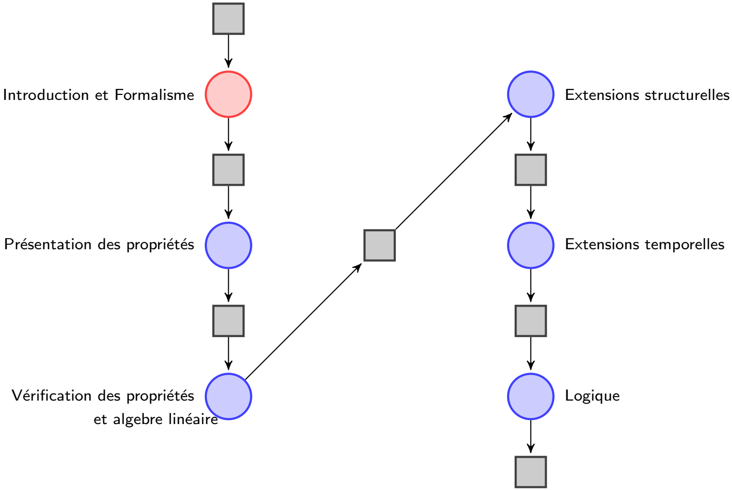
Réseaux de Petri: Formalisme

Pascal Racloz, Didier Buchs

Université de Genève

25 septembre 2017

Le formalisme



Les concepts introduits

- Définitions
- Représentation matricielle
- Fonctionnement
- Séquence de transitions
- Graphes de marquages

Définitions

Un réseau Place/Transition ou simplement réseau, est un quadruplet
R = (P, T, Entrée, Sortie)
où

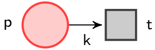
- P est un ensemble fini de *places*
- T est un ensemble fini de *transitions*
- Entrée est une application, Entrée : $PxT \rightarrow \mathbb{N}$, appelée *application d'incidence avant*
- Sortie est une application, Sortie : $PxT \rightarrow \mathbb{N}$, appelée *application d'incidence arrière*

Rappel sur les notations formelles :

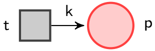
- Ensembles : ensembles, produit cartesien, power-set,
- Fonctions : domaine, co-domaine, fonctions partielles vs totales.
- Logique : prédicats, formules, quantificateurs.

(Cont'd)

- Vocabulaire : Soit p une place($p \in P$) et t une transition ($t \in T$),
  - p est une *place d'entrée* de t si k=Entrée$(p, t) > 0$:

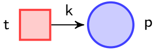


  - p est une *place de sortie* de t si k=Sortie$(p, t) > 0$:

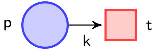


TRANSITIONS :

  - t est une *transition d'entrée* de p si k=Sortie$(p, t) > 0$:



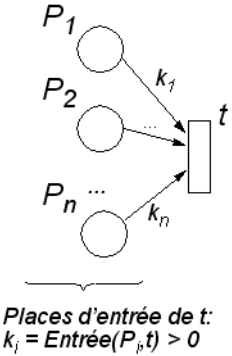
  - t est une *transition de sortie* de p si k=Entrée$(p, t) > 0$:

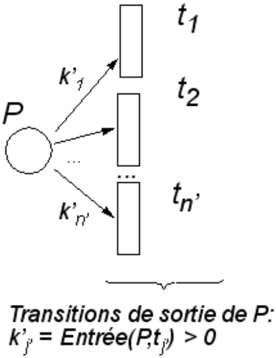


k ,k',l,l' sont les valuations des arcs

Entrée

Application d'incidence avant

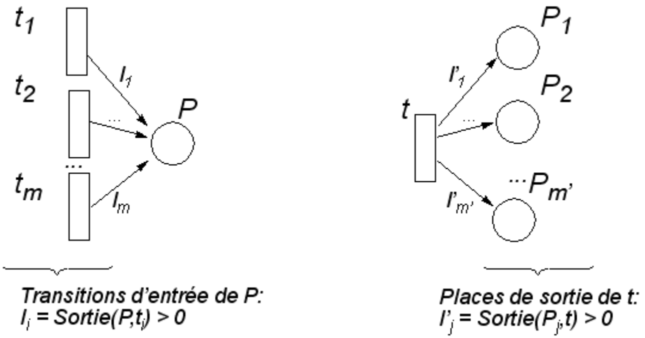




(Cont'd)

