

Stabilité du réseau de distribution électrique – Analyse du point de vue automatique d'un système complexe

Marjorie COSSON (Oct. 2013 – Oct. 2016)

Soirée des doctorants IEEE PES France

31 Mars 2016

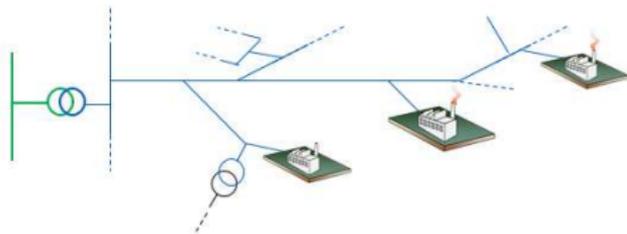


- ① Contexte et objectifs de la thèse
- ② Méthode d'analyse de la stabilité
- ③ Critère de réglage de stabilité pour un producteur
- ④ Critère général de stabilité
- ⑤ Conclusion et perspectives

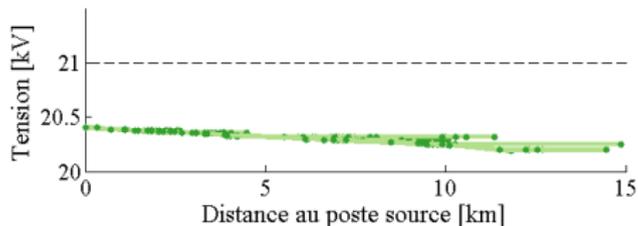
- 1 Contexte et objectifs de la thèse
- 2 Méthode d'analyse de la stabilité
- 3 Critère de réglage de stabilité pour un producteur
- 4 Critère général de stabilité
- 5 Conclusion et perspectives

Historiquement, le réseau de distribution ne raccordait quasiment **que de la consommation**.

Aujourd'hui, ERDF compte **plus de 18 GW de production** décentralisée.



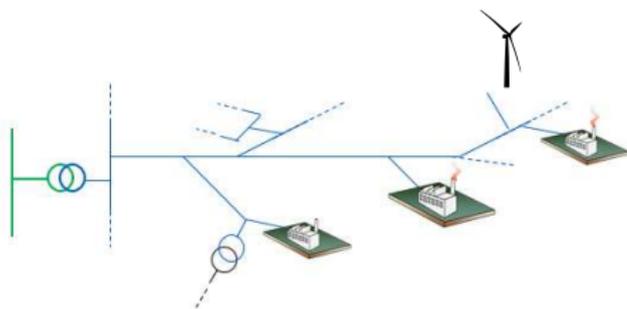
Plan de tension sans producteur



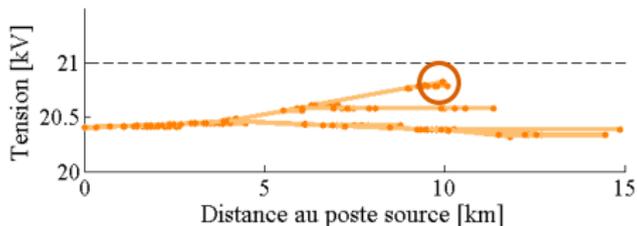
Historiquement, le réseau de distribution ne raccordait quasiment **que de la consommation**.

Aujourd'hui, ERDF compte **plus de 18 GW de production** décentralisée.

Production décentralisée
⇒
Élévation du plan de tension

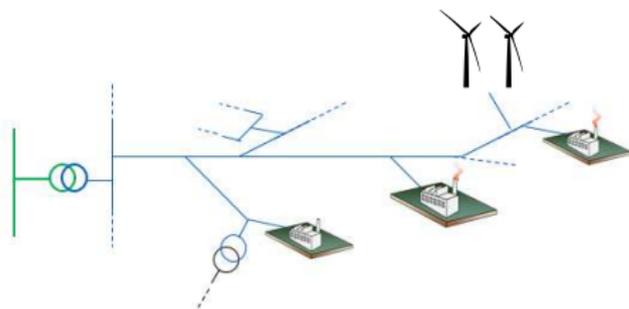


Plan de tension pour un producteur de 3 MW



Historiquement, le réseau de distribution ne raccordait quasiment **que de la consommation**.

