Notation* : Un site du système est noté  $S_i$ , où  $i$  est un élément de l'intervalle entier  $[1..n]$ ,  $n$  étant le nombre de sites du système. Les variables locales d'un processus appartenant à un site  $S_i$  seront toujours indicées par  $i$ .

### 3 Principe de l'algorithme

L'algorithme de terminaison est exécuté sur chaque site du système : comme nous l'avons précisé, il n'y a pas de site « détecteur » unique, qui prendrait seul la décision de déclarer le calcul terminé.

On trouve sur chaque site  $S_i$  du système, en plus du processus du calcul principal  $C_i$ , les processus  $M_i$  et  $D_i$  définis comme suit.

$M_i$  Ce processus est chargé de noter l'activité de  $C_i$  au sein du calcul principal. Le processus  $M_i$  observe l'activité du processus  $C_i$  en comptant les messages de calcul émis et reçus par celui-ci. Il possède deux variables locales  $calc\_émis_i$  et  $calc\_reçus_i$ , qui sont des vecteurs d'entiers indexés par l'ensemble des noms des processus. Le processus  $M_i$  obéit aux règles suivantes :

1. Lorsque  $C_i$  émet un message de calcul, quel qu'en soit le destinataire  $C_j$ ,  $M_i$  augmente la valeur de l'élément  $calc\_émis_i[j]$  d'une unité.
2. Lorsque  $C_i$  reçoit un message de calcul, quel qu'en soit l'expéditeur  $C_j$ ,  $M_i$  augmente la valeur de l'élément de vecteur  $calc\_reçus_i[j]$  d'une unité.
3. Lorsque le processus de calcul  $C_i$  devient passif, le processus  $M_i$  associé diffuse vers tous les processus  $D$  du système (y compris  $D_i$ ) un message *signal\_passif* qui transporte la valeur des vecteurs  $calc\_émis_i$  et  $calc\_reçus_i$ . Les vecteurs  $calc\_émis_i$  et  $calc\_reçus_i$  sont ensuite remis à zéro.

$D_i$  Ce processus est chargé de la détection de la terminaison du calcul principal. Le processus  $D_i$  détient localement deux matrices d'entiers,  $total\_émis_i$  et  $total\_reçus_i$ . Le comportement de  $D_i$  est définie par les règles suivantes :

1. L'élément  $total\_émis_i[j][k]$  contient à tout instant le nombre des messages de calcul émis par  $C_j$  vers  $C_k$ , tel que le connaît  $D_i$ . Cette connaissance est mise à jour lors de la réception par  $D_i$  d'un message *signal\_passif* émis par  $M_j$  :  $D_i$  ajoute à  $total\_émis_i[j]$  la valeur du vecteur  $calc\_émis_j$  envoyé par  $M_j$  dans son message *signal\_passif*.
2. L'élément  $total\_reçus_i[j][k]$  contient à tout instant le nombre des messages de calcul reçus par  $C_i$  en provenance de  $C_k$ , tel que le connaît  $D_i$ . Cette connaissance est mise à jour lors de la réception par  $D_i$  d'un message *signal\_passif* émis par  $M_j$  :  $D_i$  ajoute à  $total\_reçus_i[j]$  le vecteur  $calc\_reçus_j$  envoyé par  $M_j$  dans son message *signal\_passif*.

3. Lorsque le processus  $D_i$  constate que pour tout  $j$  et tout  $k$  on a  $total\_émis_{i,j}[k] = total\_reçus_{i,k}[j]$ , et qu'il a reçu au moins un message *signal\_passif* de chacun des processus du système alors  $D_i$  déclare le calcul principal terminé.

#### 4 Texte de l'algorithme

L'algorithme est donné par un ensemble de procédures qui sont appelées lors de l'occurrence d'un événement dans un processus. Ces procédures sont exécutées de manière atomique.