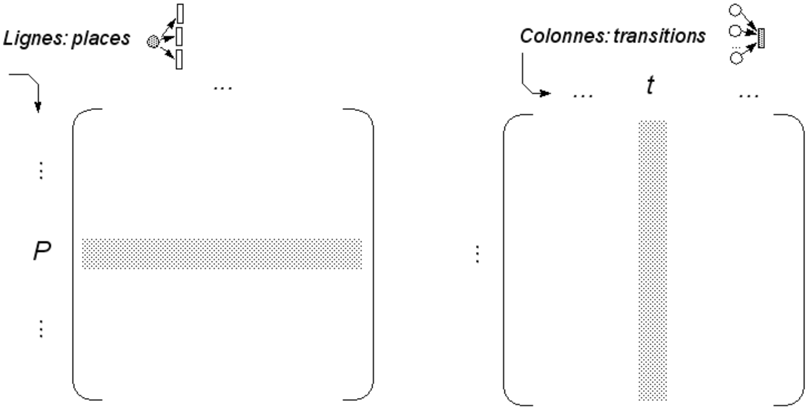
Sortie

Application d'incidence arrière



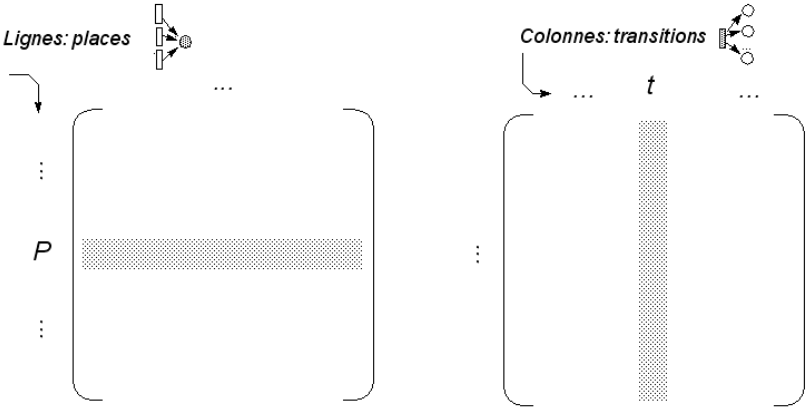
- Vers une représentation matricielle

Entrée

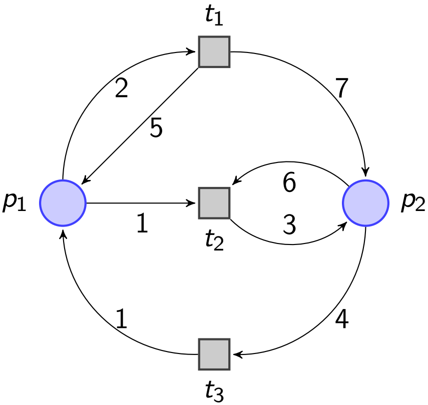


- Vers une représentation matricielle

Sortie

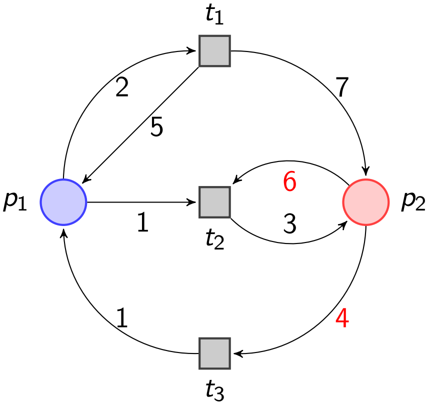


Représentation matricielle



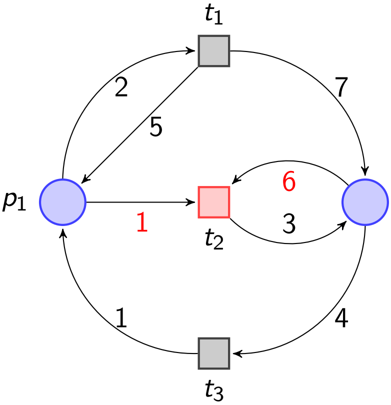
$$
\begin{array}{cc}
\textit{Entree} & \textit{Sortie} \\
\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 6 & 4 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 5 & 0 & 1 \\ 7 & 3 & 0 \end{bmatrix}
\end{array}
$$

Représentation matricielle



Entree

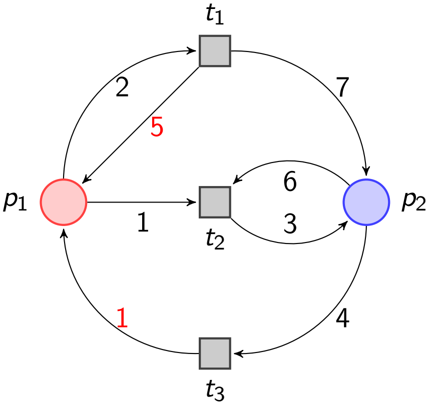
$$\begin{array}{c} \\ p_1 \\ \color{red}{p_2} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} t_1 & t_2 & t_3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ \color{red}{0} & \color{red}{6} & \color{red}{4} \end{bmatrix} \end{array}$$



Entree

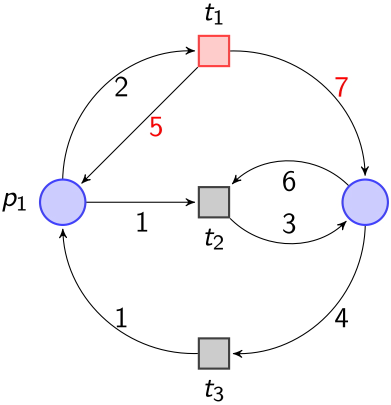
$$\begin{array}{c} \\ p_1 \\ p_2 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} t_1 & \color{red}{t_2} & t_3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 2 & \color{red}{1} & 0 \\ 0 & \color{red}{6} & 4 \end{bmatrix} \end{array}$$

