

Accélération abstraite pour l'amélioration de la précision en Analyse des Relations Linéaires

Séminaire LIP Laure Gonnord



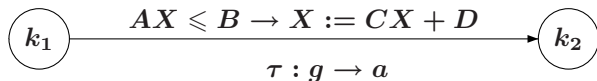
Contexte

Vérification de propriétés de programmes **à nombre d'états infini**.

- Propriétés de **sûreté**.
- Cadre de l'Analyse des Relations linéaires : surapproximations des ensembles de valuation par des **polyèdres convexes** , convergence par l'opérateur d'**élargissement**.

Modèle - Notations

Vérification de propriétés **numériques** sur des GFC avec conditions et actions **affines** :

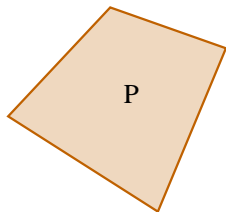


ou encore « automates interprétés », automates « à compteurs ».

- A, C matrices, B, D vecteurs.
- Propriétés numériques : inéquations linéaires.

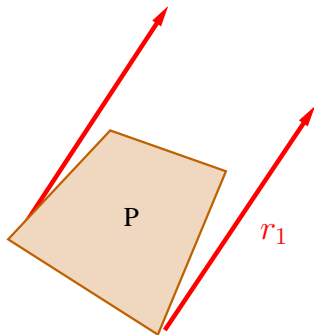
Une opération « supplémentaire »

Ajout de rayons $P \nearrow R = \{X + \sum_{r_j \in R} \mu_j r_j \mid X \in P, \mu_j \in \mathbb{Q}^+\}$



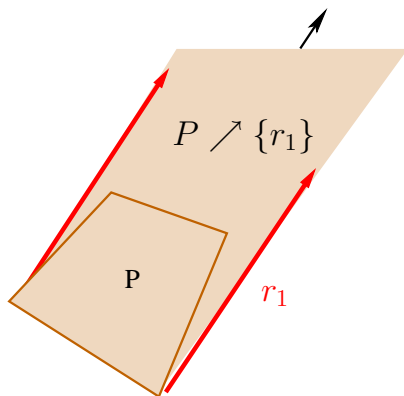
Une opération « supplémentaire »

Ajout de rayons $P \nearrow R = \{X + \sum_{r_j \in R} \mu_j r_j \mid X \in P, \mu_j \in \mathbb{Q}^+\}$



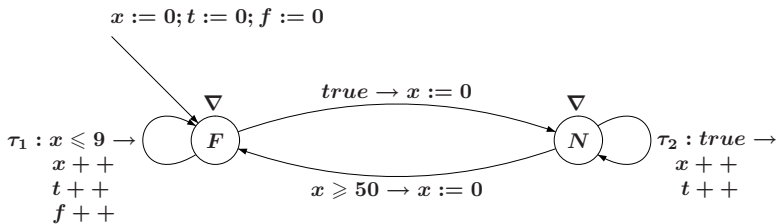
Une opération « supplémentaire »

Ajout de rayons $P \nearrow R = \{X + \sum_{r_j \in R} \mu_j r_j \mid X \in P, \mu_j \in \mathbb{Q}^+\}$



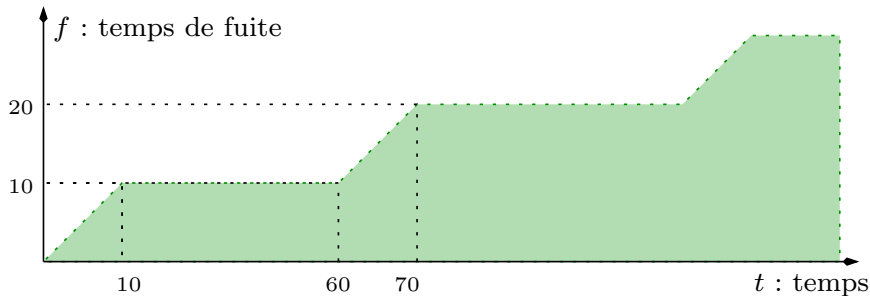
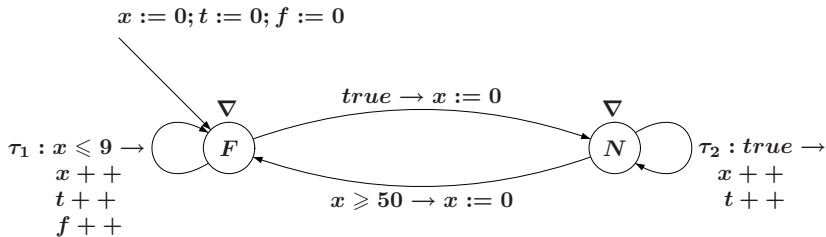
- 1 Motivations
 - Amélioration de la précision
 - Les méthodes d'accélération
 - Accélération abstraite
- 2 Résultats
- 3 Implantation et résultats expérimentaux

L'exemple de la chaudière - 1

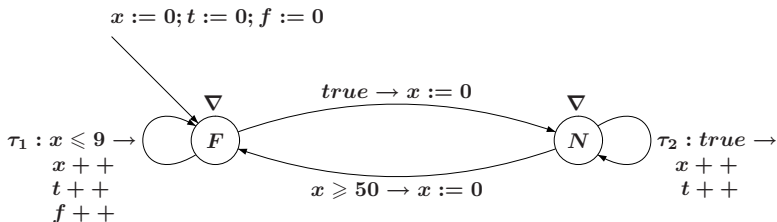


- f le temps de fuite global.
- t le temps global.
- x variable locale.

La chaudière 2 - Comportement réel



La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple

 f : fuite

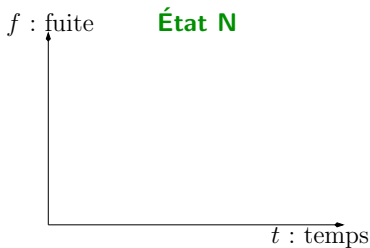
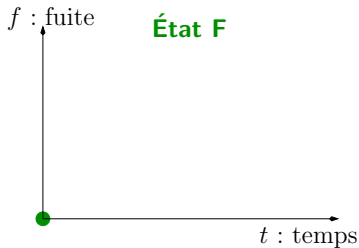
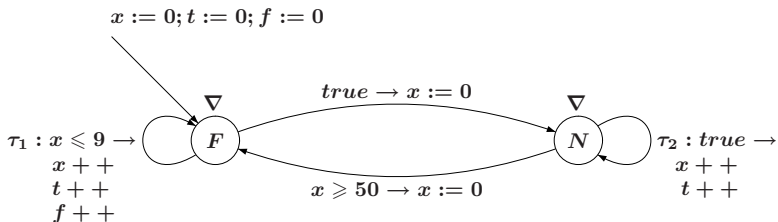
État F

 t : temps f : fuite

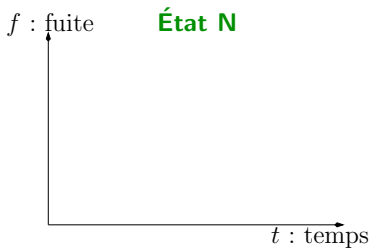
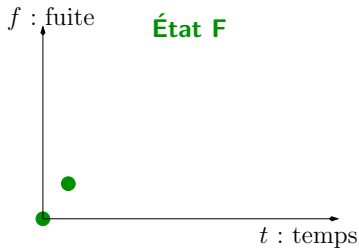
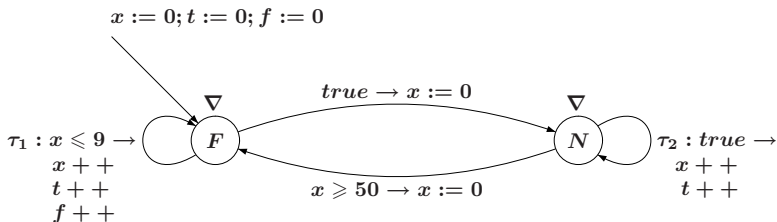
État N

 t : temps

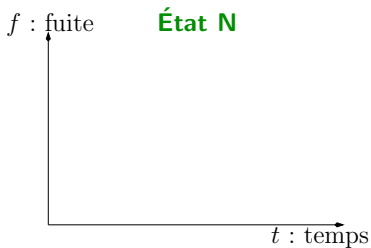
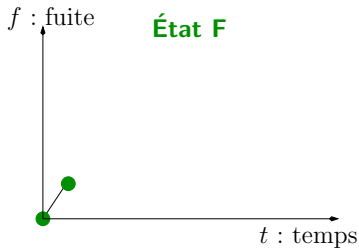
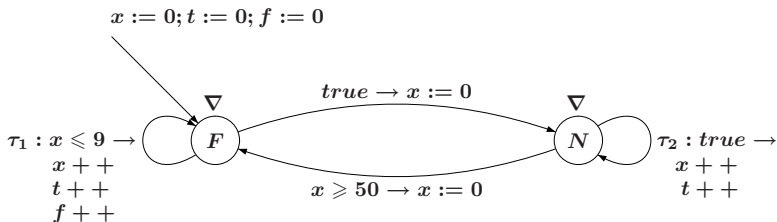
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