Texte du processus  $C_i$

```

calc_reçusi : tableau [1..n] de naturel init 0;
calc_émisi : tableau [1..n] de naturel init 0;

co
  L'élément de tableau calc_reçusi[j] contient le nombre
  des messages de calcul reçus par  $P_i$ , en provenance de  $P_j$ ,
  depuis le dernier passage de  $C_i$  dans l'état actif.

  L'élément de tableau calc_émisi[j] contient le nombre
  des messages de calcul envoyés par  $P_i$  à  $P_j$  depuis le
  dernier passage de  $C_i$  dans l'état actif.
fco

proc émission_calcul(j);
  co
    Cette procédure est appelée lorsque  $C_i$  envoie un message
    de calcul à  $C_j$ .
  fco

  calc_émisi[j]:=calc_émisi[j]+1;
fproc

proc réception_calcul(j)
  co
    Cette procédure est appelée lorsque  $C_i$  reçoit un message de
    calcul venant de  $C_j$ .
  fco

  calc_reçusi[j]:=calc_reçusi[j]+1;
fproc

```

```

proc devenir_passif;
  co
    Cette procédure est appelée lorsque le processus  $C_i$  passe dans
    l'état passif.
    L'opération de diffusion utilisée ci-dessous envoie
    le message à diffuser à tous les processus  $D_x$  du système,
    y compris à  $D_i$  lui-même.
  fco

  diffuser signal_passif(i, calc_émisi, calc_reçusi);
  calc_émisi := 0;
  calc_reçusi := 0;
fproc

Texte du processus  $D_i$ 

var
  total_reçusi : tableau [1..n][1..n] de naturel init 0;
  total_émisi : tableau [1..n][1..n] de naturel init 0;

  co
    L'élément de tableau total_reçusi[j][k] contient le
    nombre des messages de calcul reçus par  $C_j$ 
    en provenance de  $C_k$ , tel que le connaît  $D_i$ .
    Cet élément est mis à jour lors de la réception d'un message
    signal_passif diffusé par  $M_j$  lorsque  $C_j$  passe dans l'état
    passif.

    L'élément de tableau total_émisi[j][k] contient le nombre
    des messages de calcul envoyés par  $C_j$ 
    à  $C_k$ , tel que le connaît  $D_i$ .
    Cet élément est mis à jour lorsque  $D_i$  reçoit un message
    signal_passif émis par  $M_j$ .
  fco

  participantsi : tableau [1..n] de booléen init faux;

  co
    L'élément participantsi[j] vaut vrai si  $D_i$  a reçu au
    moins un message signal_passif venant de  $M_j$ .

    A l'initialisation du système, tous les processus sont dans
    l'état actif.
  fco

```



```

proc réception_passif(j,copie_calc_émis,copie_calc_reçus);
co
  Cette procédure est appelée lors de la réception d'un message
  signal_passif par  $P_i$ . Ce message provient de  $P_j$ , les
  champs copie_calc_émis et copie_calc_reçus correspondent aux champs
  calc_émis et calc_reçus diffusés par la
  procédure devenir_passif.
fco

total_émisi[j]:=total_émisi[j]+copie_calc_émis;
total_reçusi[j]:=total_reçusi[j]+copie_calc_reçus;
participantsi[j]:=vrai;
si  $\forall j, \forall k, \text{total\_émis}_i[j][k]=\text{total\_reçus}_i[k][j]$  et participanti[j]
  alors co Le calcul principal est déclaré terminé fco
fsi;
fproc

```

## 5 Preuve de bon fonctionnement de l'algorithme

### Notations

La preuve s'appuie sur l'existence d'un référentiel de temps global ; ce temps est abstrait : il n'est basé que sur le fait que l'émission d'un message précède sa réception et que dans un même processus deux événements ne peuvent avoir lieu simultanément.

Supposons que  $D_i$ , processus détecteur quelconque du système, déclare le calcul terminé. Nous définissons alors les notations suivantes :

- $dt_i$  date à laquelle  $D_i$  déclare le calcul principal terminé,
- $drp_i(j)$  valeur maximale des dates de réception par  $D_i$  des messages *signal\_passif* émis par  $M_j$ , et reçus avant  $dt_i$ ,
- $dep_j$  date d'émission par  $M_j$  du message reçu à la date  $drp_i(j)$  par  $D_i$ ,
- $dec_k(j)$  date d'émission d'un message de calcul quelconque émis par  $C_k$  vers  $C_j$ ,
- $drc_j(k)$  date de réception par  $C_j$  du message de calcul émis par  $C_k$  à la date  $drc_j(k)$ .