Représentation matricielle



Sortie

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} t_1 & t_2 & t_3 \end{array} \\ \begin{array}{c} \color{red}{p_1} \\ p_2 \end{array} & \begin{bmatrix} \color{red}{5} & \color{red}{0} & \color{red}{1} \\ 7 & 3 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$



Sortie

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} \color{red}{t_1} & t_2 & t_3 \end{array} \\ \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \end{array} & \begin{bmatrix} \color{red}{5} & 0 & 1 \\ \color{red}{7} & 3 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

Exercice

- Représentation graphique d'un réseau

Construire le graphe du réseau décrit par les fonctions d'Entrée et de Sortie suivantes :

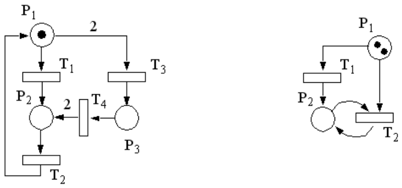
$$\text{Entrée} \quad \begin{array}{c} \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$\text{Sortie} \quad \begin{array}{c} \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \end{array}$$

Exercice

- Représentation graphique d'un réseau

Donner les matrices d'incidence pour les réseaux ci-dessous



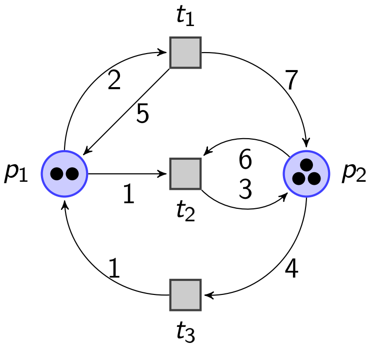
Posent-ils des problèmes ?