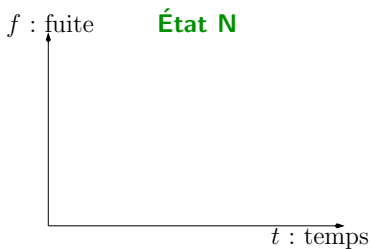
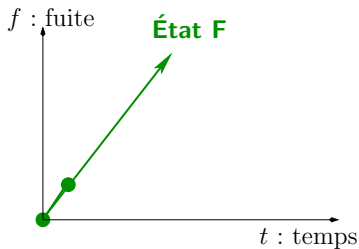
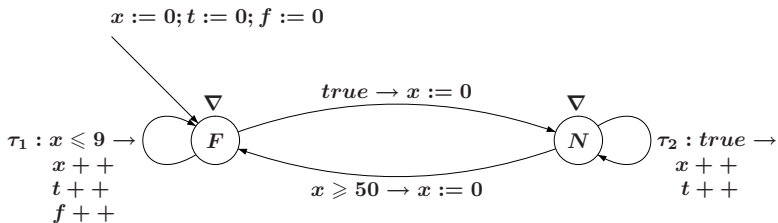
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



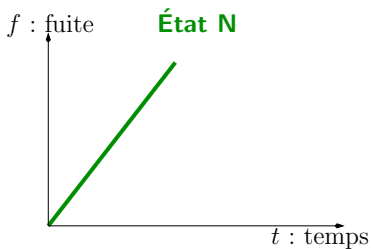
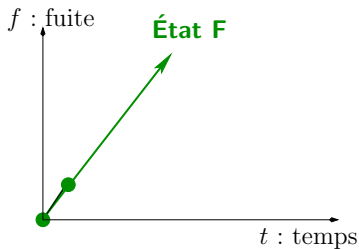
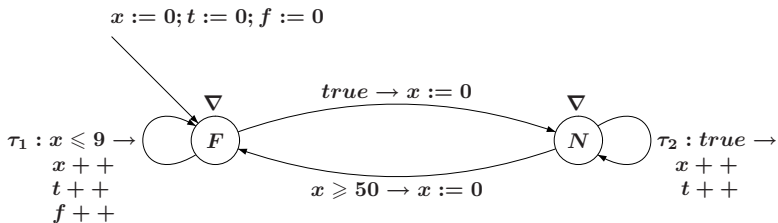
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



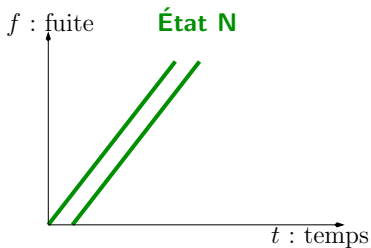
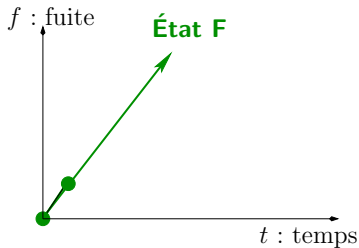
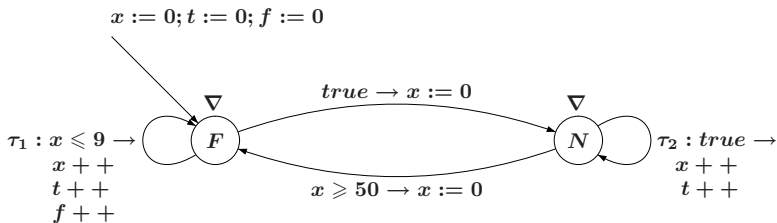
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



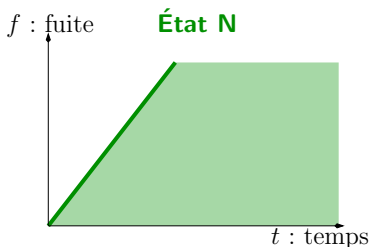
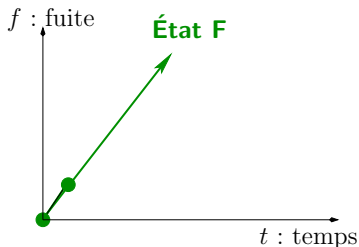
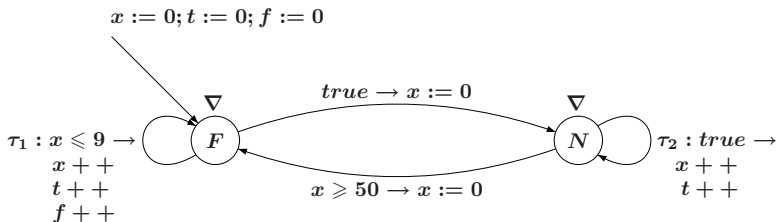
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



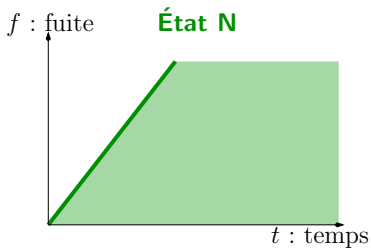
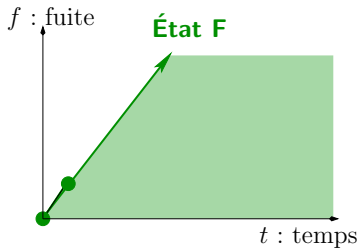
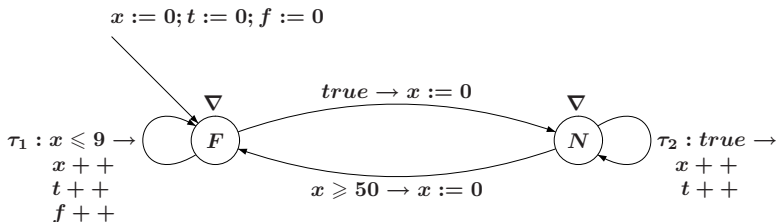
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



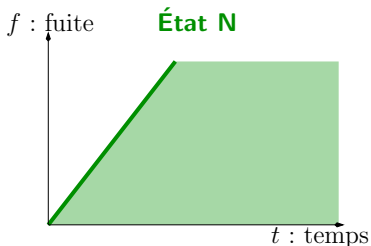
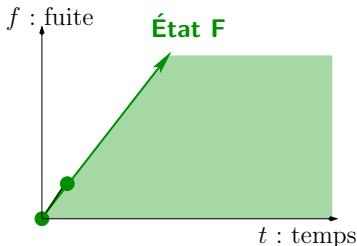
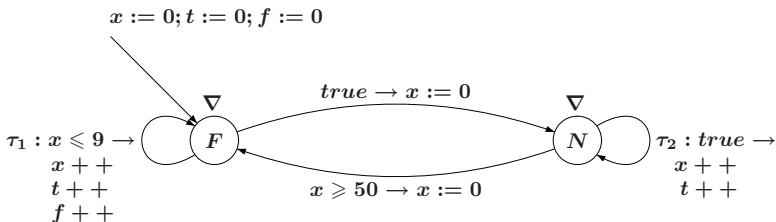
La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple



