



# Analyse de stabilité par abstraction discrète.

## Application aux réseaux de distribution

M. Cosson, H. Guéguen, D. Dumur, C. Stoica Maniu, V. Gabrion, G. Malarange

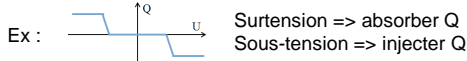
L2S CentraleSupélec – EDF R&D

### Introduction

#### Contexte :

Arrivée de **nombreux producteurs décentralisés**  
 ⇒ Modification profonde du fonctionnement des réseaux de distribution : **augmentation de la tension**

⚡ Régulations locales de la puissance injectée par les producteurs

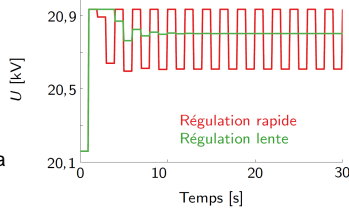


#### Définition de la stabilité :

Atténuation des oscillations de tension en moins d'une minute

#### Problématique :

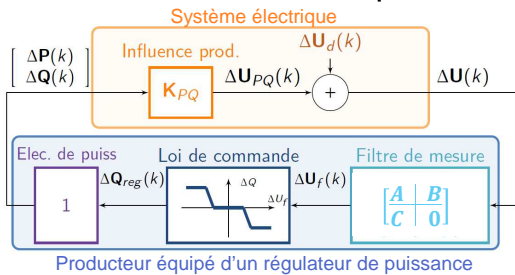
La stabilité dépend des paramètres de la régulation



➔ Comment choisir les paramètres de manière à garantir la stabilité ?

### Modélisation du système

Choix d'un modèle quasi-stationnaire

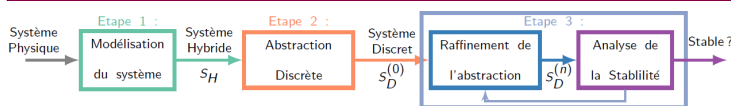


Remarques :

- Linéarisation des équations du réseau
- Modèle générique des producteurs

➔ Système bouclé affine par morceaux

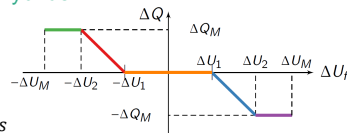
### Méthode proposée



#### Étape 1 : Modélisation sous forme hybride

##### Cinq zones de fonctionnement linéaire

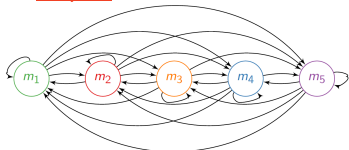
- Invariants polyédriques :  $K_i \Delta x \leq L_i$
- Dynamiques linéaires à temps discret :  $\Delta x(k+1) = \mathcal{A}_i \Delta x(k) + \mathcal{B}_i$  avec  $T_e = 1s$



**Et la stabilité ?** Une trajectoire hybride est stable si et seulement si au bout d'un certain temps, le système reste dans une seule zone de fonctionnement et que la dynamique linéaire associée à cette zone est stable

**Problème :** il existe une infinité de trajectoires hybrides à étudier

#### Étape 2 : Construction de l'abstraction discrète



Première abstraction discrète  $S_D^{(0)}$  :

- 5 modes discrets
- 25 transitions entre ces modes

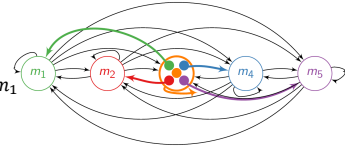
**Et la stabilité ?**  $S_D^{(0)}$  stable  $\Rightarrow S_H$  stable

**Problème :**  $S_D^{(0)}$  n'est pas stable et il existe des trajectoires discrètes ne correspondant à aucune trajectoire hybride

#### Étape 3 : Raffinement de l'abstraction et analyse de stabilité

##### Découpage itératif des modes ayant plusieurs destinations

Ex : sous-mode de  $m_3$  dont la destination est  $m_1$

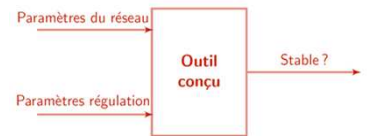
$$\mathcal{D}_3 \cap \text{Pre}(\mathcal{D}_1) = \begin{cases} K_3 \Delta x \leq L_3 \\ K_1 (\mathcal{A}_3 \Delta x + \mathcal{B}_3) \leq L_1 \end{cases}$$


Et la stabilité ?

- Si on a construit la bisimulation de  $S_H$ , **sa stabilité est équivalente à celle de  $S_H$**
- Sinon si  $S_D^{(n)}$  est stable,  **$S_H$  est stable**
- Sinon si il existe une trajectoire discrète définitive et instable,  **$S_H$  est instable**
- Sinon, il faut refaire une itération du calcul de raffinement

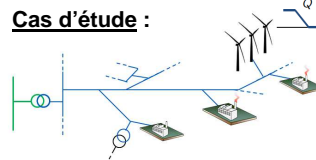
#### Conclusion :

Évaluer la limite de stabilité par dichotomie



### Application à un cas d'étude

#### Cas d'étude :



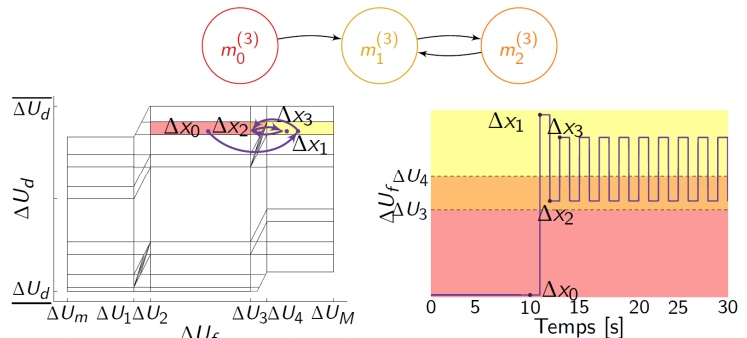
Ferme éolienne de 6 MW

A 10 km du poste source

Équipée d'une loi de commande  $Q(U)$  et d'un retard pur

#### Analyse de la stabilité :

3<sup>ème</sup> abstraction discrète composée de 71 modes discrets et 79 transitions  
 ⇒ Détection de trajectoires instables avant la construction de la bisimulation



➔ Evaluation de la limite de stabilité à :  $a_{lim} = 0,45$

### Conclusion

- Les régulations  $Q(U)$  représentent un **risque pour la stabilité**
- Une méthode **d'étude formelle de la stabilité** des systèmes bouclés affines par morceaux a été développée
- Appliquée aux réseaux de distribution, cette méthode permet **d'évaluer la stabilité d'un cas donné** et pour celui-ci d'évaluer la constante de temps du filtre de mesure le plus rapide garantissant la stabilité du système

### Références

M. Cosson, H. Gueguen, D. Dumur, C. Stoica Maniu, V. Gabrion, G. Malarange. **Voltage stability of distributed generators by means of discrete abstraction**. In *IEEE Conference on Control Applications (CCA)*, pp. 195--200, 21-23 September 2015, Sydney, Australia