Marquage

Le marquage d'un réseau est son état. Formellement, un marquage est une application

$$M : P \to \mathbb{N}$$

donnant pour chaque place le nombre de jetons qu'elle contient. Le marquage initial est généralement noté M_0.



$$\begin{array}{ll} p_1 & \multirow{2}{*}{$\begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}$} \\ p_2 & \end{array}$$

Fonctionnement d'un réseau (sémantique)

De

- Une <u>transition t est tirable</u> pour un marquage M <u>si et seulement si</u>

$$\underline{\forall p \in P},\ M(p) \geq \text{Entrée(p,t)}$$

Def

Il s'agit de la condition de franchissement de t depuis M.

Si <u>t est franchissable</u> depuis M, le tir (ou le franchissement) de t produit un nouveau marquage M' donné par

$$\forall p \in P,\ M'(p) = M(p) - \text{Entrée(p,t)} + Sortie(p,t)$$

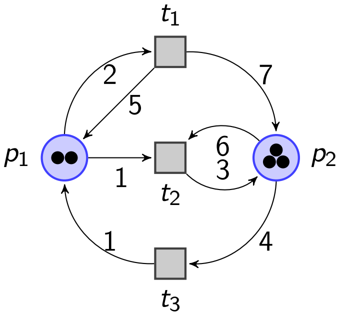
(Cont'd)

- Notations
  - t tirable depuis M :
$$M \xrightarrow{t}$$
  - tir de t depuis M donnant M' :
$$M \xrightarrow{t} M'$$
  - M' = M - Entree(.,t) + Sortie(.,t)
- Définition <u>La *matrice d'incidence*</u> d'un réseau, notée C, est définie par

$$\forall p \in P,\ \forall t \in T\ \underline{C(p,t)} = Sortie(p,t) - Entree(p,t)$$

Si $M \xrightarrow{t} M'$ alors M' = M + C(.,t)

Exemple



$$\text{Entrée}(., t_1) = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \leq M_0 = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$M_0 \xrightarrow{t_1} M$

Exemple(cont'nd)

$$M = M_0 - \text{Entrée}(., t_1) + Sortie(., t_1)$$

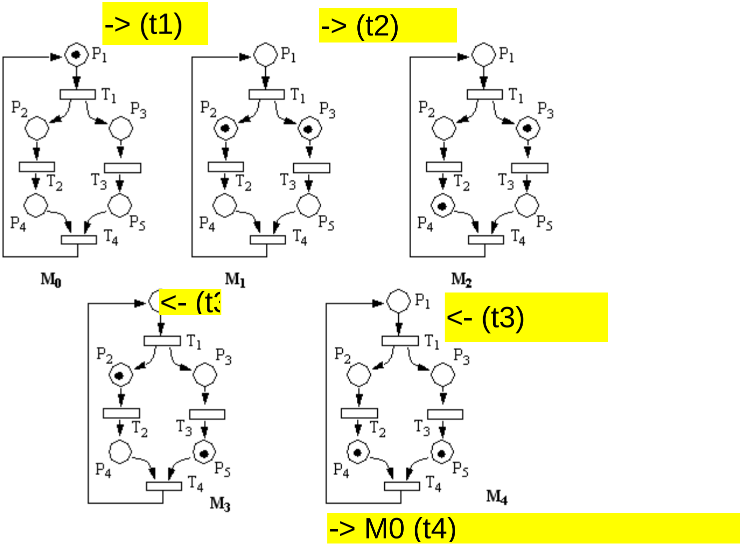
$$= \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 6 & 4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 5 & 0 & 1 \\ 7 & 3 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \\ 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \end{pmatrix}$$

$$M = M_0 + C(., t_1)$$

$$= \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 3 & -1 & 1 \\ 7 & -3 & -4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \end{pmatrix}$$