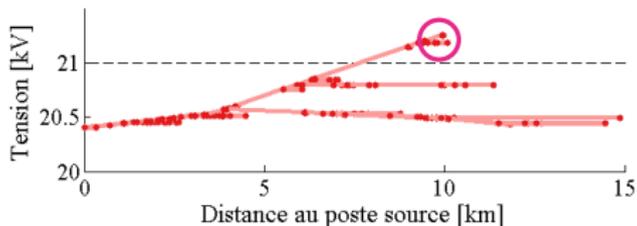
Aujourd'hui, ERDF compte **plus de 18 GW de production** décentralisée.



Production décentralisée
⇒
Élévation du plan de tension

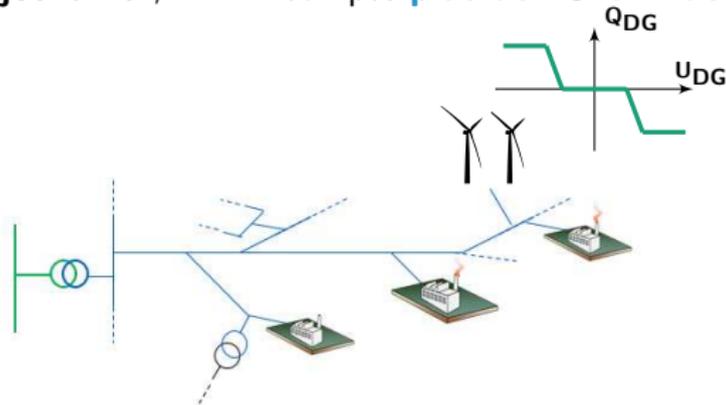
But : Maintenir la qualité de fourniture

Plan de tension pour un producteur de 6 MW



Historiquement, le réseau de distribution ne raccordait quasiment **que de la consommation**.

Aujourd'hui, ERDF compte **plus de 18 GW de production** décentralisée.

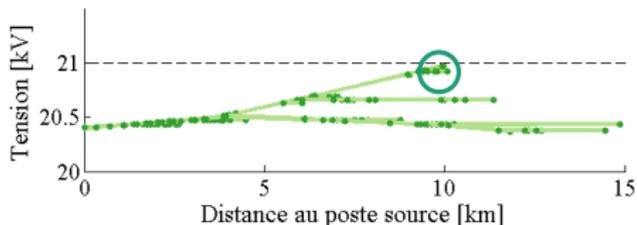


Production décentralisée
⇒
Élévation du plan de tension

But : Maintenir la qualité de fourniture

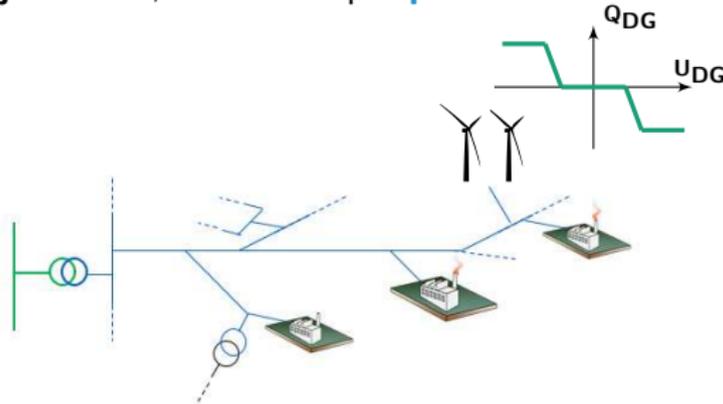
💡 Régulations locales de Q
en fonction de U

Plan de tension pour un producteur de 6 MW



Historiquement, le réseau de distribution ne raccordait quasiment **que de la consommation**.

Aujourd'hui, ERDF compte **plus de 18 GW de production** décentralisée.

