Techniques et outils pour la construction massivement parallèle de systèmes de transitions

Christophe Joubert

DEA Informatique Systèmes et Communications

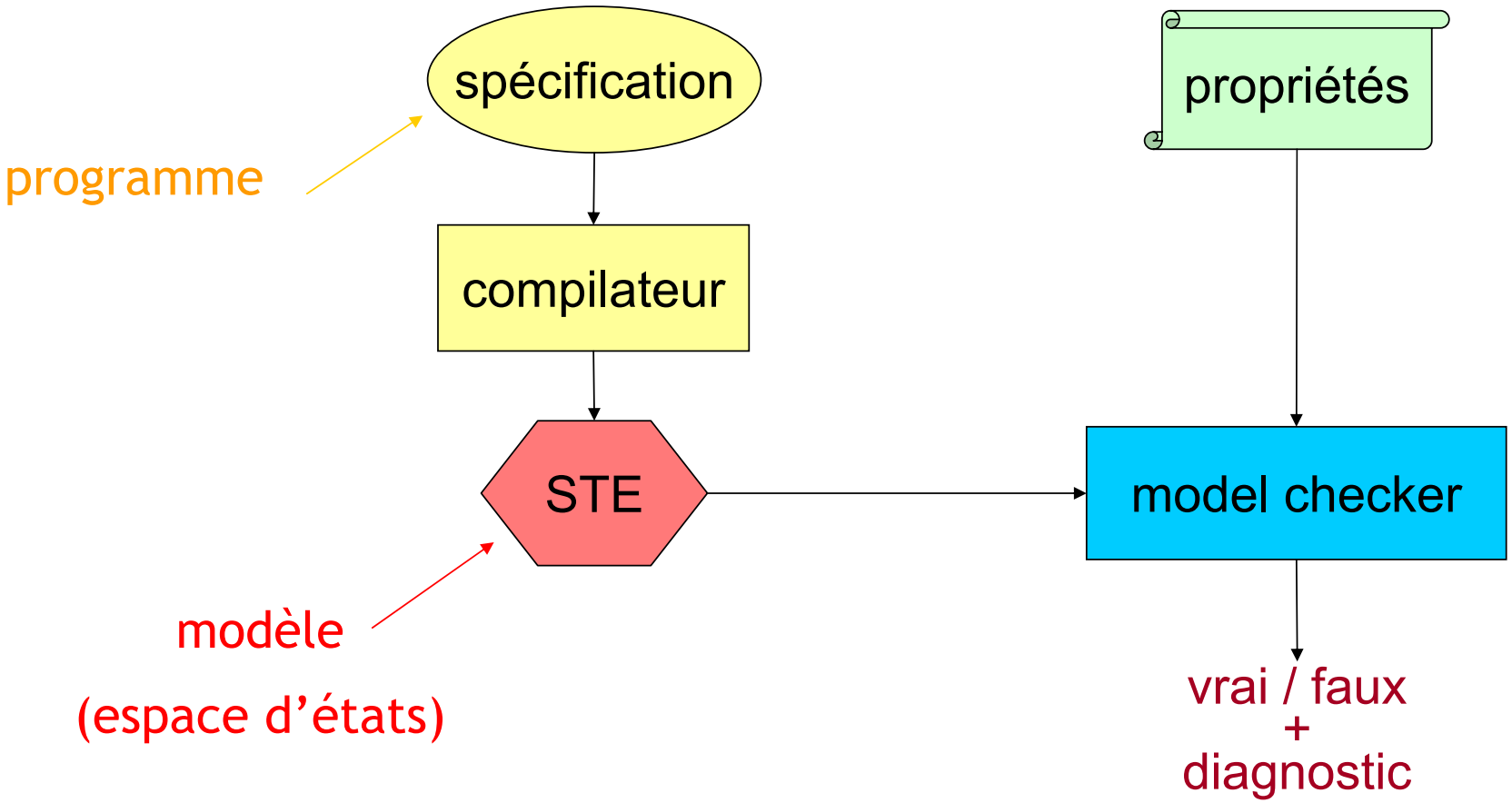
19 Juin 2002

Projet VASY
INRIA

Contexte du travail

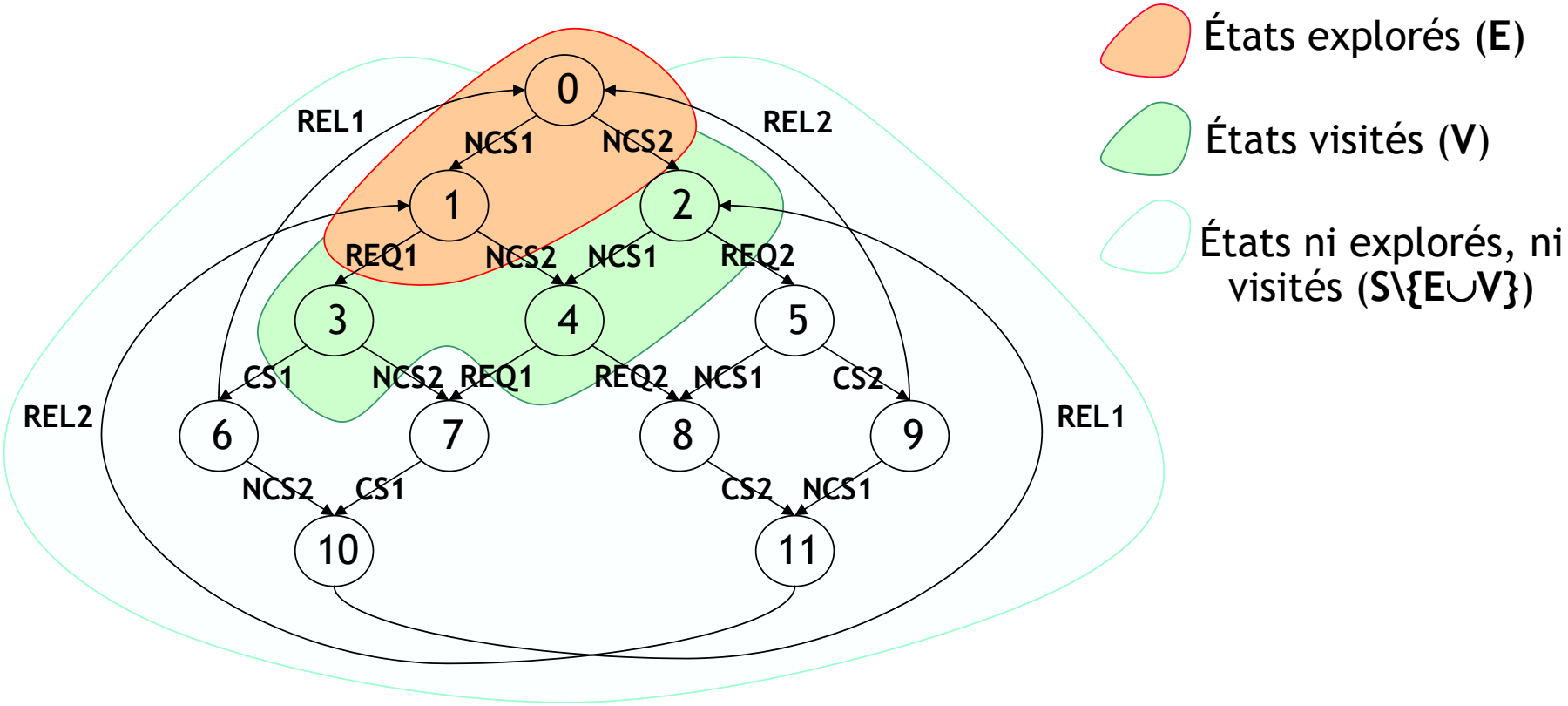
- Projet VASY (VAlidation de SYstèmes)
  - Méthodes formelles appliquées aux systèmes critiques
- CADP (Caesar/Aldebaran Development Package)
  - Boîte à outils pour la vérification de protocoles et de systèmes distribués développée depuis 1986