La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple

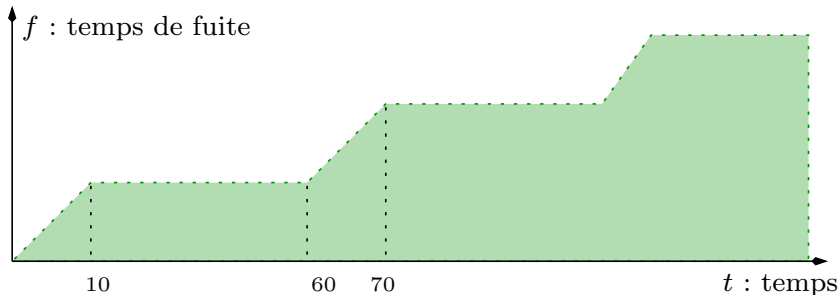
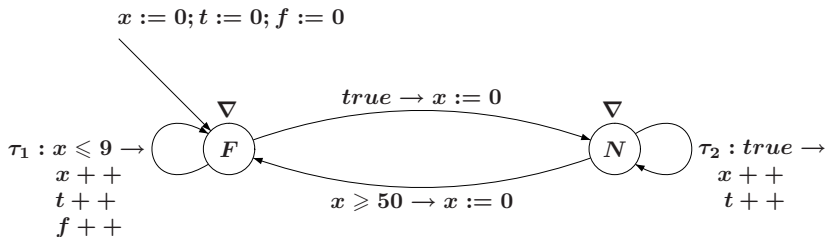


La chaudière 3 - Analyse des Relations Linéaires simple

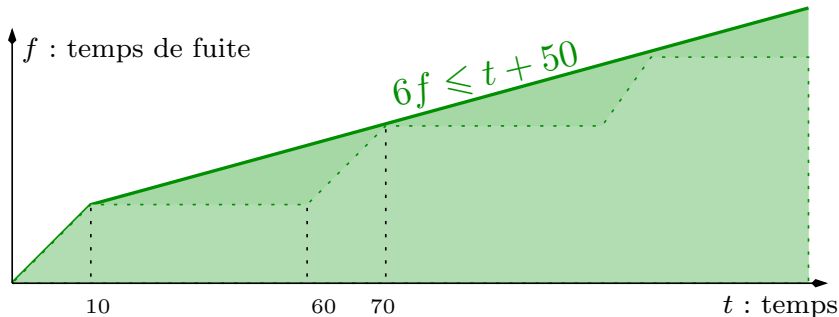
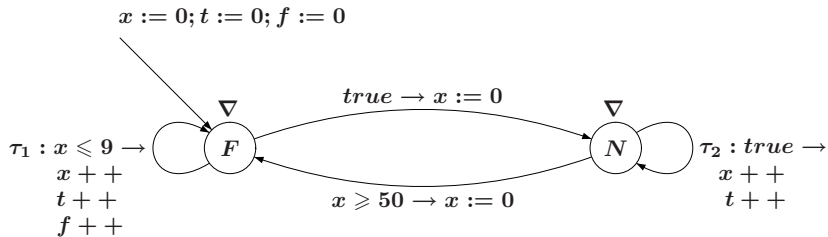


- Convergence, approximation supérieure, mais manque de précision.

La chaudière - Invariant voulu



La chaudière - Invariant voulu



Amélioration de la précision

Sources d'**approximation** : union convexe et élargissement.

Amélioration de la précision

Sources d'**approximation** : union convexe et élargissement.

► Quelques méthodes existantes :

- **Séquence descendante.**
- **Retarder** l'application de l'opérateur d'élargissement.
Inconvénient : le coût.
- **Améliorer** l'élargissement [Bagnara&Hill&Zafanella].
Inconvénient : pas de résultat absolu sur la précision globale (et perte de performance).
- **Alterner** élargissement et rétrécissement [Gopan&Reps : CAV 2006]. Peut être combinée avec notre méthode.

Amélioration de la précision

Sources d'**approximation** : union convexe et élargissement.

► Quelques méthodes existantes :

- **Séquence descendante.**

- **Retarder** l'application de l'opérateur d'élargissement.
Inconvénient : le coût.

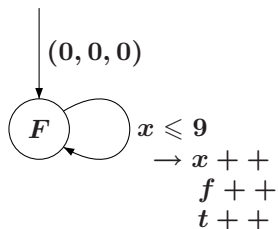
- **Améliorer** l'élargissement [Bagnara&Hill&Zafanella].
Inconvénient : pas de résultat absolu sur la précision globale (et perte de performance).

- **Alterner** élargissement et rétrécissement [Gopan&Reps : CAV 2006]. Peut être combinée avec notre méthode.

► Seule la première donne l'invariant cherché (retard = 60 itérations).

Exemple de la chaudière (3)

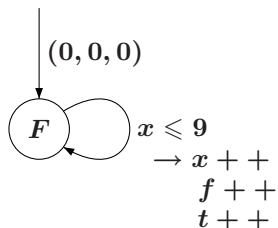
La boucle est « accélérable » :



► Effet **exact** : $\exists i \in \mathbb{N}, x = f = t = i, 0 \leq i \leq 10$

Exemple de la chaudière (3)

La boucle est « accélérable » :



- ▶ Effet **exact** : $\exists i \in \mathbb{N}, x = f = t = i, 0 \leq i \leq 10$
- ▶ **Méthodes d'accélération.**

Les méthodes d'accélération

Accélération

[Boigelot&Wolper, Common&Jurski,
Finkel&Sutre&Leroux&Bardin&Schnoebelen]

- On calcule l'**effet exact** des boucles sur des ensembles d'**entiers**.
- Codage sous forme d'automates représentant des formules de Presburger ($\langle \mathbb{N}, \leq, +, \exists \rangle$).

Les méthodes d'accélération

Accélération

[Boigelot&Wolper, Common&Jurski,
Finkel&Sutre&Leroux&Bardin&Schnoebelen]

- On calcule l'**effet exact** des boucles sur des ensembles d'**entiers**.
 - Codage sous forme d'automates représentant des formules de Presburger ($\langle \mathbb{N}, \leq, +, \exists \rangle$).
- **Inconvénients** : classes restreintes de programmes, haute complexité.

Accélération et Analyse des Relations Linéaires

Vers une accélération abstraite

- [Su/Wagner] **Résolution exacte du système abstrait** sur le treillis des intervalles. Pas d'élargissement.
- PIPS [Irigoin et al.] **Surapproximation** de la fermeture transitive de la *relation* de transition.

Accélération et Analyse des Relations Linéaires

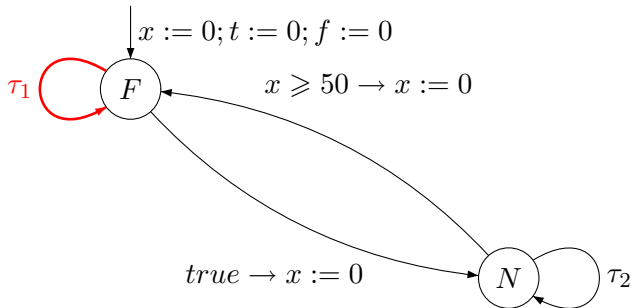
Vers une accélération abstraite

- [Su/Wagner] **Résolution exacte du système abstrait** sur le treillis des intervalles. Pas d'élargissement.
- PIPS [Irigoin et al.] **Surapproximation** de la fermeture transitive de la *relation* de transition.

Objectif de cette thèse : accélération « abstraite » **à faible coût** pour les polyèdres convexes, combinée avec l'élargissement.

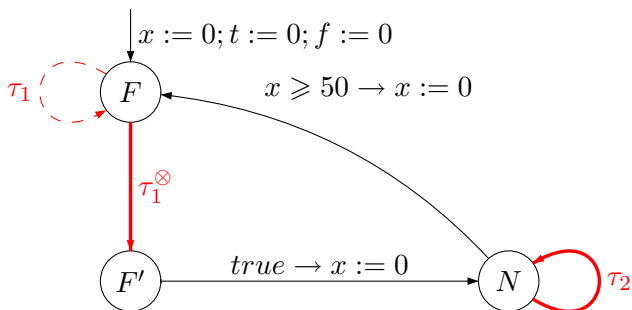
Accélération et Analyse des Relations Linéaires

On veut remplacer les boucles ($\tau_i : g_i \rightarrow a_i$)



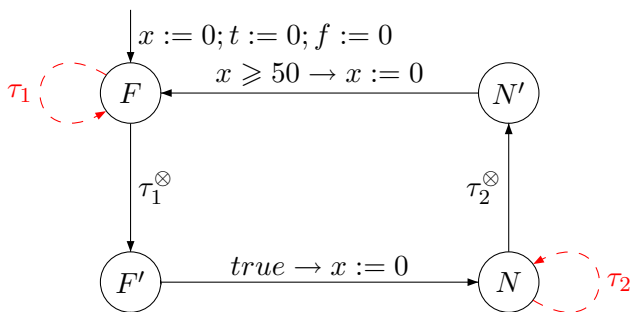
Accélération et Analyse des Relations Linéaires

On veut remplacer les boucles ($\tau_i : g_i \rightarrow a_i$)