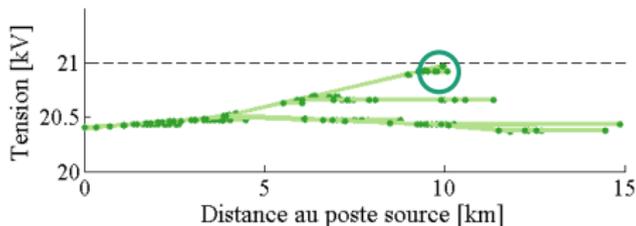


Production décentralisée
⇒
Élévation du plan de tension

But : Maintenir la qualité de fourniture

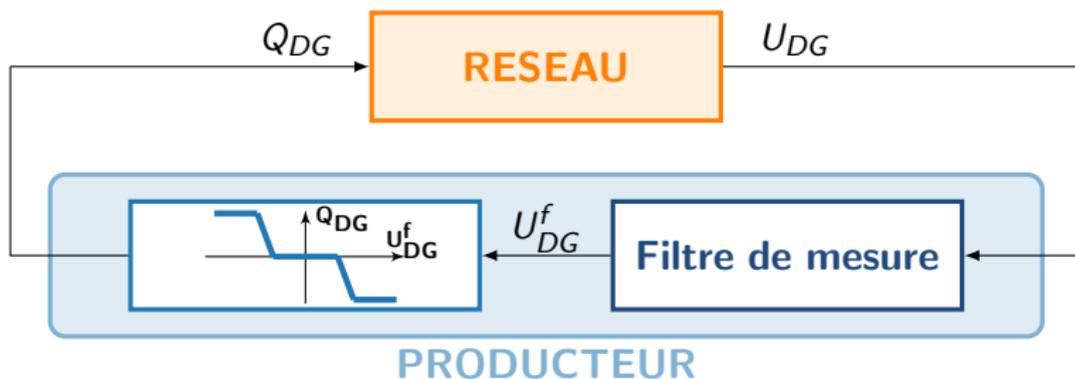
💡 Régulations locales de Q
en fonction de U

Plan de tension pour un producteur de 6 MW

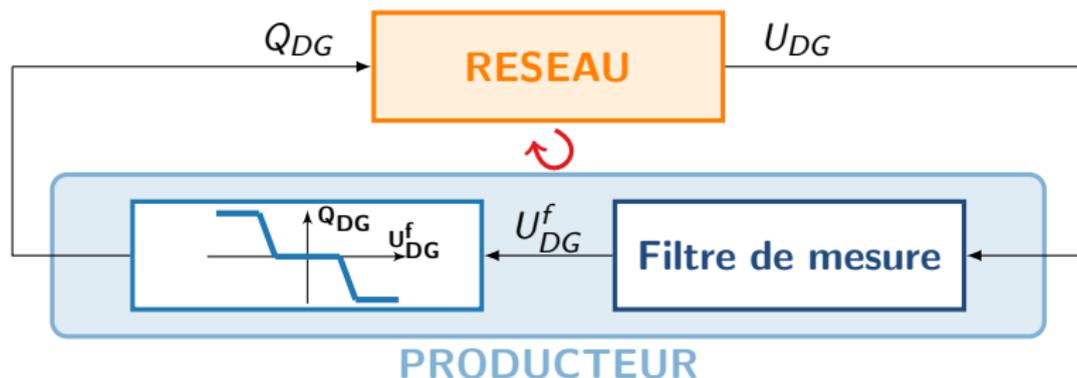


⇒ Ces régulations représentent-elles un risque pour la stabilité des départs ?