Séquence de transitions : un exemple



(Cont'd)

La séquence $T_1 T_2$ est une séquence de franchissements. On peut écrire

$$s = T_1 T_2$$
$$et \ M_0 \xrightarrow{s} M_2$$

- La séquence est définie à partir d'un marquage donné.
- C'est une suite de transitions franchissables successivement.

La séquence $T_1 T_2$ n'est pas une séquence de franchissement à partir de $M_0 \xrightarrow{s} M_3$

Vecteur caractéristique :

où $\overline{s}$ est le *vecteur caractéristique* de la séquence de transitions

$$s = t_1 t_2 ... t_n$$

tel que $\overline{s}(t)$ donne le nombre d'occurrences de la transition t dans s

$$\overline{s} : T \rightarrow \mathbb{N}$$

Etant donné la séquence $t_1 t_2 t_2 t_3 t_1$

le vecteur caractéristique est : $\begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$

- Propriétés :

$$s = s_1 . s_2$$

$$\Rightarrow \overline{s} = \overline{s_1} + \overline{s_2}$$

Séquence de transitions

- Etant donnée la situation où

$$M \xrightarrow{t_1} M_1, \;\; M_1 \xrightarrow{t_2} M_2 \;\; \ldots \;\; M_n \xrightarrow{t_n} M'$$

alors

$$M' = M + C.\overline{s}$$

où $\overline{s}$ est le *vecteur caractéristique* de la séquence de transitions

$$s = t_1 t_2 \ldots t_n$$

tel que $\overline{s}(t)$ donne le nombre d'occurrences de la transition t dans s

$$\overline{s} : T \to \mathbb{N}$$

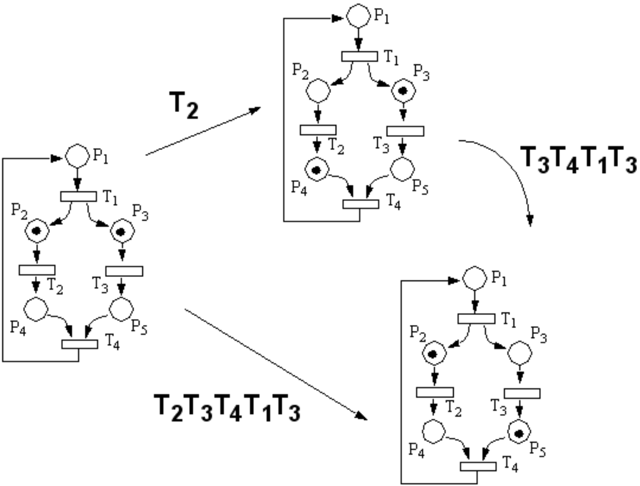
On note

$$M \xrightarrow{s} M'$$

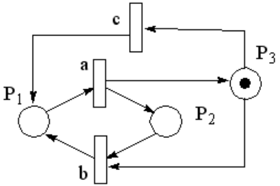
$$M' = M + C \, . \, \overline{s}$$

- $Rqs : s = s1.s2 \quad \Rightarrow \quad \overline{s} = \overline{s1} + \overline{s2}$
  $\overline{s1} = \overline{s2} \quad \Rightarrow \quad M + C.\overline{s1} = M + C.\overline{s2}$

Exemple

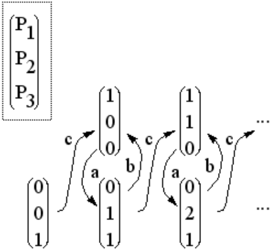


Exercice :Séquence de transitions



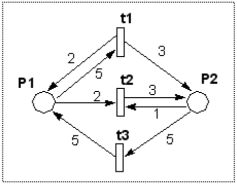
Matrice d'incidence:

$$
\begin{array}{c|ccc}
 & a & b & c \\
\hline
P1 & -1 & 1 & 1 \\
P2 & 1 & -1 & 0 \\
P3 & 1 & -1 & -1
\end{array}
$$



- Vérifier que la séquence de transitions 'cabacacab' est franchissable
- Donner le marquage résultat en utilisant son vecteur caractéristique

Exercice (...)