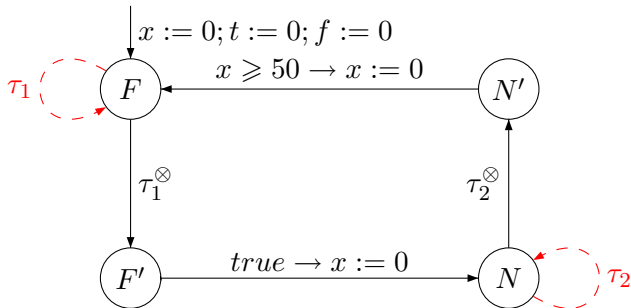
Accélération et Analyse des Relations Linéaires

On veut remplacer les boucles ($\tau_i : g_i \rightarrow a_i$)



Accélération et Analyse des Relations Linéaires

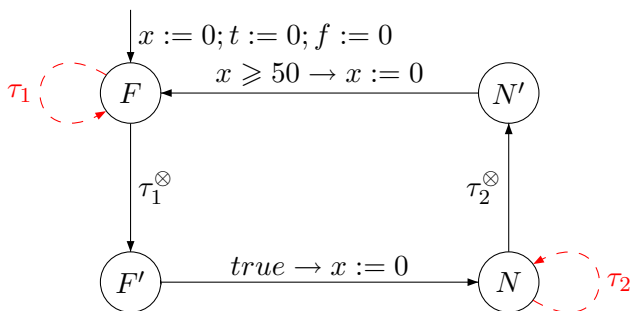
On veut remplacer les boucles ($\tau_i : g_i \rightarrow a_i$)



► τ_i^\otimes résume l'effet d'une application de τ_i un **nombre quelconque de fois**

Accélération et Analyse des Relations Linéaires

On veut remplacer les boucles ($\tau_i : g_i \rightarrow a_i$)



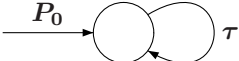
► τ_i^{\otimes} résume l'effet d'une application de τ_i un **nombre quelconque de fois**

► Boucle englobante : **accélérée** ou **élargie**.

- 1 Motivations
- 2 Résultats
 - Unique boucle simple
 - Plusieurs boucles
- 3 Implantation et résultats expérimentaux

Boucles simples

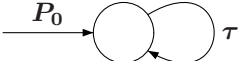
On veut **caractériser** $\tau^*(P_0) = \bigcup_{i \in \mathbb{N}} \tau^i(P_0)$, avec :

$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } CX + D \text{ sinon } X$ 

► résultats d'accélération si $\exists p, C^{2p} = C^p$

Boucles simples

On veut **caractériser** $\tau^*(P_0) = \bigcup_{i \in \mathbb{N}} \tau^i(P_0)$, avec :

$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } CX + D \text{ sinon } X$ 

► résultats d'accélération si $\exists p, C^{2p} = C^p$


Translations : $C = \text{Id}$

$$\tau^*(P_0) = \{X \mid \exists i \in \mathbb{N}, \exists X_0 \in P_0, \\ AX_0 \leq B, A(X - D) \leq B, X = X_0 + iD\} \cup P_0$$

Ensemble non convexe + arithmétique

Boucles simples

On veut **caractériser** $\tau^*(P_0) = \bigcup_{i \in \mathbb{N}} \tau^i(P_0)$, avec :

$\tau(X) =$ si $AX \leq B$ alors $CX + D$ sinon X 

► résultats d'accélération si $\exists p, C^{2p} = C^p$

Translations : $C = \text{Id}$

$$\tau^*(P_0) = \{X \mid \exists i \in \mathbb{N}, \exists X_0 \in P_0, \\ AX_0 \leq B, A(X - D) \leq B, X = X_0 + iD\} \cup P_0$$

Ensemble non convexe + arithmétique

Accélération dense (vs discrète)

$$\tau^{\otimes}(P_0) = \{X \mid \exists i \in \mathbb{Q}^+, \exists X_0 \in P_0, \\ AX_0 \leq B, A(X - D) \leq B, X = X_0 + iD\} \sqcup P_0$$

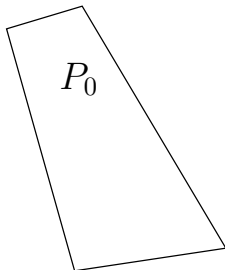
Polyèdre convexe

Translation simple, unique boucle (2)

$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } X + D \text{ sinon } X$$

Algorithme : ajout de rayon !

$$\tau^{\otimes}(P_0) = ((P_0 \cap (AX \leq B)) \nearrow \{D\}) \cap (A(X - D) \leq B) \sqcup P_0$$

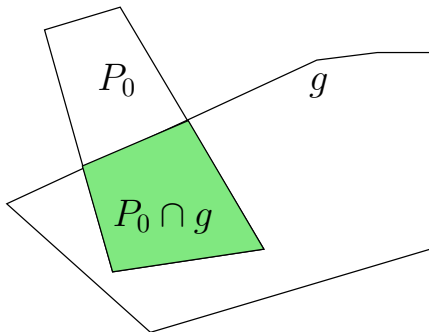


Translation simple, unique boucle (2)

$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } X + D \text{ sinon } X$$

Algorithme : ajout de rayon !

$$\tau^{\otimes}(P_0) = ((P_0 \cap (AX \leq B)) \nearrow \{D\}) \cap (A(X - D) \leq B) \sqcup P_0$$

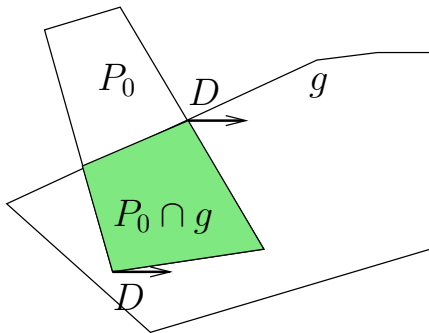


Translation simple, unique boucle (2)

$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } X + D \text{ sinon } X$$

Algorithme : ajout de rayon !

$$\tau^{\otimes}(P_0) = ((P_0 \cap (AX \leq B)) \nearrow \{D\}) \cap (A(X - D) \leq B) \sqcup P_0$$

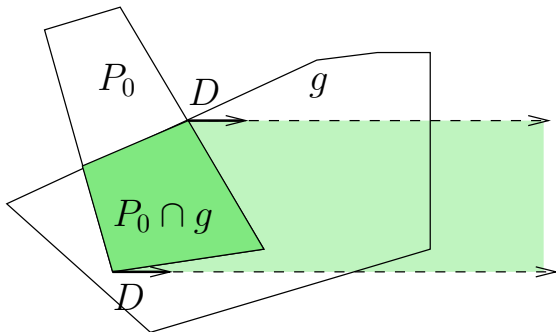


Translation simple, unique boucle (2)

$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } X + D \text{ sinon } X$$

Algorithme : ajout de rayon !

$$\tau^{\otimes}(P_0) = ((P_0 \cap (AX \leq B)) \nearrow \{D\}) \cap (A(X - D) \leq B) \sqcup P_0$$

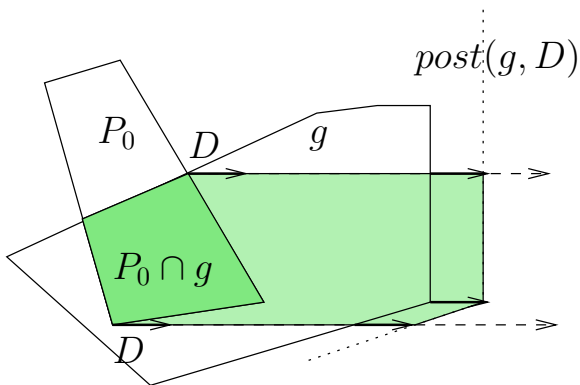


Translation simple, unique boucle (2)

$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } X + D \text{ sinon } X$$

Algorithme : ajout de rayon !

$$\tau^{\otimes}(P_0) = ((P_0 \cap (AX \leq B)) \nearrow \{D\}) \cap (A(X - D) \leq B) \sqcup P_0$$

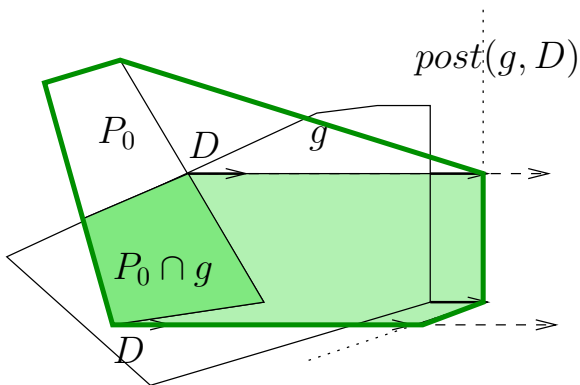


Translation simple, unique boucle (2)