La vérification par modèles (model-checking)



Génération séquentielle d'espaces d'états

- Espace d'états (STE) : M= $<S,A,T,s_0>$
- Exemple du protocole d'exclusion mutuelle



Le problème de l'explosion d'états

- Croissance exponentielle du nombre d'états
  - nombre de processus parallèles
  - taille des domaines des variables

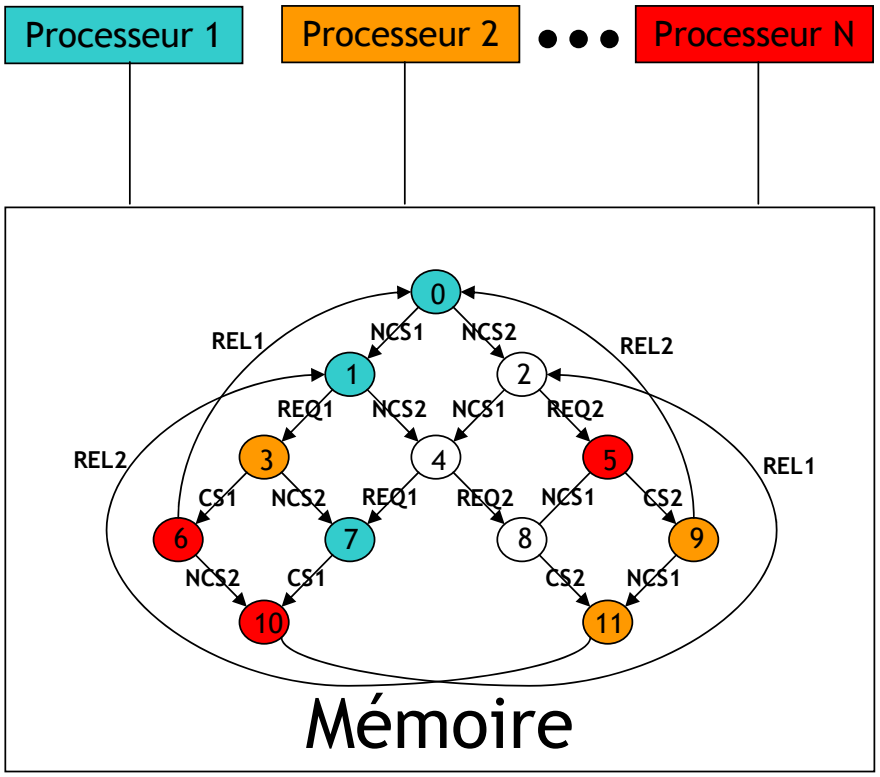
- Deux solutions complémentaires :
  - Éviter l'explosion
    - approche symbolique
    - réductions modulo des propriétés
    - abstractions
  - Pallier l'explosion
    - vérification à la volée
    - compression des états
    - parallélisation de la vérification

Objectifs et plan

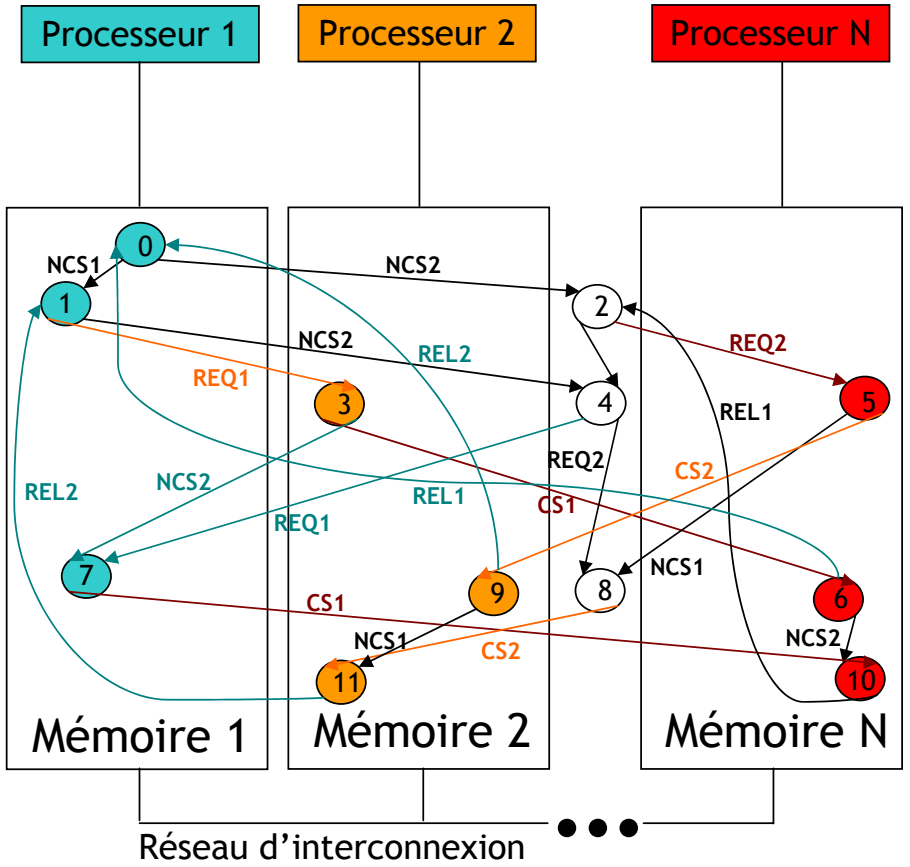
- Génération parallèle d'espaces d'états
  - État de l'art
- Algorithmes DISTRIBUTOR et COORDINATOR
  - Gestion distribuée des données dynamiques
- Spécification et vérification formelle
  - LOTOS et CADP
- Réalisation et expérimentation
  - Grappe de PC de l'équipe APACHE (ID/INRIA)

Génération parallèle d'espaces d'états

- Architecture parallèle support



Mémoire partagée [Allmaier-97]



Mémoire distribuée [Caselli-95]