Structure des régulations $Q(U)$

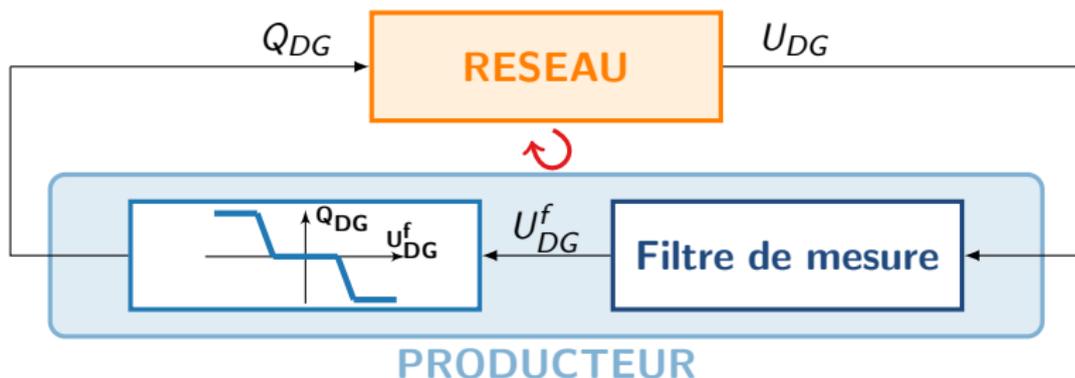


Structure des régulations $Q(U)$

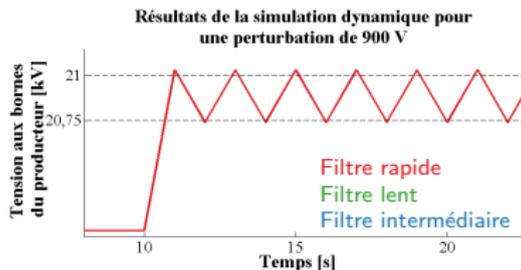


La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système

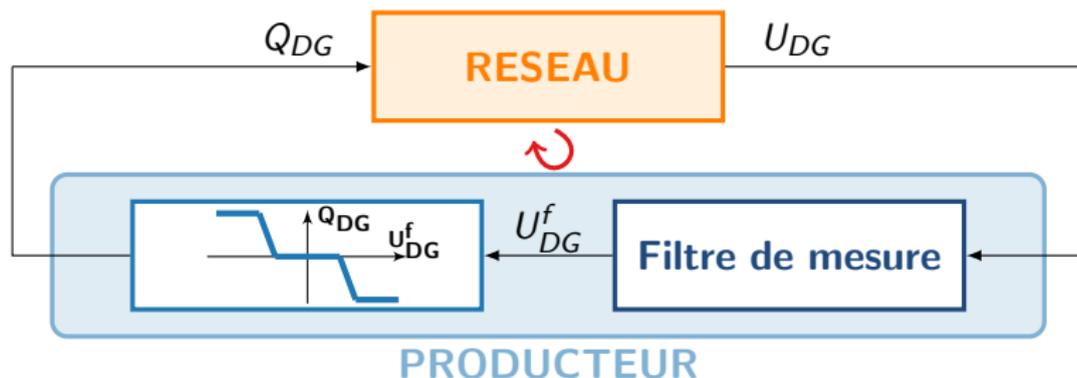
Structure des régulations $Q(U)$



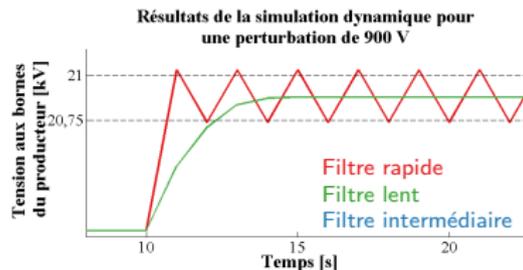
La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système



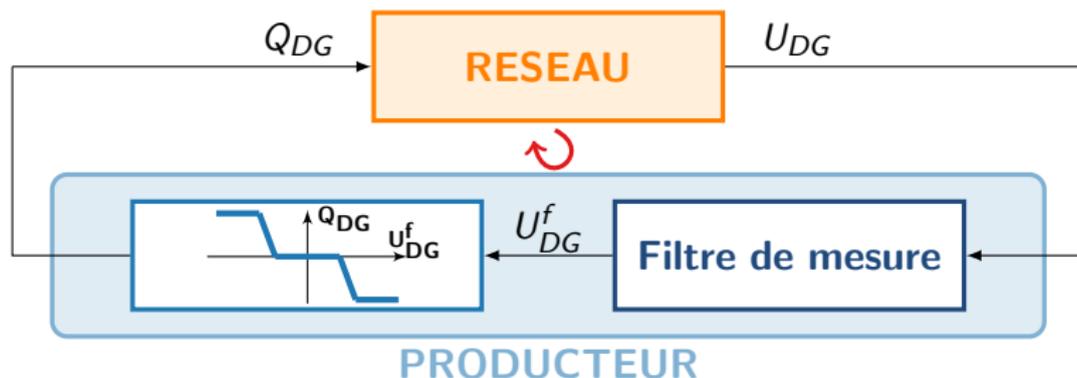
Structure des régulations $Q(U)$



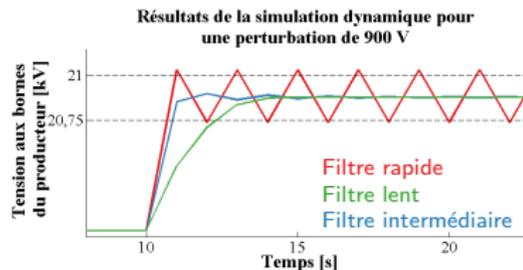
La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système