$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } X + D \text{ sinon } X$$

Algorithme : ajout de rayon !

$$\tau^{\otimes}(P_0) = ((P_0 \cap (AX \leq B)) \nearrow \{D\}) \cap (A(X - D) \leq B) \sqcup P_0$$



Unique boucle, remarques

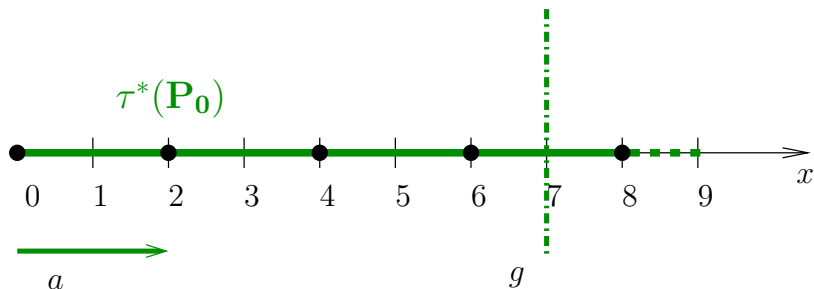
Que perd-on ?

$$\tau = \begin{cases} g = (x \leq 7) \\ a = (x := x + 2) \end{cases}$$

$$P_0 = \{x = 0\}$$

$$\tau^*(P_0) = \{0, 2, 4, 6, 8\}$$

$$\begin{aligned} \tau^\otimes(P_0) &= P_0 \nearrow (1) \cap (x - 2 \leq 7) \\ &= \{0 \leq x \leq 9\} \end{aligned}$$



Une classe de transition traitée

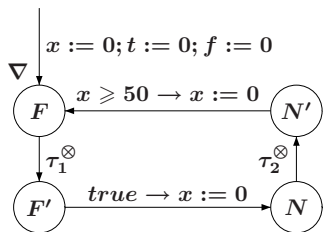
$$\tau(X) = \text{si } AX \leq B \text{ alors } CX + D \text{ sinon } X$$

Proposition Si il existe p tel que $C^{2p} = C^p$, alors on sait calculer une sur-approximation convexe de $\tau^*(P_0)$.

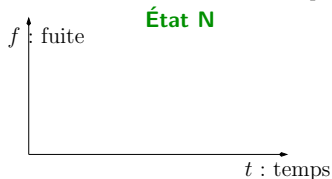
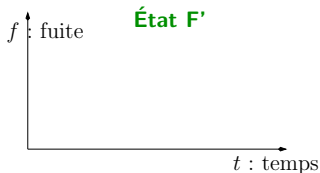
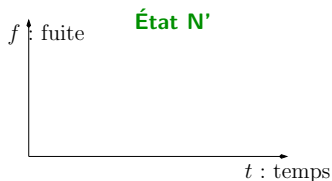
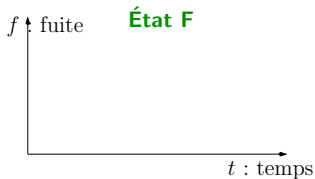
Remarques

- Changement de base, puis ajout de rayon.
- En pratique : $p \leq 3$.

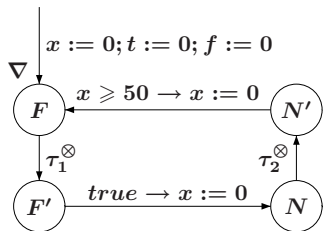
Ex. : application à la chaudière



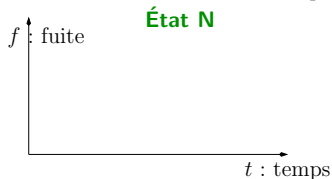
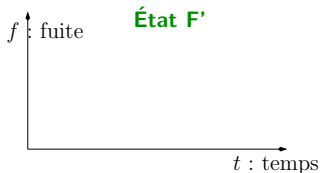
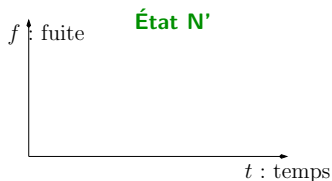
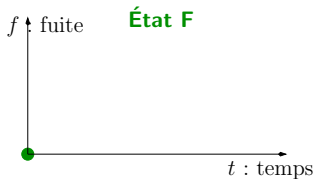
- τ_1^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



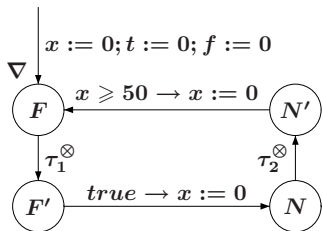
Ex. : application à la chaudière



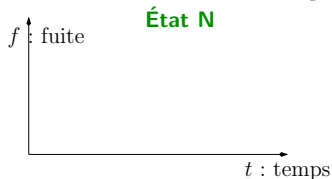
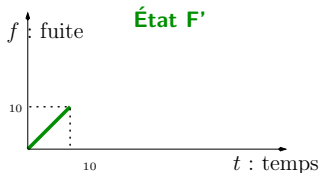
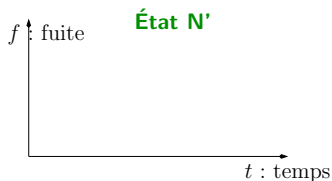
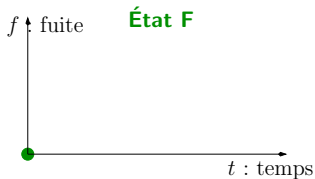
- τ_1^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



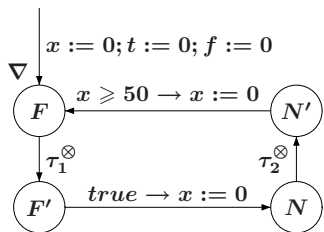
Ex. : application à la chaudière



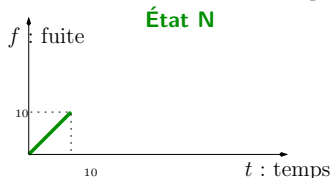
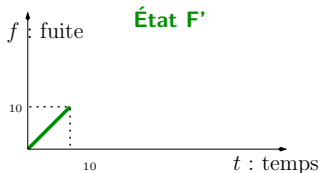
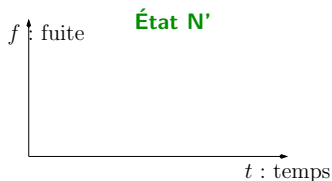
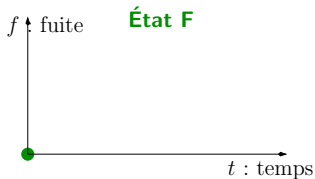
- τ_1^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



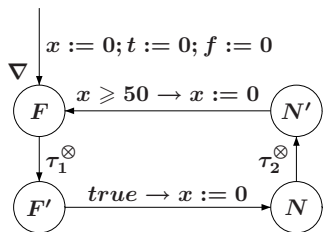
Ex. : application à la chaudière



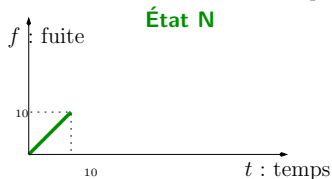
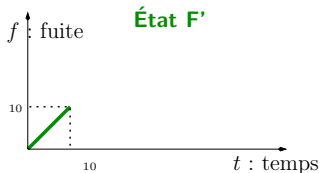
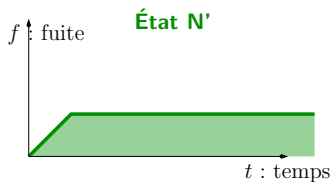
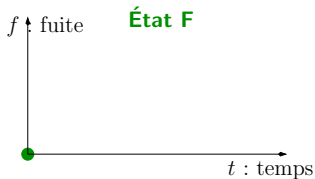
- τ_1^\otimes = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^\otimes = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