### 5.1 L'algorithme ne fait pas de fausse détection

#### Lemme

Si  $D_j$  détecte la terminaison à la date  $dt_i$ , alors :

$$dec_k(j) < dep_k \Rightarrow drc_j(k) < dep_j$$

Ce lemme signifie que tout message de calcul émis par  $C_k$  vers  $C_j$  avant la « dernière » diffusion de *signal\_passif* par  $M_k$  arrive nécessairement avant la dernière diffusion de *signal\_passif* par  $M_j$ . Un exemple d'exécution satisfaisant ce lemme est représenté à la figure 1, où la droite repérée par  $S_j$  porte la trace des événements qui ont lieu sur le site  $S_j$ . Les flèches représentent la transmission des messages entre les différents sites.

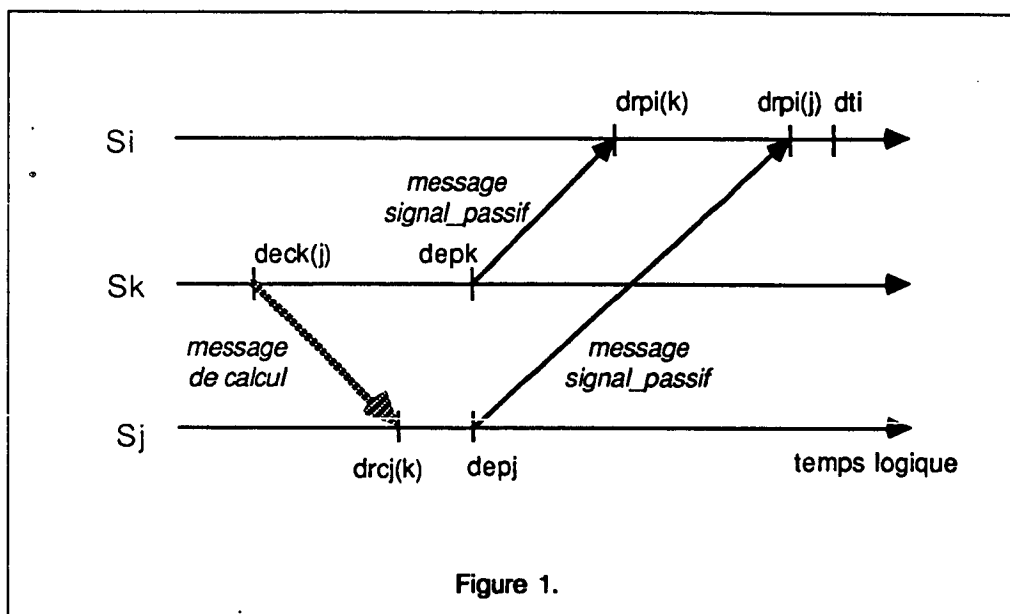


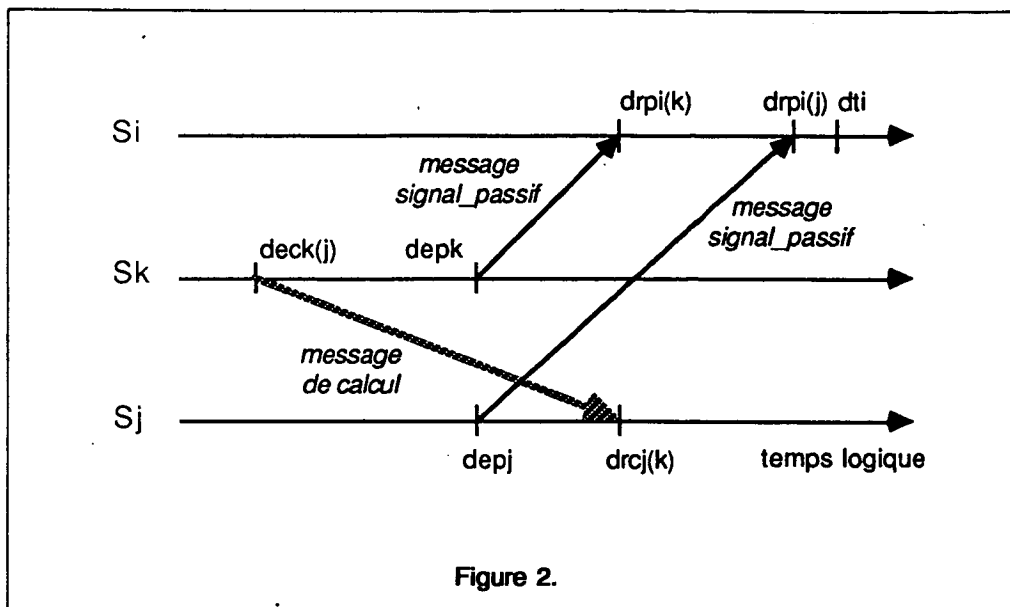
Figure 1.