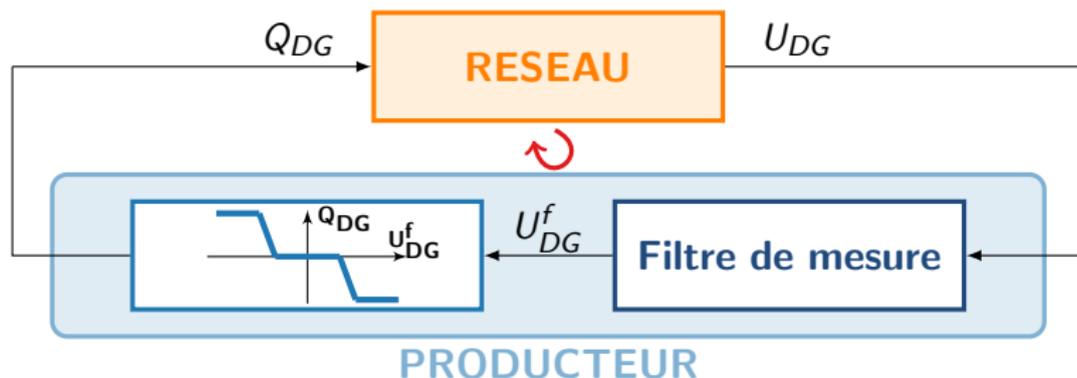
Structure des régulations $Q(U)$



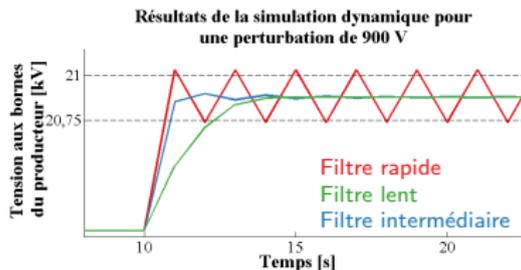
La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système



Structure des régulations $Q(U)$



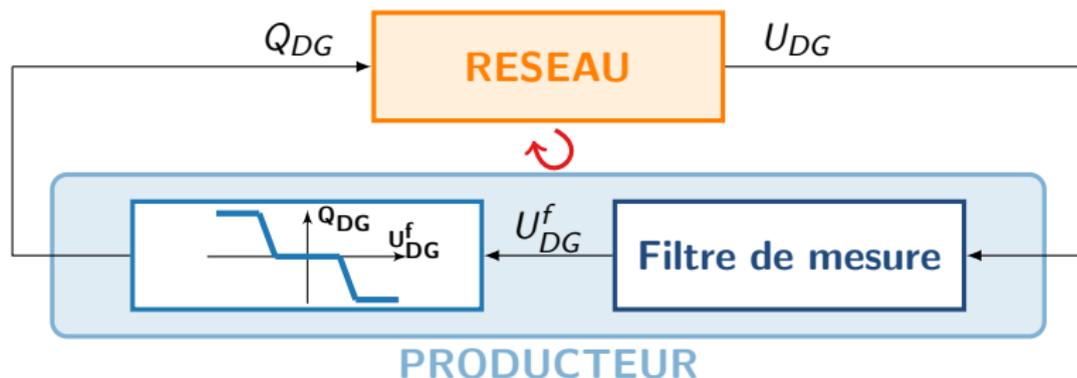
La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système



Conclusion :

Un même réseau peut être **stable ou non** en fonction des paramètres de sa régulation.