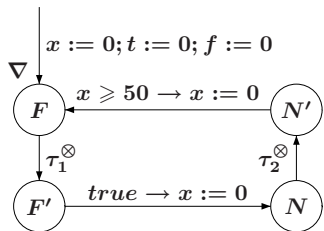
Ex. : application à la chaudière



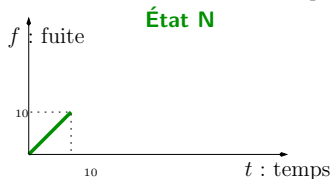
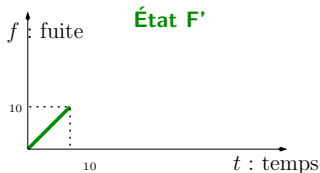
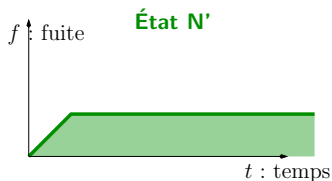
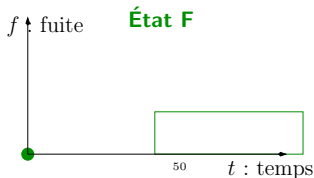
- τ_1^\otimes = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^\otimes = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



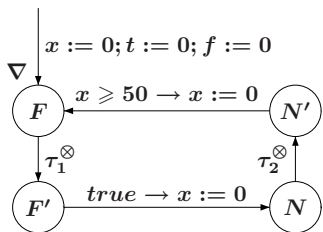
Ex. : application à la chaudière



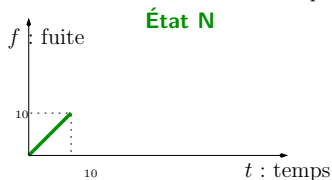
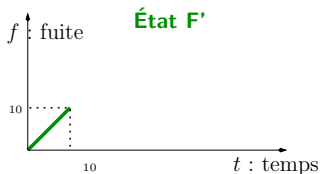
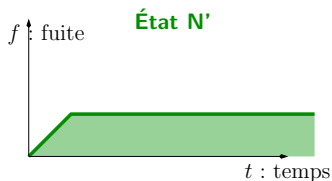
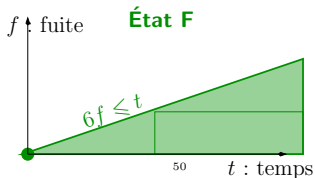
- τ_1^\otimes = "ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ "
- τ_2^\otimes = "ajoute le rayon (1, 0, 1)"



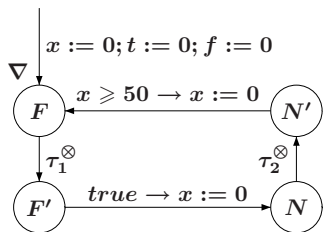
Ex. : application à la chaudière



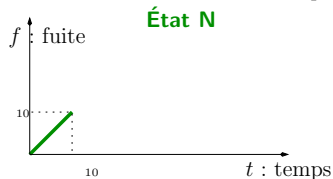
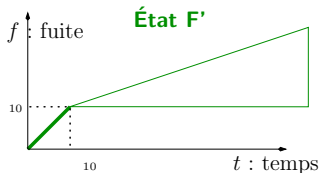
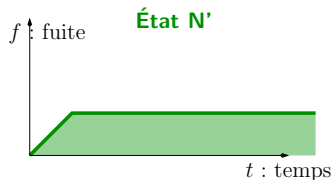
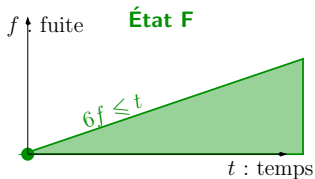
- τ_1^\otimes = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^\otimes = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



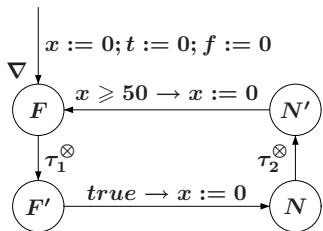
Ex. : application à la chaudière



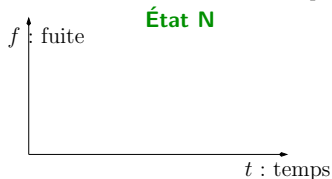
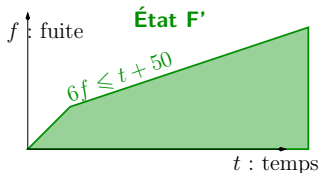
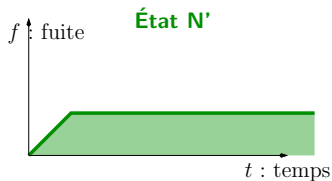
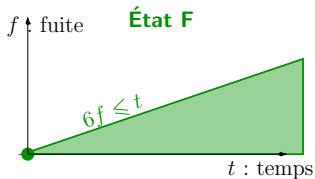
- τ_1^\otimes = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^\otimes = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



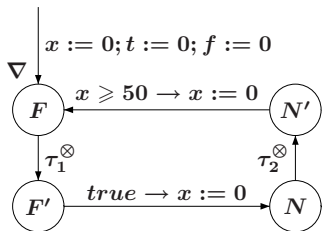
Ex. : application à la chaudière



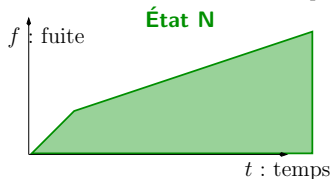
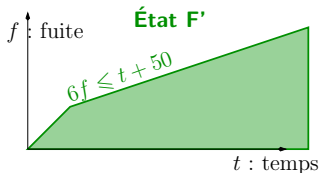
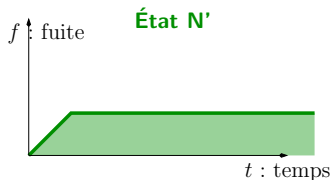
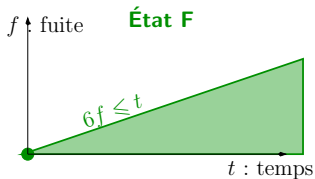
- τ_1^\otimes = "ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ "
- τ_2^\otimes = "ajoute le rayon (1, 0, 1)"



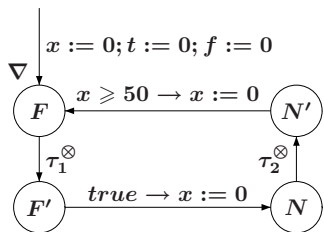
Ex. : application à la chaudière



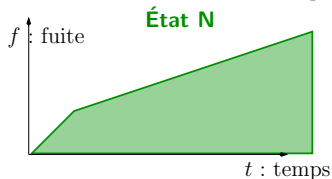
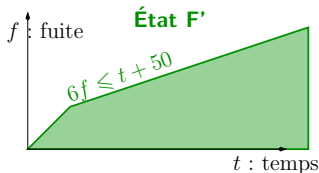
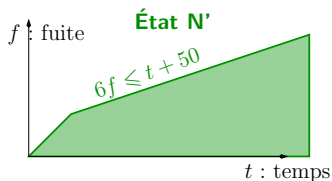
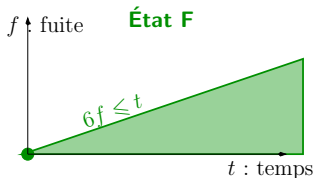
- τ_1^\otimes = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^\otimes = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



Ex. : application à la chaudière

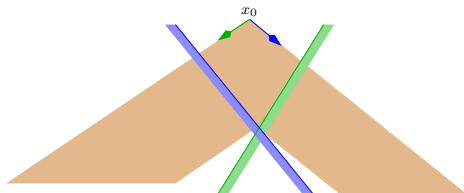


- τ_1^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 1, 1) tant que $x \leq 10$ ”
- τ_2^{\otimes} = “ajoute le rayon (1, 0, 1)”



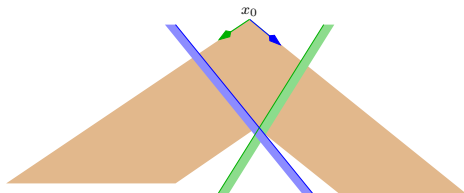
Plusieurs boucles : premières remarques

$(\tau_1 \text{ ou } \tau_2)^*(P_0)$ n'est pas forcément **convexe** :

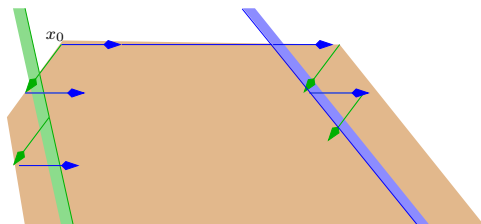


Plusieurs boucles : premières remarques

$(\tau_1 \text{ ou } \tau_2)^*(P_0)$ n'est pas forcément **convexe** :



Il peut y avoir des **oscillations** assez complexes :

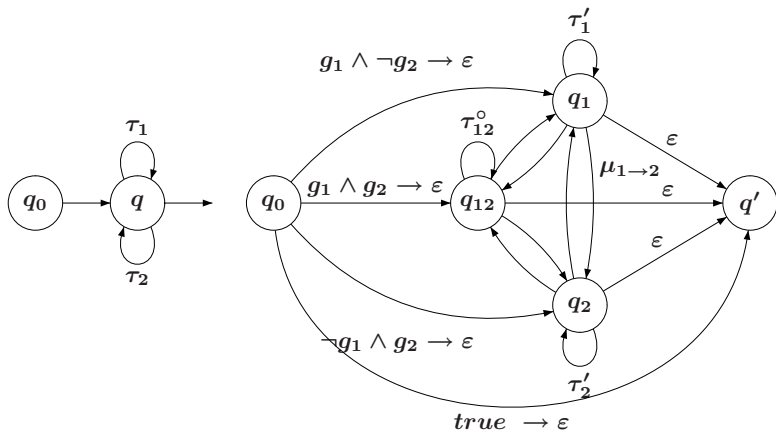


Combinaison de deux boucles de translation (1/2)

Première proposition : partitionner le contrôle.

