

Chapitre III

La Causalité des éléments du Bond Graph

I. Définition

La causalité est une propriété essentielle du BG. C'est également un moyen de comprendre le modèle et de le structurer. Comme son nom l'indique, la causalité permet de matérialiser la cause d'une grandeur physique.

II. But :

Lorsque le système A transmet la puissance au système B , nous avons le BG suivant :

$$A \xrightarrow{\quad} B$$

La demi-flèche signale le sens la transmission de la puissance.

Donc, soit A impose son **effort** à B $\Rightarrow A \rightarrowtail B$: A $\xrightarrow{\quad}$ B (causalité 1)

Soit A impose son **flot** à B $\Rightarrow A \leftrightharpoons B$: A $\xrightarrow{\quad}$ B (causalité 2)

La notion de causalité est fondamentale car :

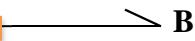
- Elle permet de définir quelle est la cause et quelle est la conséquence ;
- Elle va structurer les équations ;
- Elle permet, dans certains cas, de détecter les erreurs de modélisation.

III. Causalité des éléments de base :

- a) **La Source d'effort** : La source d'effort impose l'effort : donc la causalité est imposée et elle conduit au BG suivant :

$$Se : \xrightarrow{\quad} B$$

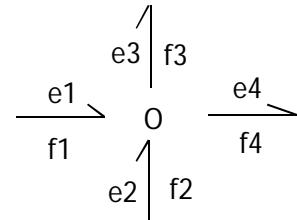
- b) La Source de flot :** La source de flot impose le flot : la causalité imposé est présentée comme suit :

Sf : 

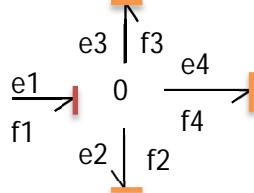
- c) La Jonction 0:** Nous avons vu que la jonction 0 correspond à une égalité des efforts. Par conséquent, seul un lien peut imposer l'effort à une jonction. Nous avons donc **un seul lien avec barre de caus**

Exemple : Soit la jonction 0 suivante

:



Supposons que la causalité du lien 1 soit connue, les autres barres seront présentées comme suit :



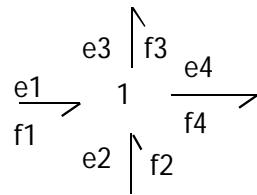
Donc le lien 1 impose son effort à la jonction 0.

Nous structurons les équations correspondantes à la figure du BG précédent :

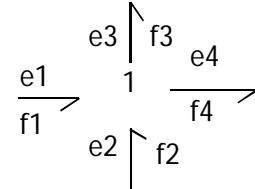
- ❖ $e_1 = e_2 = e_3 = e_4$
- ❖ $f_1 = f_2 + f_3 + f_4$

- d) La Jonction 1 :** La jonction 1 correspond à une égalité des flots, par conséquent, seul un lien peut imposer son flot à la jonction. Nous aurons **un seul lien sans barre de causalité** auprès de la jonction

Exemple : Soit la jonction 1 suivante :



Nous supposons que la causalité du lien 2 soit connue: le lien 2 impose son flot à la jonction 1.



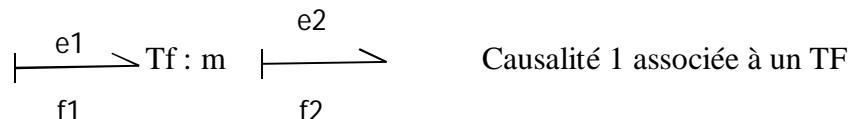
Les équations structurées sont : $\mathbf{f1 = f2 = f3 = f4}$

$$\mathbf{e2 = -e1 + e3 + e4}$$

e) Le Transformateur :

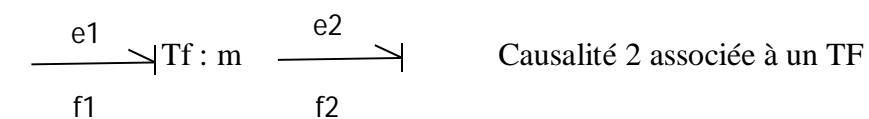
Dans le cas du transformateur, Il n'y a **qu'une seule barre de causalité** auprès de la jonction TF.