Les composants de la génération parallèle

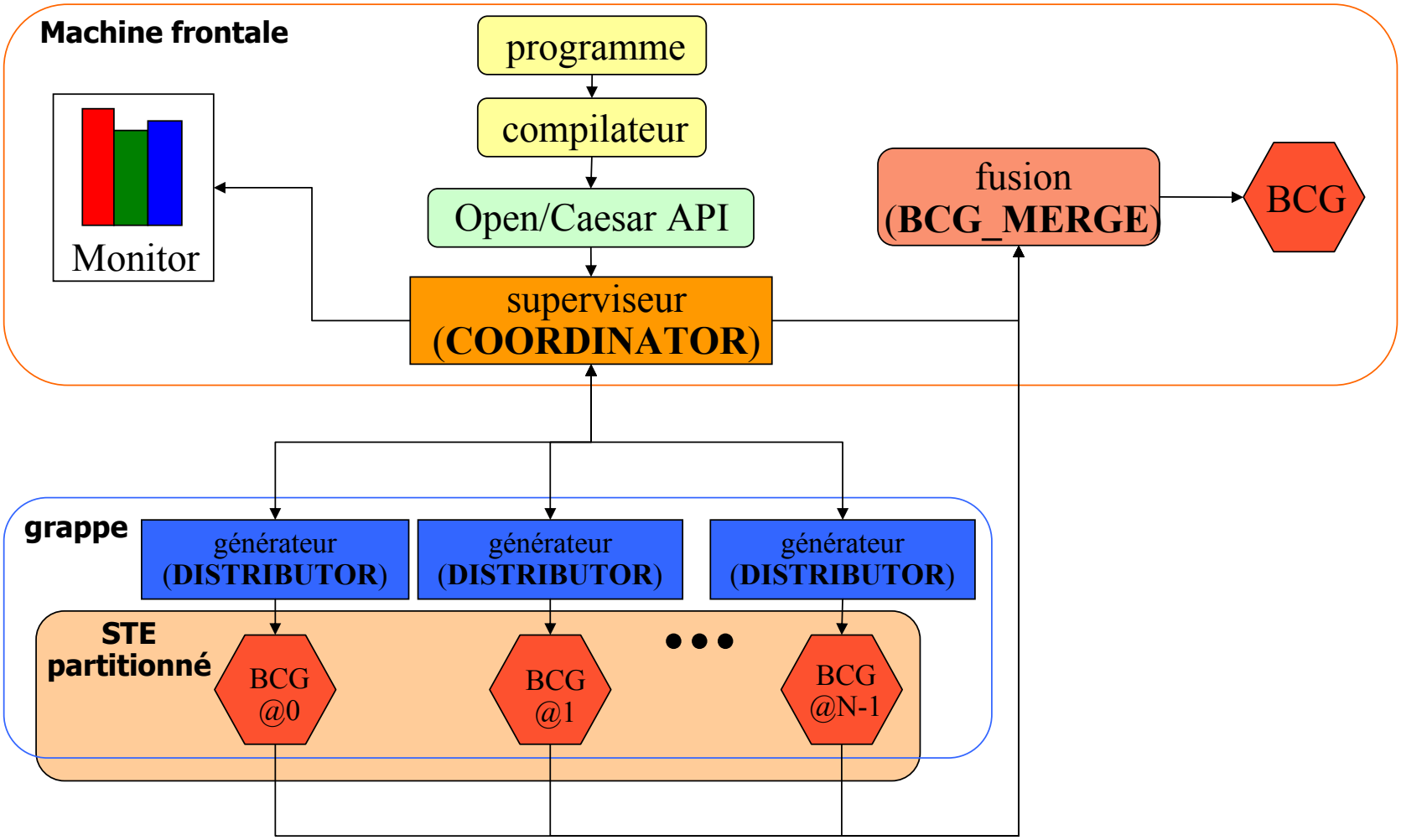
- Type de vérification parallèle [Inggs-00, Heyman-00]
  - énumérative (STE explicite), symbolique (BDD), probabiliste
- Langage d'entrée [Stern-Dill-97]
  - Multi-langages (Open/Caesar), LOTOS, Murphi, Promela, réseau de Pétri
- Format de description du modèle [Nicol-97]
  - STE (BCG), chaînes de markov, etc.
- Répartition des tâches [Ciardo-01, Allmaier-Horton-97]
  - hachage statique prédéfini, rééquilibrage dynamique

Les composants de la génération parallèle

- Stockage des états [Allmaier-Kreische-97, Haverkort-97]
  - table de hachage, pile, file, arbre de recherche équilibré, BDDs, etc.
- Type de communication [Ciardo-98, Lerda-Sisto-99]
  - Ethernet, Myrinet, etc., MPI, PVM, sockets TCP/IP ou UDP/IP
- Détection distribuée de la terminaison [Matocha-97, Mattern-87]
  - sites inactifs, plus de messages en transit, « four counter method »
- Performances globales [Knottenbelt-98]
  - accélération proche du linéaire, taille supérieure à 10^7 états

Algorithmes DISTRIBUTOR et COORDINATOR

- Schéma général de la génération distribuée



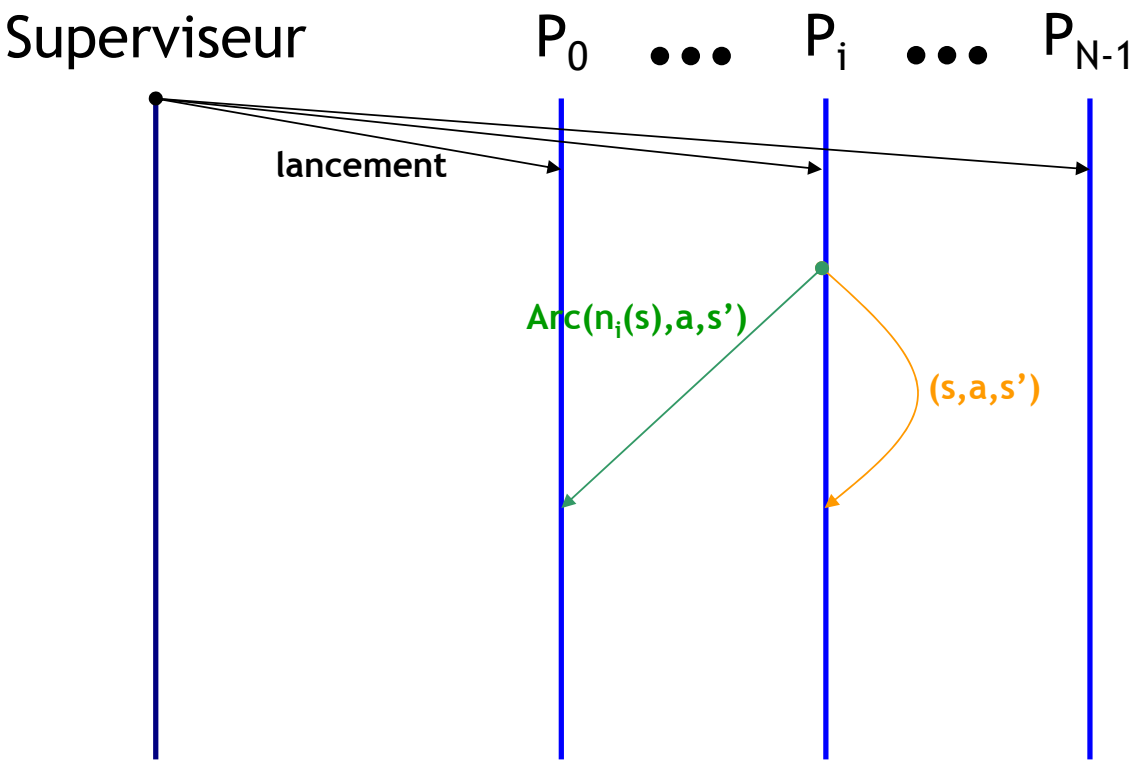
Cinq protocoles combinés

- DISTRIBUTOR
  - Protocole de génération parallèle
  - Protocole de détection distribuée de la terminaison
- DISTRIBUTOR + COORDINATOR
  - Protocole de gestion des types de données dynamiques
  - Protocole de détection de pannes franches ou d'arrêts utilisateur
  - Protocole de visualisation de l'avancement de la génération
- 5 protocoles entrelacés ➔ complexité algorithmique