#### Preuve du lemme

Nous allons prouver le lemme en raisonnant par contradiction. Nous prendrons comme hypothèse de travail :

$$dec_k(j) < dep_k \wedge drc_j(k) > dep_j \quad (H)$$

On notera  $m_j$  le message de calcul émis à  $dec_k(j)$  et reçu après  $dep_j$ . La figure 2 représente un exemple d'exécution satisfaisant l'hypothèse H. Puisque  $m_j$  a été émis à la date  $dec_k(j)$ , il est pris en compte par le champ *copie\_calc\_émis* d'un message *signal\_passif* émis par  $M_k$  à une date



inférieure ou égale à  $dep_k$  ; comme les messages de contrôle *signal\_passif* ne peuvent pas se doubler en circulant de  $M_k$  à  $D_i$ , le message  $m_j$  est pris en compte dans  $total\_émis[k][j]$  à la date  $dt_i$ . Puisque  $m_j$  a été reçu après  $dep_j$ , que les messages de contrôle ne peuvent se doubler entre  $M_j$  et  $D_i$ ,  $m_j$  ne peut être pris en compte dans  $total\_reçu[j][k]$  à la date  $dt_i$ . De plus, les messages de calcul ne peuvent pas se doubler entre  $C_k$  et  $C_j$ , donc aucun message émis par  $C_k$  après  $dec_k(j)$  ne peut « simuler » la réception de  $m_j$  avant  $dep_j$  en étant pris en compte à la place de  $m_j$ . A la date  $dt_i$ , l'élément  $total\_reçu[j][k]$  est inférieur au nombre de messages émis ; on a alors  $total\_émis[k][j] > total\_reçu[j][k]$ . Or nous avons fait l'hypothèse que  $D_i$  détecte la terminaison à cette date, ce qui implique l'égalité des tableaux  $total\_émis_i$  et  $total\_reçu_i$ , il y a contradiction : l'hypothèse H est donc fausse, ce qui démontre le lemme.

### Théorème 1

L'algorithme ne fait pas de fausse détection : si un processus quelconque du système déclare le calcul principal terminé alors tous les processus du système sont dans l'état *passif* et il n'y a aucun message de calcul en transit dans le réseau.

Preuve du théorème 1

Nous commencerons par prouver qu'il ne saurait y avoir de processus dans l'état *actif* après qu'un processus  $D_i$  (choisi arbitrairement) ait déclaré le calcul terminé.