1^{er} cas : le flot f1 est imposé en entrée :



$$\implies \begin{cases} f2 = m \cdot f1 \\ e2 = 1/m \cdot f1 \end{cases}$$

2^{ème} cas : l'effort e1 est imposé en entrée :



$$\implies \begin{cases} e2 = m \cdot e1 \\ f2 = 1/m \cdot f1 \end{cases}$$

IV. Causalité des éléments R, I, C :

Elément	Première causalité	Equation	Deuxième causalité	Equation
R	 R reçoit le flux f et renvoie l'effort e	$e = R \cdot f$	 R reçoit l'effort e et renvoie le flux f	$f = \frac{1}{R} \cdot e$
I	 Causalité dérivée	$e = I \cdot \frac{df}{dt}$	 Causalité intégrale	$f = \frac{1}{I} \int e dt$
C	 Causalité intégrale	$e = \frac{1}{C} \int f dt$	 Causalité dérivée	$f = C \frac{de}{dt}$

V. Propagation de la causalité :

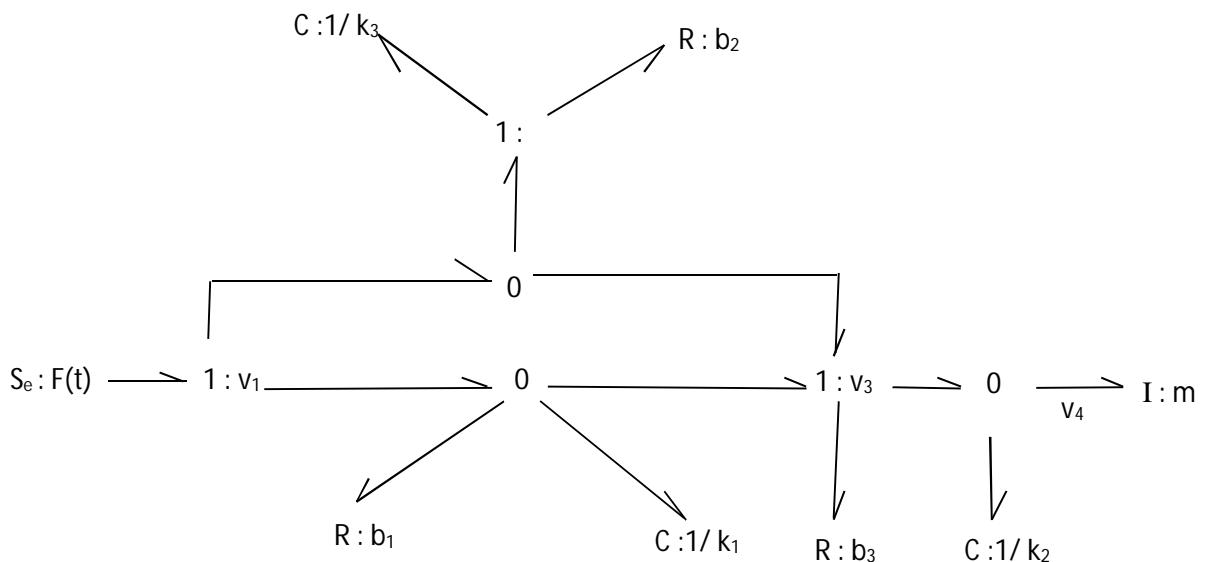
V.1 Règles de propagation :

Pour affecter la causalité au schéma Bond Graph, il faut procéder aux étapes suivantes :