Complexité des protocoles

- DISTRIBUTOR (Générateur)
  - 4 pages d'algorithme (20 macro états, 24 variables d'état)
- COORDINATOR (Superviseur)
  - 2 pages d'algorithme (4 macro états, 8 transitions, 9 variables d'état)
- Types de messages : Arc(n,l,s) (*génération*), Rec(k), Snd(k) et End (*terminaison*), Lab(a) (*données dynamiques*), Emg (*pannes ou arrêts utilisateur*), Stats(d), Trm, Init, Stop(d) et Visit(d) (*visualisation*)

Protocole de génération parallèle



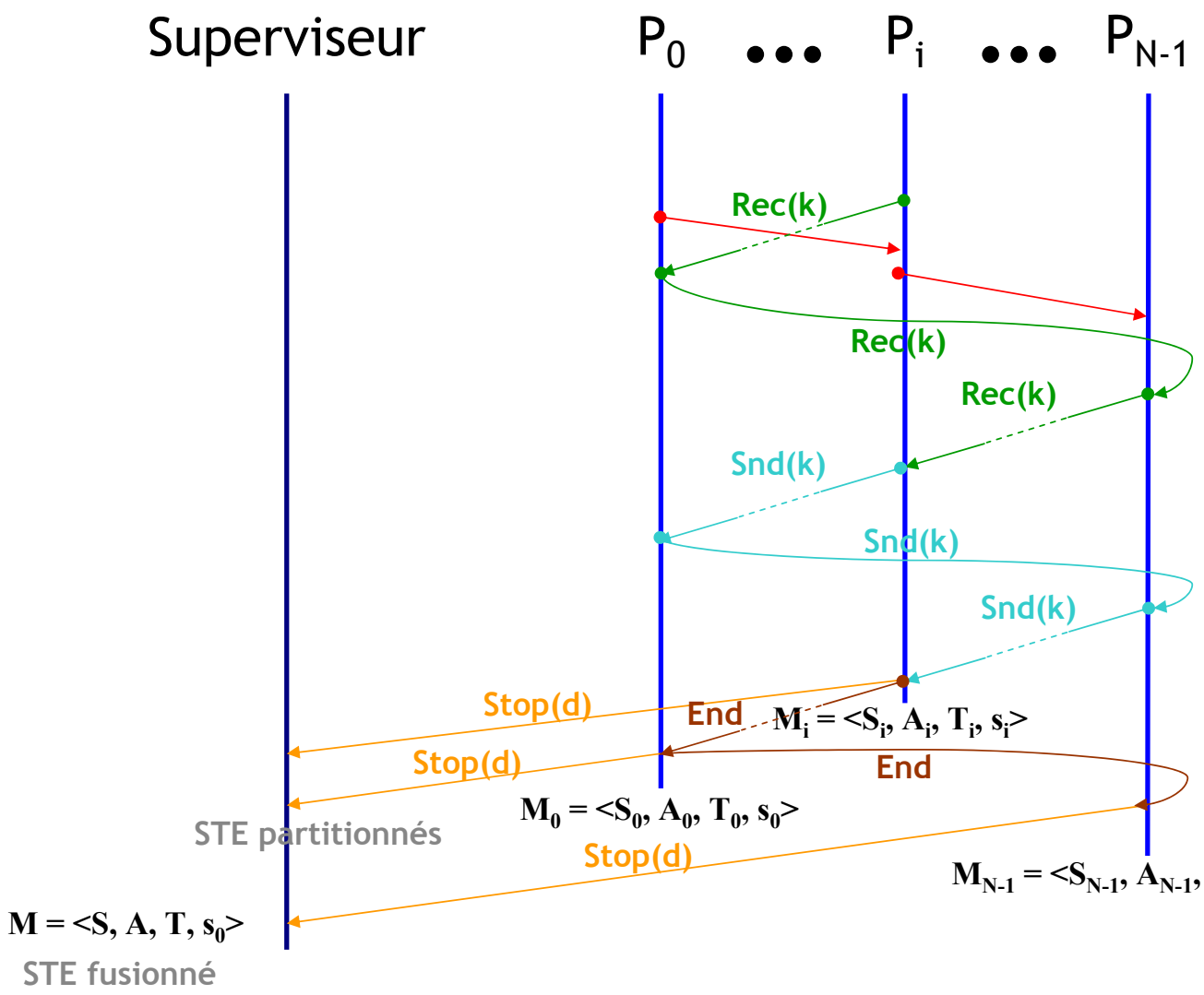
Graphe complet (N^2) :

$h(s_0) = P_i$

$(s,a,s') \in succ(s)$

- $h(s') = P_i$
- $h(s') \neq P_i$

Protocole de détection de la terminaison



Anneau virtuel (N+1) :