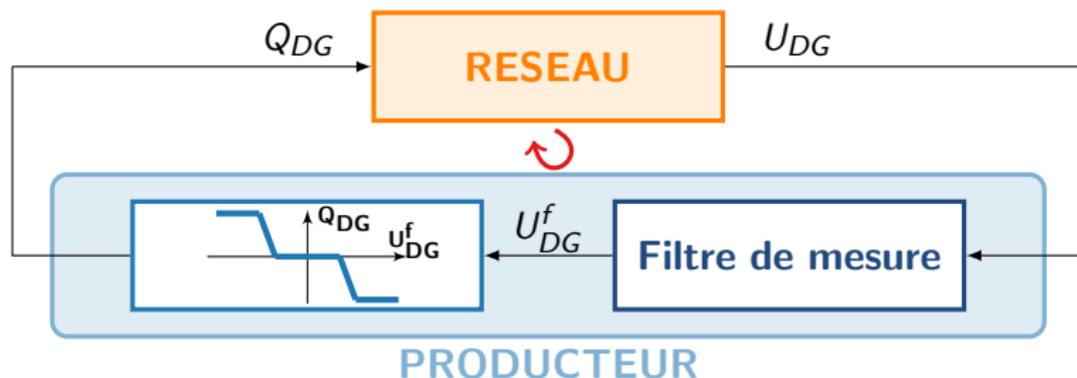
Structure des régulations $Q(U)$



La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système

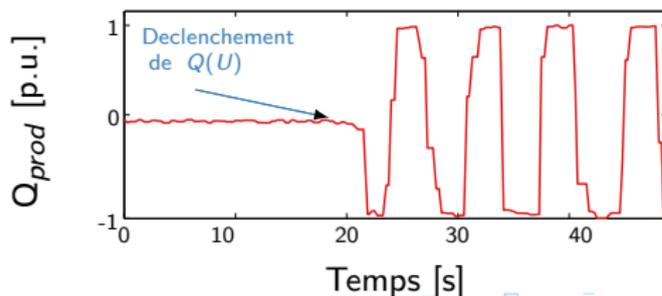
⇒ Et en réalité ?

Structure des régulations $Q(U)$



La régulation $Q(U)$ peut entraîner des risques pour la stabilité du système

⇒ Et en réalité ?



But :

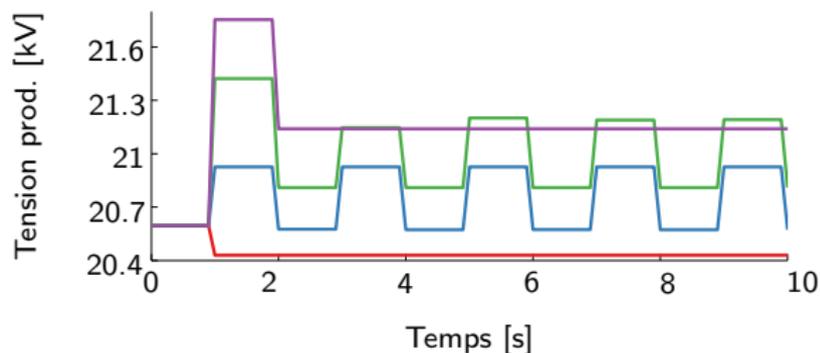
Si le filtre est plus lent que \mathcal{F} (paramètres du réseau),
alors le système est stable.

- 1 Construire une **méthode** d'analyse de la **stabilité** d'un exemple donné,
- 2 Simplifier l'analyse en proposant un **critère explicite de stabilité** d'un exemple donné,
- 3 Établir un **critère général de stabilité** valable dans tous les cas.

- 1 Contexte et objectifs de la thèse
- 2 Méthode d'analyse de la stabilité**
- 3 Critère de réglage de stabilité pour un producteur
- 4 Critère général de stabilité
- 5 Conclusion et perspectives