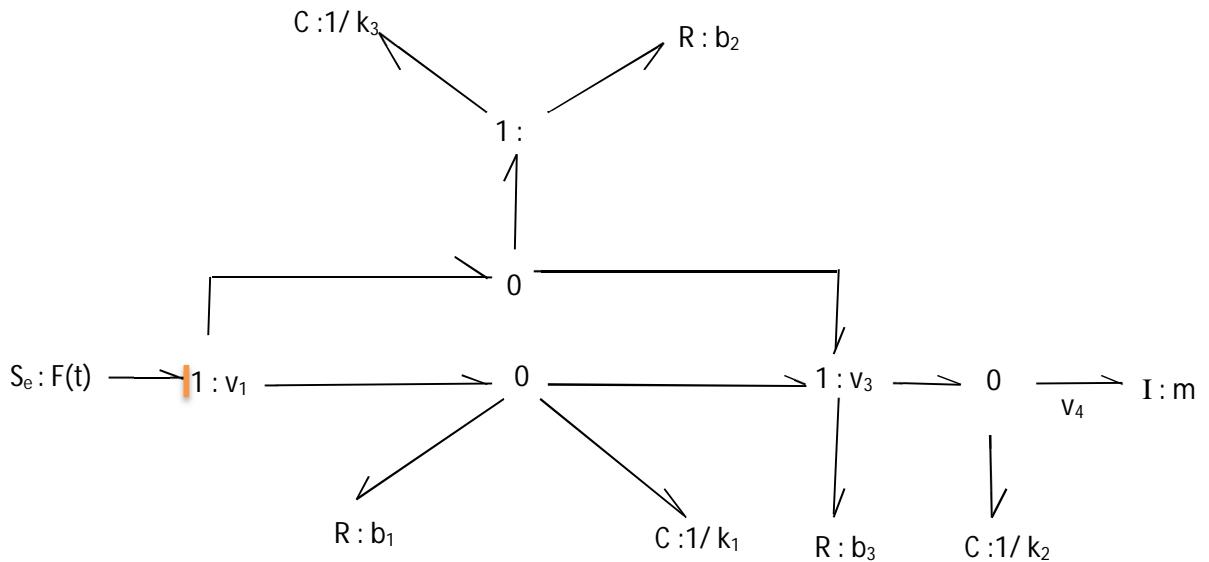
- i) Affecter les causalités imposées par les sources.
- ii) Mettre les éléments I et C en causalité Intégrale.
- iii) Propager les causalités aux jonctions, aux transformateurs et aux gyrateurs.
- iv) Affecter les causalités aux éléments R.
- v) Si un conflit de causalité apparaît sur une jonction, changer une causalité intégrale en une causalité dérivée et reprendre en iii).

V.2 Exemple en mécanique :

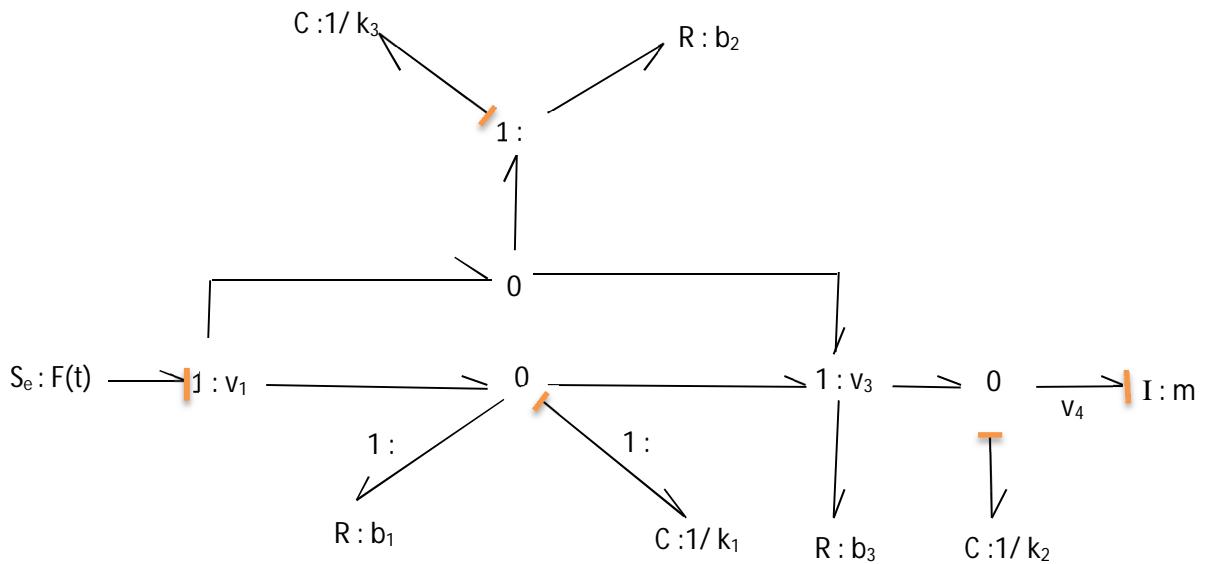
Repronons le BG du système mécanique du chapitre précédent :



- ♦ La première étape consiste à effectuer la causalité imposée par la source.



- ♦ La deuxième étape consiste à effectuer les causalités intégrales aux éléments I et C.



- ♦ La troisième étape consiste à propager les causalités aux jonctions 0 (une seule barre de causalité auprès de la jonction 0) et aux jonctions 1 (un seul lien sans barre de causalité auprès de la jonction 1).