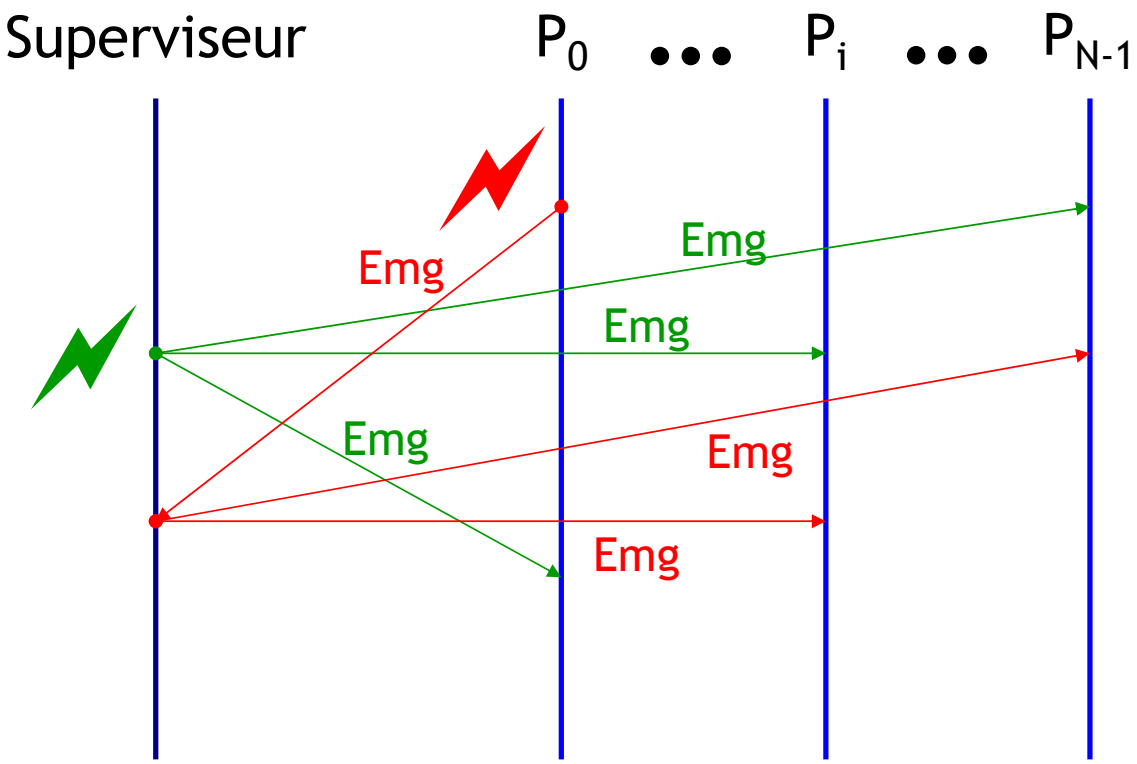
$h(s_0) = P_i$

1ère vague

messages « du futur »

2ème vague

Protocole de gestion des pannes



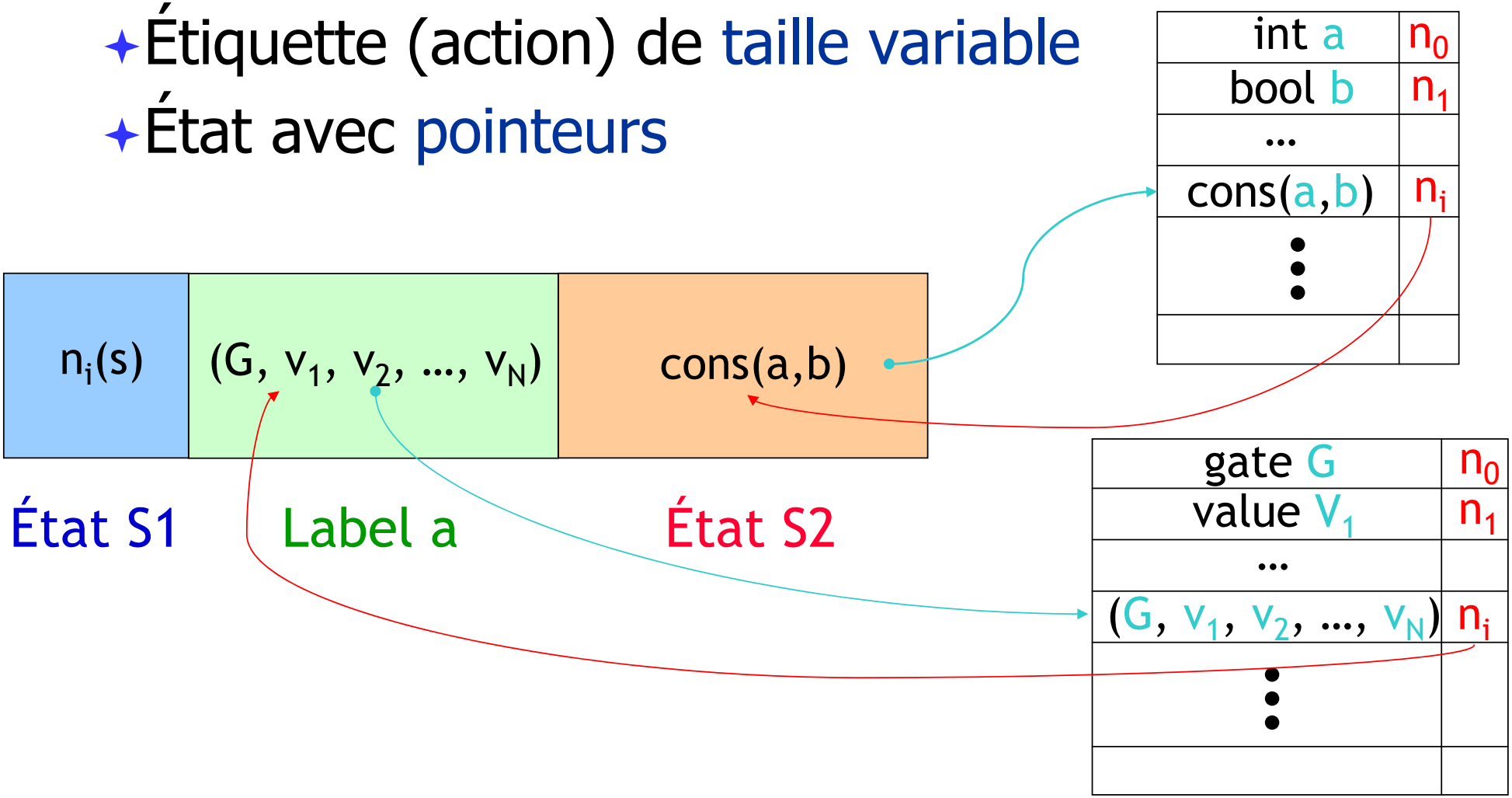
Étoile (N) :