Combinaison de deux boucles de translation (1/2)

Première proposition : partitionner le contrôle.



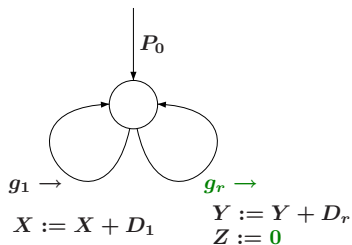
► explosion combinatoire

Combinaison de deux boucles de translation (1/2)

Deuxième proposition : calculer directement.

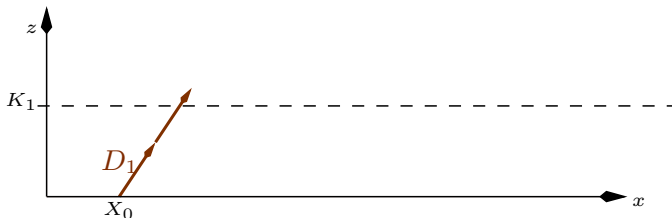
- Identification de sous-classes avec enveloppe convexe calculable.
- Classe entière (de combinaison) traitée en utilisant l'élargissement dans les autres cas.

Une combinaison translation et remise à constante (1)

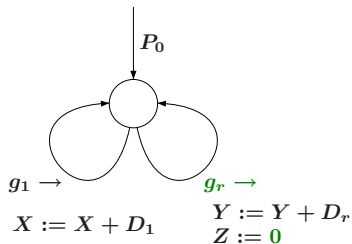


$$g_1 : Z \leq K_1, g_r = \text{true},$$

$$P_0 \subseteq \{Z = 0\}$$

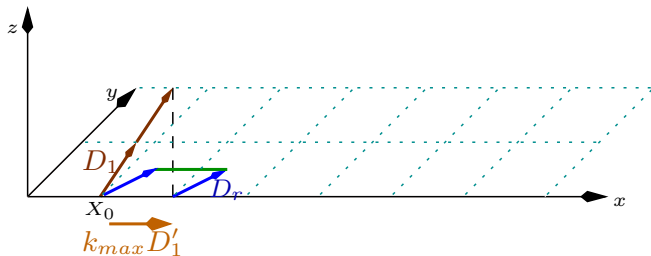


Une combinaison translation et remise à constante (1)

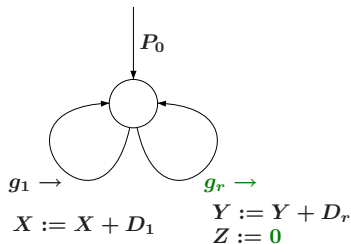


$$g_1 : Z \leq K_1, g_r = true,$$

$$P_0 \subseteq \{Z = 0\}$$

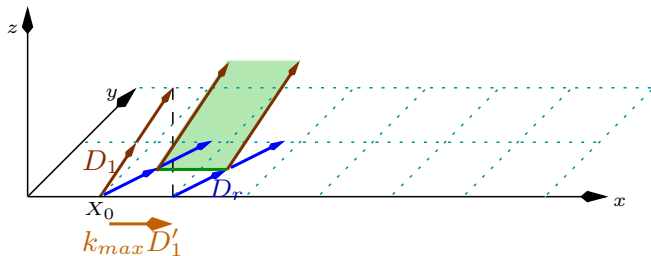


Une combinaison translation et remise à constante (1)

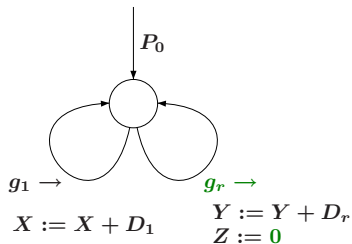


$$g_1 : Z \leq K_1, g_r = true,$$

$$P_0 \subseteq \{Z = 0\}$$

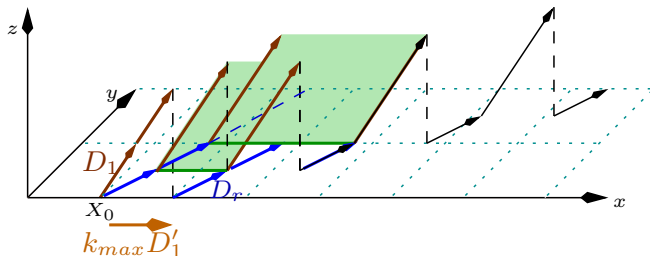


Une combinaison translation et remise à constante (1)

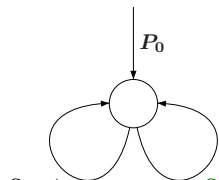


$$g_1 : Z \leq K_1, g_r = true,$$

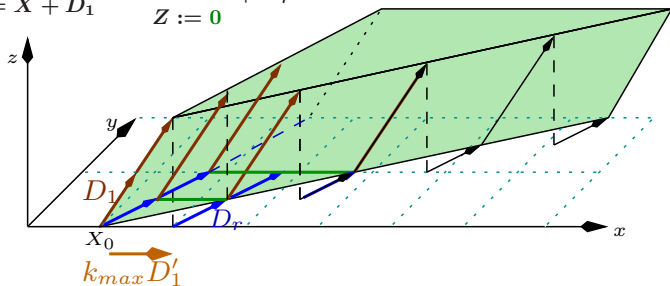
$$P_0 \subseteq \{Z = 0\}$$



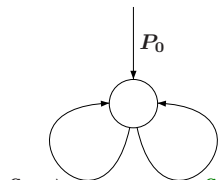
Une combinaison translation et remise à constante (1)

 $g_1 \rightarrow$ $g_r \rightarrow$ $X := X + D_1$ $Y := Y + D_r$ $Z := 0$

$$g_1 : Z \leq K_1, g_r = true,$$

$$P_0 \subseteq \{Z = 0\}$$


Une combinaison translation et remise à constante (1)



$g_1 \rightarrow$

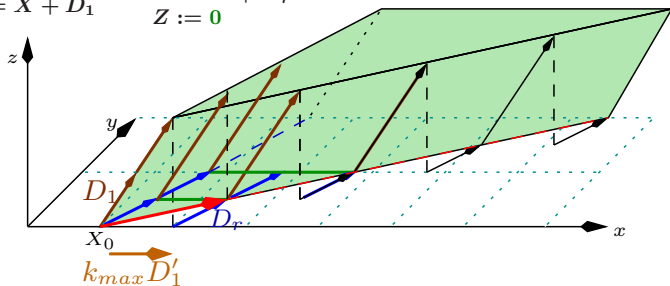
$g_r \rightarrow$

$X := X + D_1$

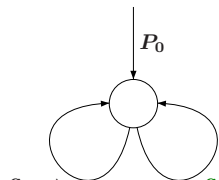
$Y := Y + D_r$

$Z := 0$

$g_1 : Z \leq K_1, g_r = true,$
 $P_0 \subseteq \{Z = 0\}$



Une combinaison translation et remise à constante (1)