- Quels sont les marquages minimums de ce réseau tels que respectivement les séquences suivantes soient franchissables ?
  - $s_1 = t_2 t_3$
  - $s_2 = t_3 t_2$
- Pouvez-vous 'généraliser' ?
  Vérifier avec la séquence $s = t_2 t_2 t_3 t_1$. Que dire de $M_0 = \begin{pmatrix} 5 \\ 1 \end{pmatrix}$?

Corrections :

$s_{i+1} = s_i t_i$
Supposons M_i solution du problème pour S_i
$M_i + C.\overline{s_i} + C.\overline{t_i} = M_i + C.\overline{s_{i+1}}$
M_i est une solution ssi
$Entree(., ti) \leq M_i + C.\overline{s_i}$

Encore quelques définitions...

- Marquages accessibles (ou successeurs)
  Un marquage M' est un *marquage accessible* (successeur de M) s'il existe une suite de transitions $s \in T*$ tel que

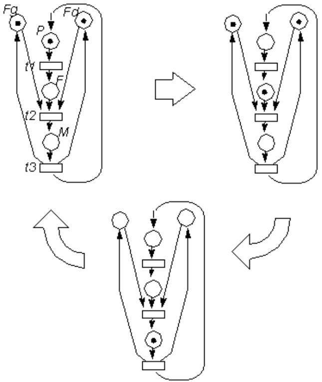
$$M \xrightarrow{s} M'$$

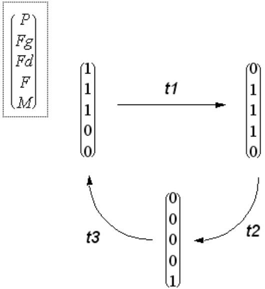
  L'ensemble des marquages accessibles depuis M est noté A(R,M)

- Graphe des marquages accessibles
  Le *graphe des marquages accessibles*, noté GA(R,M), est le graphe ayant comme sommets les marquages de A(R,M) et tel qu'il existe un arc entre deux sommets $M_1 et M_2$ si et seulement si

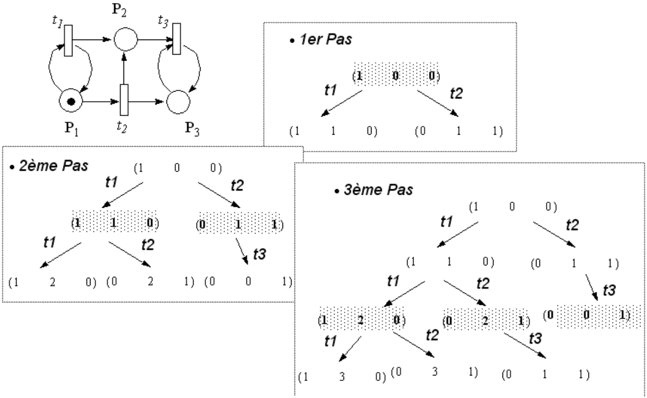
$$M_1 \xrightarrow{t} M_2 \ ou \ t \in T$$

Graphe des marquages accessibles et fonctionnement





Marquages accessibles : exemple



Résumé

- Définition des fonctions Entrée, Sortie et Marquage
- Représentation sous forme de matrices et vecteurs
- Tirabilité et tir d'une transition
- Séquence de transitions et son utilisation dans l'équation fondamentale
- Marquages accessibles et graphe de ces marquages