Arrêt de l'utilisateur

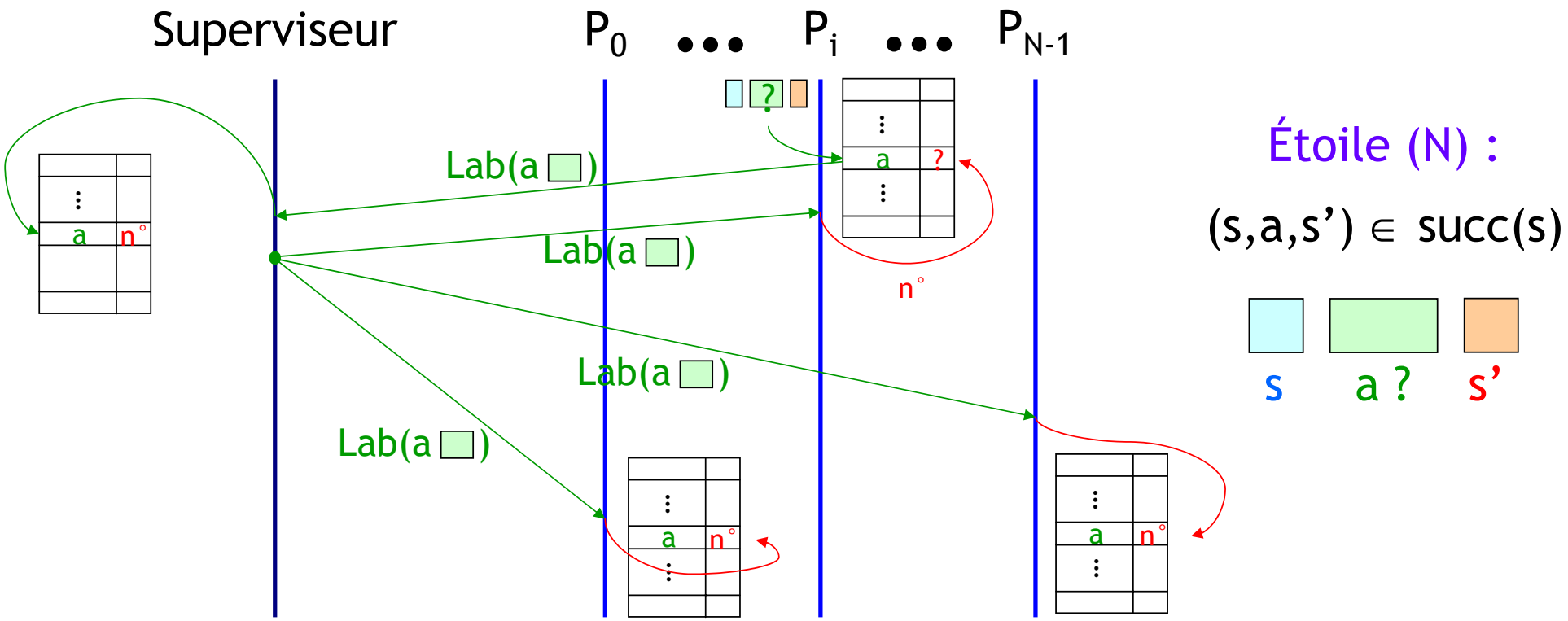
Panne franche

Problème de la cohérence des termes

- Deux types de données dynamiques
  - Étiquette (action) de taille variable
  - État avec pointeurs

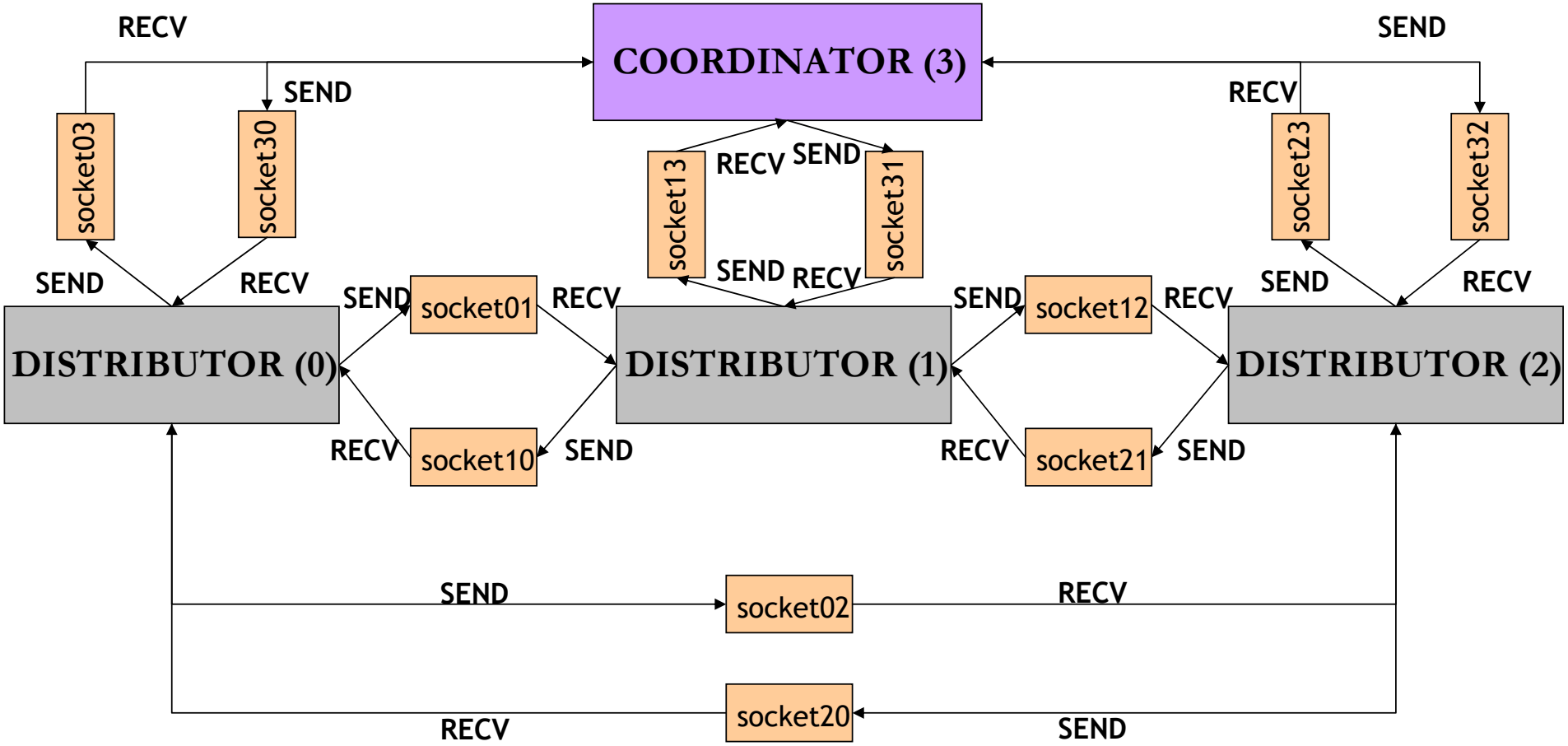


Protocole de cohérence des termes



Spécification formelle en LOTOS

- Architecture de la spécification :