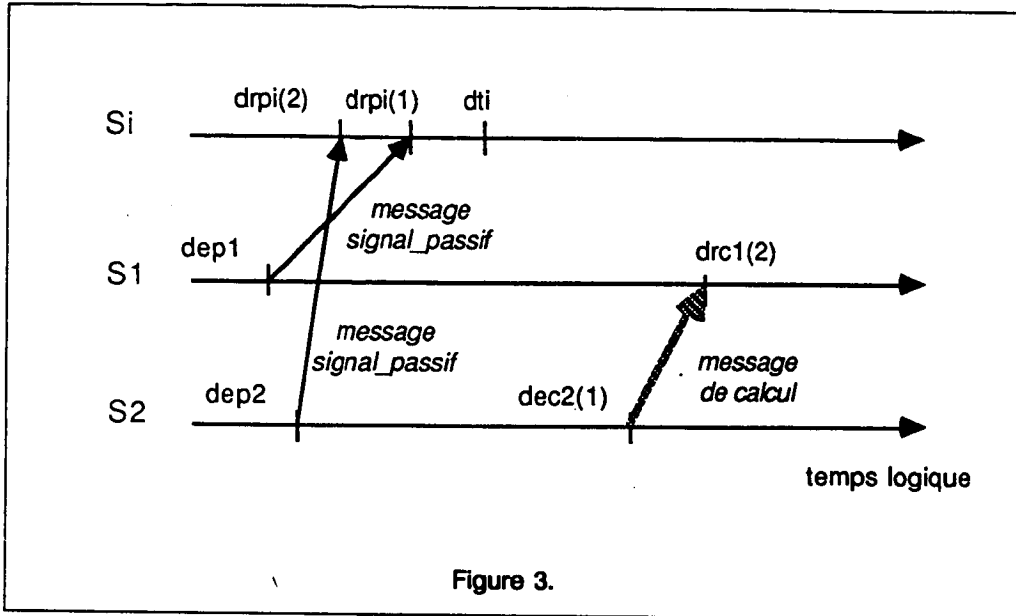


Figure 3.

Supposons qu'il existe un processus  $C_1$  actif après  $dt_i$  (figure 3).  $C_1$  a dû passer au moins une fois dans l'état passif avant  $dt_i$ , car le prédicat de détection de la terminaison impose la réception par  $D_i$  d'au moins un message *signal\_passif* émis par  $M_i$ . Un processus ne peut passer de l'état passif à l'état actif que par réception d'un message de calcul. Etant passif à l'instant  $dep_1$ ,  $C_1$  a dû recevoir au moins un message de calcul après cette date. Soit  $m_1$  le premier des messages de calcul reçus par  $C_1$  après  $dep_1$ . La date de réception de  $m_1$  sera notée  $drc_1(2)$ . L'émetteur de ce message sera noté  $C_2$ . En vertu du lemme, et en considérant la contraposée de l'implication figurant dans ce lemme, il apparaît que le message  $m_1$  a été émis nécessairement après  $dep_2$ . Ceci implique que  $C_2$  devait être dans l'état actif après  $dep_2$ . Cela n'est possible que si  $C_2$  a reçu un message de calcul à la date  $drc_2(3)$ , postérieure à  $dep_2$ . De plus, la date  $drc_2(3)$  est nécessairement antérieure à la date d'émission de  $m_1$  et donc antérieure à  $drc_1(2)$  (la comparaison de ces deux dates a un sens, bien qu'elles se rapportent à deux sites distincts, car elles sont liées par une relation de cause à effet, en l'occurrence la transmission du message  $m_1$ ).

Cette situation se résume de la manière suivante : s'il existe un processus  $C_1$ , tel que  $C_1$  soit repassé dans l'état *actif* à la date  $drc_1(2)$  postérieure à  $dep_1$ , alors il existe nécessairement un autre processus  $C_2$  distinct de  $C_1$ , qui est passé dans l'état *actif* à une date  $drc_2(3)$  antérieure à  $drc_1(2)$ .

L'ensemble des processus du système étant statique et fini (de cardinal  $n$ ), il existe nécessairement une chaîne de processus  $C_1, \dots, C_n$ , où  $C_{i+1}$  réactive  $C_i$ . Cette chaîne est acyclique en raison de la contrainte  $drc_{i+1}(i+2) < drc_i(i+1)$ . Le processus  $C_n$  n'ayant pas de successeur, il ne peut passer dans l'état actif après  $dep_n$ . Il ne peut donc pas activer  $C_{n-1}$ . De proche en proche,  $C_{i+1}$  ne peut activer  $C_i$ . Donc  $C_1$  ne peut être dans l'état actif, ce qui contredit l'hypothèse de travail. Il n'existe donc pas de processus dans l'état *actif* après que  $D_j$  ait déclaré le calcul principal terminé.