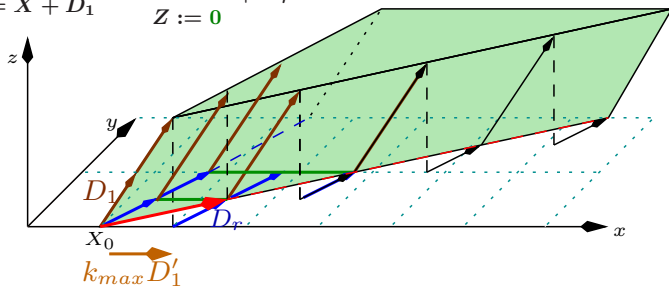
$g_1 \rightarrow$

$g_r \rightarrow$

$X := X + D_1$

$Y := Y + D_r$
 $Z := 0$

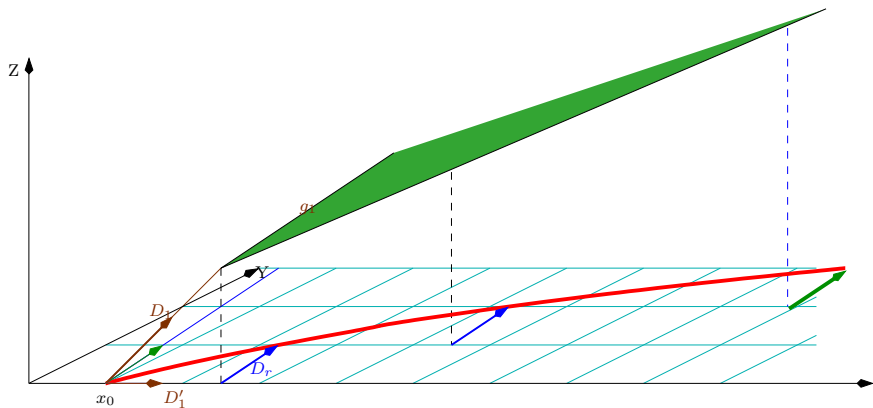
$g_1 : Z \leq K_1, g_r = true,$
 $P_0 \subseteq \{Z = 0\}$



$P_0 \nearrow \{D_1, D_r, k_{max}D'_1 + D_r\} \cap post(g_1)$

Une combinaison translation et remise à constante (2)

Mais ... Résultat valable que si $g_1 = Z \leq K_1$ (à changement de variable près).



Plusieurs boucles - Résultats

Résultats

- Un algorithme pour le cas de deux boucles simultanées de translation. Dans certains cas, meilleure approximation convexe.
- Extension au cas p boucles de translation.

Plusieurs boucles - Résultats

Résultats

- Un algorithme pour le cas de deux boucles simultanées de translation. Dans certains cas, meilleure approximation convexe.
- Extension au cas p boucles de translation.
- Une sous-classe intéressante de combinaison translation/translation remise à constante : relations « **vitesse** ».
- Traitement partiel du cas p boucles translations combinées avec une boucle remise à constante.

Plusieurs boucles - Résultats

Résultats

- Un algorithme pour le cas de deux boucles simultanées de translation. Dans certains cas, meilleure approximation convexe.
 - Extension au cas p boucles de translation.
 - Une sous-classe intéressante de combinaison translation/translation remise à constante : relations « **vitesse** ».
 - Traitement partiel du cas p boucles translations combinées avec une boucle remise à constante.
- ▶ Dans les autres cas, élargissement.

- 1 Motivations
- 2 Résultats
- 3 **Implantation et résultats expérimentaux**

Caractéristiques d'ASPIC (1)

ASPIC : Accelerated Symbolic Polyhedral Invariant Computation

Caractéristiques de l'outil Aspic :

- Utilisation d'un moteur générique de calcul de point fixe [B. Jeannet] et de Polka (bibliothèque de polyèdres).
- Analyse des relations linéaires en avant, avec élargissement et accélération.
- Calculs d'invariants (+sûreté) à partir d'un langage d'automates ou de Lustre.

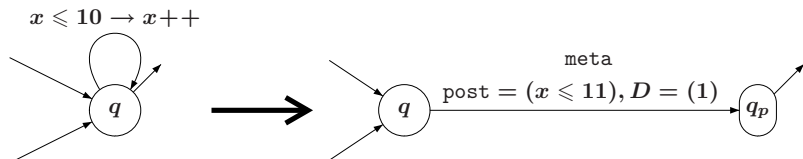
Caractéristiques d'Aspic (2)

Mise en œuvre :

- Un langage textuel d'automates (Fast) avec ou sans but de preuve (formule)
- Structure interne GFC + ensemble éventuel de points de contrôle « mauvais ».
- Précalcul : détection des « configurations » accélérables, composantes fortement connexes, stratégie de calcul, ...
- Transformation de la structure de graphe : **meta-transitions**
- Calcul classique + accélérations.
- Sorties : invariants + diagnostic.

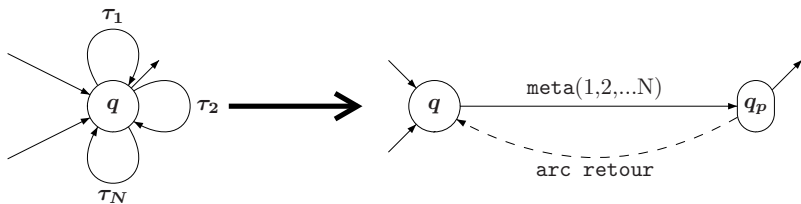
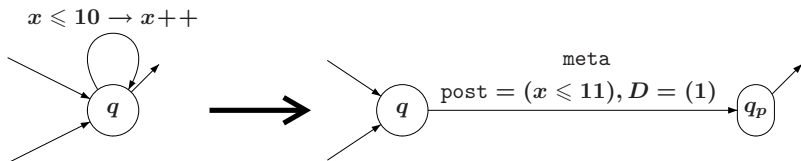
Transformation de la structure du graphe

Les meta-transitions



Transformation de la structure du graphe

Les meta-transitions



Résultats expérimentaux (1)

| Nom | ARL classique | ASPIC | Gopan/Reps |
|--|------------------------------------|---|---|
| Exemples sans remise à constante | | | |
| Hal79a | $\{0 \leq j, 2j \leq i \leq 104\}$ | $\{i + 2j \leq 204, i \leq 104$ $0 \leq j, 2j \leq i\}$ | idem Aspik |
| Hal79b | $\{0 \leq y \leq x \leq 102\}$ | $\{0 \leq y \leq x \leq 102$ $x + y \leq 202\}$ | idem Aspik |
| Chaudière | $\{0 \leq x \leq f \leq t\}$ | $\{6f \leq t + 5x,$ $0 \leq x \leq 10, x \leq f\}$ | $\{0 \leq x \leq f \leq t\}$ |
| Exemples avec remises à constante | | | |
| VSimple | $\{0 \leq s \leq d, 0 \leq t\}$ | $\{0 \leq s \leq 4,$ $s \leq d, d \leq 4t + s\}$ | $\{0 \leq s \leq d, s \leq 4, 0 \leq t\}$ |
| Voiture | $\{0 \leq s \leq d, 0 \leq t\}$ | $\{0 \leq s \leq 2, s \leq d,$ $d \leq 2t + s, t \leq 3\}$ | $\{0 \leq s \leq d, s \leq 2, 0 \leq t\}$ |

Gagne en **précision** et en **efficacité**.

Résultats expérimentaux (2)

Quelques applications

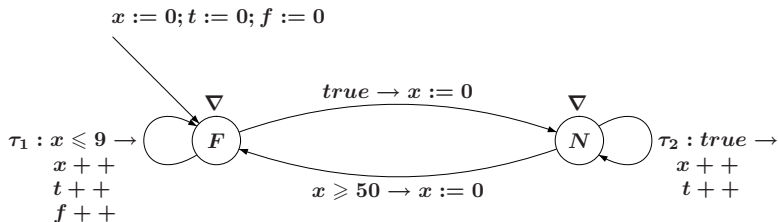
- Accessibilité dans des automates à compteurs (sémantique de SystemC), une centaine de points de contrôle, J. Cornet.
- Propriétés numériques d'automates modélisant une consommation d'énergie de (réseaux de) capteurs, L. Samper et F. Maraninchi.
- Vérification de programmes manipulant des listes, R. Iosif et S. Perarnau.

Conclusion

- Analyse des relations linéaires et amélioration de la précision.
- Étude des méthodes d'accélération et de leur mise en œuvre.
- Approche combinant analyse des relations linéaires et **Accélération Abstraite**.
- Outil complet, résultats expérimentaux montrant un gain de précision.

Une petite démo ?

ASPIC : Accelerated Symbolic Polyhedral Invariant Computation



Merci.



Accelerated Symbolic Polyhedral Invariant Computation

<http://www-verimag.imag.fr/~gonnord/aspic/aspic.html>