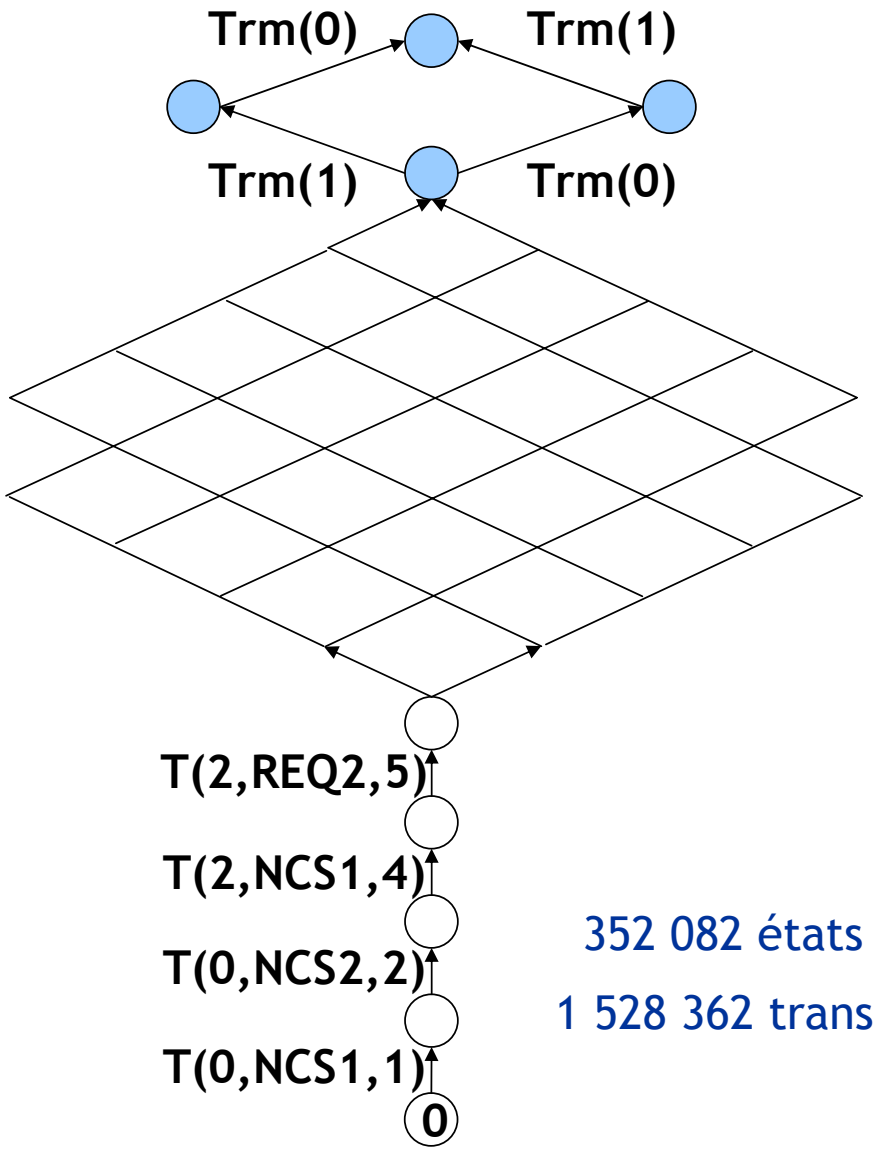


Deux variantes de la spécification

- Spécification 1 (S1) :
  - Sans processus superviseur (DISTRIBUTOR)
  - Protocole de génération parallèle et de terminaison distribuée
- Spécification 2 (S2) :
  - Avec processus superviseur (DISTRIBUTOR + COORDINATOR)
  - Les deux protocoles précédents + protocole de cohérence des étiquettes
- Paramètre d'entrée : STE du protocole d'exclusion mutuelle par sémaphore

Vérification avec CADP

- Logique temporelle : 5 propriétés vérifiées sur S_1
  - Sûreté :
    - Toutes séquences d'exécution de transitions dans le graphe d'états sont finies
    - Sur chaque séquence de transitions menant à un état de blocage, chacune des transitions du STE à générer, est imprimée
    - Chaque état de blocage est précédé par une séquence d'actions de terminaison, exactement une par processus dans le réseau
    - Aucune action n'est possible après que toutes les actions de terminaison aient été exécutées
  - Vivacité :
    - Un état de blocage est finalement toujours atteint
- Équivalence de S_1 et S_2 modulo la bisimulation de branchement ➔ $S_1 \approx S_2$

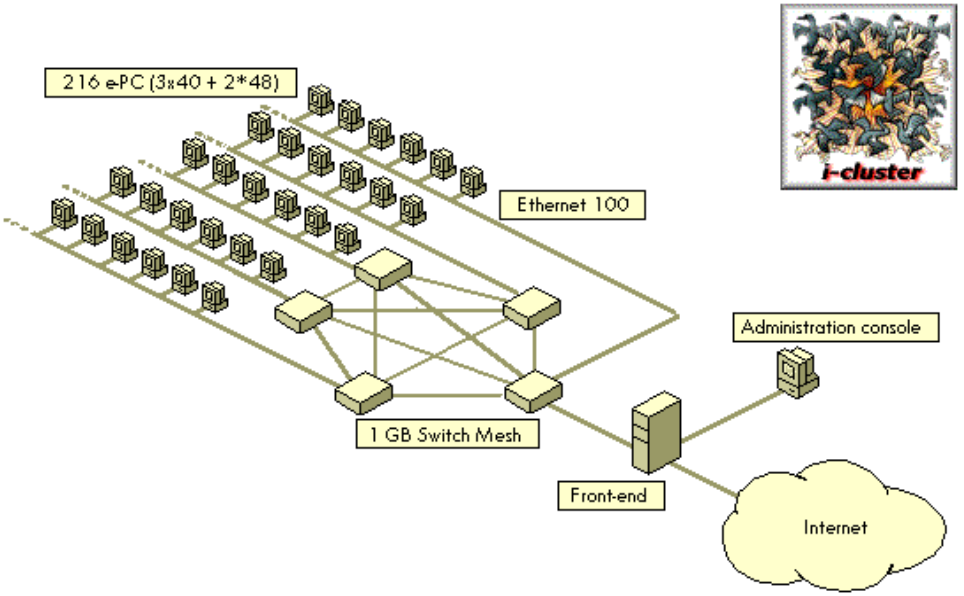


352 082 états

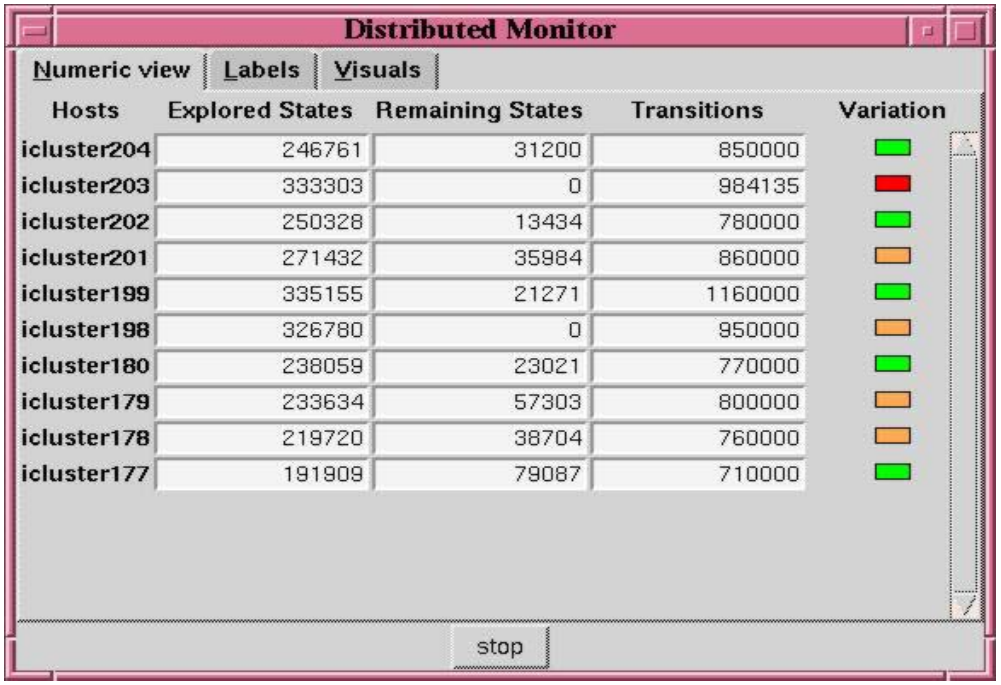
1 528 362 trans.