De plus, il ne peut pas exister de message de calcul en transit dans le réseau après la date  $dt_j$ , car si tel était le cas alors au bout d'un temps fini un processus du système recevrait nécessairement ce message et passerait dans l'état *actif*. Or nous venons de voir qu'aucun processus ne peut passer dans cet état après  $dt_j$ . Il ne peut donc y avoir de messages en transit dans le réseau après que  $D_j$  ait déclaré le calcul principal terminé.

## 5.2 L'algorithme détecte la terminaison au bout d'un temps fini

### Théorème 2

Si le calcul principal se termine alors tout processus du système détecte cette terminaison au bout d'un temps fini.

### Preuve du théorème 2

On suppose qu'à l'instant  $T$  le calcul principal est terminé : le dernier processus encore actif devient passif, il n'y a plus de message de calcul en transit dans le réseau. A l'instant  $T$ , tous les messages émis ont été reçus, et chaque site a émis vers tous les processus détecteurs la dernière partie du compte exact des messages de calcul émis et reçus. Au bout d'un temps fini, tout processus détecteur connaît pour tout  $j$  et tout  $k$  le nombre total de messages de calcul émis par  $C_j$  vers  $C_k$  et le nombre total des messages de calcul reçus par  $C_k$  en provenance de  $C_j$ ; ces deux totaux sont égaux. On a donc au bout d'un temps fini l'égalité des deux tableaux. Ceci rend vrai le premier des deux termes de la conjonction servant de prédicat de détection de la terminaison. Le second terme est également vrai car chaque processus a envoyé au moins un message *signal\_passif* à l'instant  $T$ , puisque par hypothèse tous les processus sont dans l'état *actif* au début du calcul. Donc tout processus du système verra son prédicat de terminaison devenir vrai au bout d'un temps fini après la terminaison du calcul principal.

## 6 Conclusion

L'approche retenue pour le calcul de détection de la terminaison s'appuie uniquement sur le concept de l'observation d'une activité distribuée. L'algorithme est une illustration simple de l'emploi de cette technique. Celle-ci semble utilisable pour résoudre le problème plus général de la détection de l'occurrence de propriétés stables dans un système distribué. Ceci constitue actuellement un des sujets de recherche de l'équipe.

## 7 Remerciements

Cet algorithme a été conçu au sein de l'équipe *Algorithmes distribués et protocoles* à l'IRISA, dans le cadre du pôle *Algorithmes distribués* du GRECO C<sup>3</sup>. Jean-Michel Héлары, Claude Jard et Michel Raynal ont apporté de nombreuses critiques et corrections au texte et à la preuve de cet algorithme.

## 8 Références

- [Chandy et Lamport 85] CHANDY, K.M. et LAMPORT, L., *Distributed snapshots : determining global states of distributed systems*, ACM Trans. Comp. Syst., Vol. 3, n° 1, 1985, pp. 63-75.
- [Dijkstra et Scholten 80] DIJKSTRA, E.W. et SCHOLTEN, C.S., *Termination detection for diffusing computation*, Inform. Process. Letters, Vol. 11, n° 1, 1980, pp. 1-4.
- [Dijkstra et al. 83] DIJKSTRA, E.W., FEJEN, W.H.J. et VAN GASTEREN, A.J.M., *Derivation of a termination detection algorithm for distributed computation*, Inform. Process. Letters, n° 16, 1983, pp. 217-219.
- [Lai 85] LAI, T.H., *Termination detection for dynamic distributed systems with non-first-in-first-out communication*, Dept. of Computer and Information, Ohio State Univ., Columbus, Ohio, 1985.
- [Misra 83] MISRA, J., *Detecting termination of distributed computations using markers*, Proc. Second Annual ACM Symp. on Principles of Distributed Computing, Montreal, Août 1983, pp. 290-294.
- [Saikkonen et Rönn 86] SAIKKONEN, H. et RONN, S., *Distributed termination on a ring*, BIT, n° 26, 1986, pp. 188-194.

Imprimé en France

par

l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