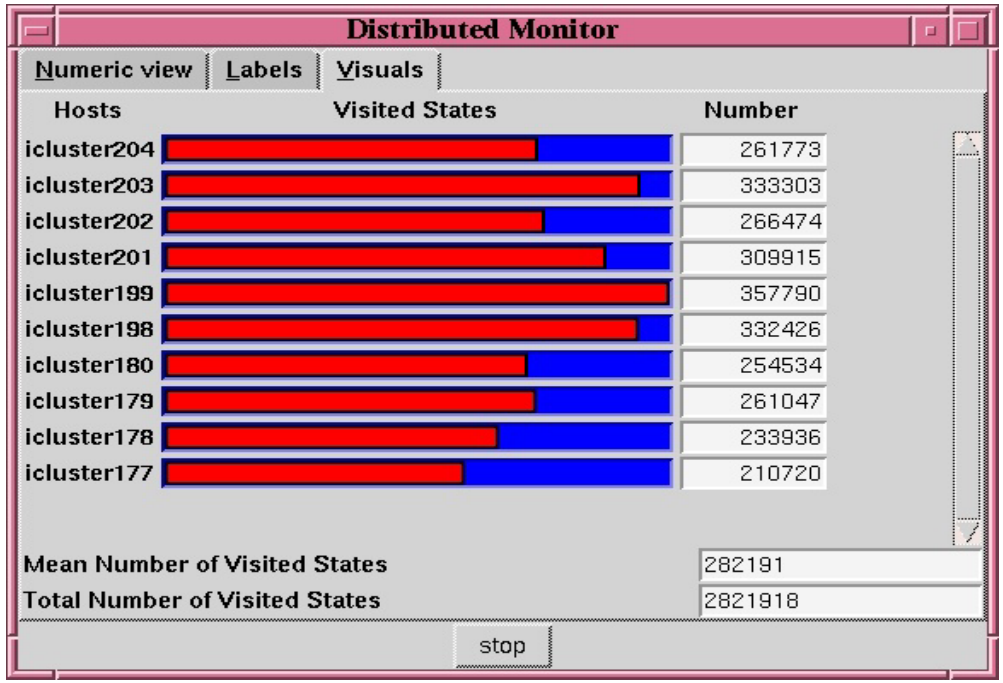
Réalisation et expérimentation

- Intégrations
  - reprise et mise au point d'un prototype existant (Smarandache-Curic, 6000 lignes de C) :
    - taille des labels fixée arbitrairement, bufferisation impropre des messages, ordonnancement non justifié des activités de calculs et de communication, etc.
  - nouveaux algorithmes pour DISTRIBUTOR et COORDINATOR
  - primitives de communication génériques (1000 lignes de C)
- Expérimentations sur la grappe de PC i-cluster

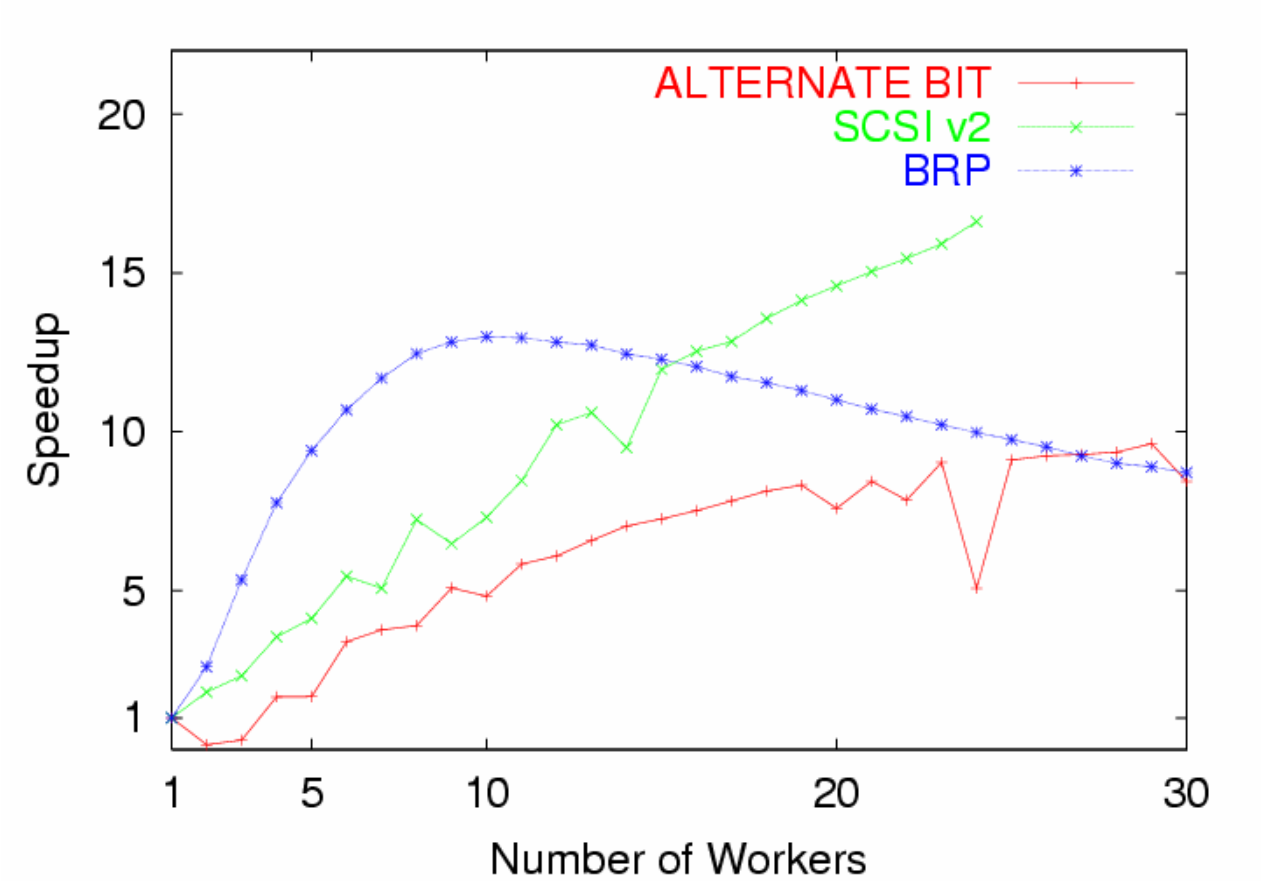


Visualisation de la progression du système





Accélération en temps de calcul



Bilan

- État de l'art exhaustif
  - 20 articles comparés selon 40 critères = 800 questions à répondre
- Approche générale
  - indépendants du langage de spécification
  - utilisant des architectures massivement parallèles répandues
- Problèmes nouveaux et utiles
  - gestion de la terminaison, des types dynamiques, des étiquettes de taille variable, dans la génération répartie de STE
- Protocole de génération distribuée
  - mono-thread avec priorité entre les activités
  - anneau virtuel et étoile
  - étude par évaluation de la complexité (nombre de messages)
  - premières expérimentations de vérification par model-checking

Perspectives

- Implémentation
  - Finir l'intégration du protocole de cohérence des termes
  - Séparation sur deux threads des calculs et des communications
- Expérimentation
  - Nouvelles versions de la table d'états et du format BCG (>16M états)
  - Expériences et études de performances avec la grappe stable
- Preuve formelle de correction
  - Vérification indépendante du STE à générer
- Parallélisation de la vérification énumérative
  - Bisimulations, logique temporelle, évaluation de performances
    - Δ STE partitionnés produits par DISTRIBUTOR
    - Δ à la volée ou séquentielle des graphes partitionnés