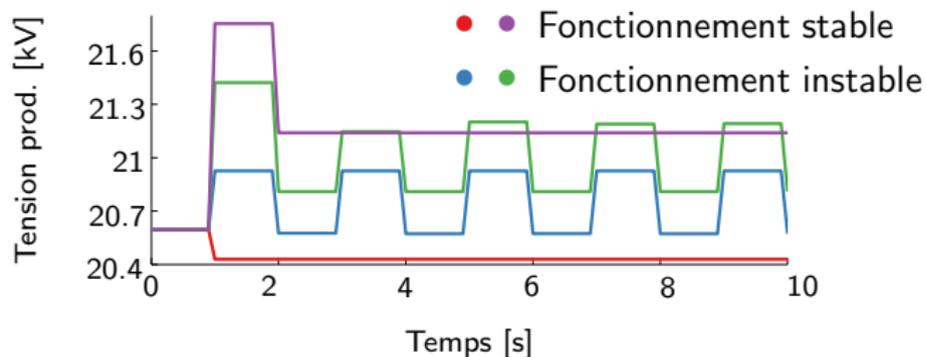
Insuffisance des méthode actuelles

On reprend l'étude empirique précédente pour différentes perturbations :



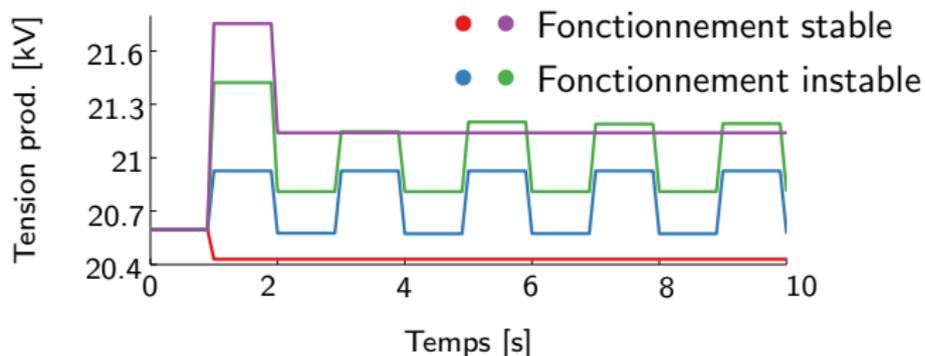
Insuffisance des méthode actuelles

On reprend l'étude empirique précédente pour différentes perturbations :



Insuffisance des méthode actuelles

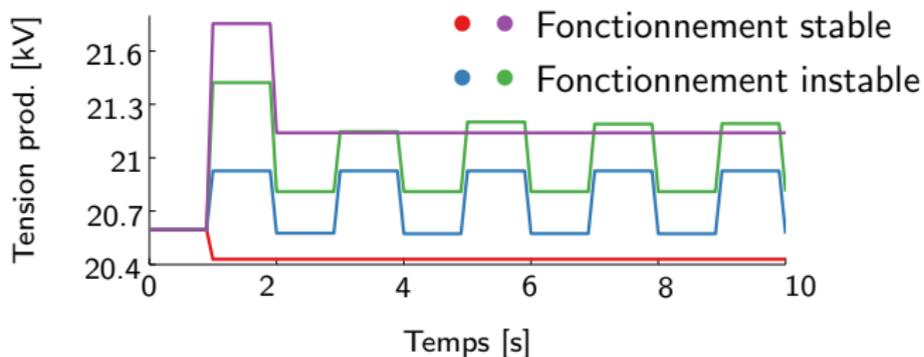
On reprend l'étude empirique précédente pour différentes perturbations :



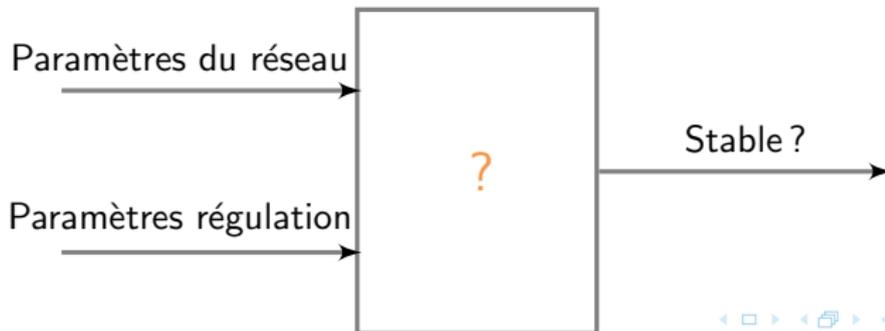
⇒ Une étude formelle de la stabilité est nécessaire

Insuffisance des méthode actuelles

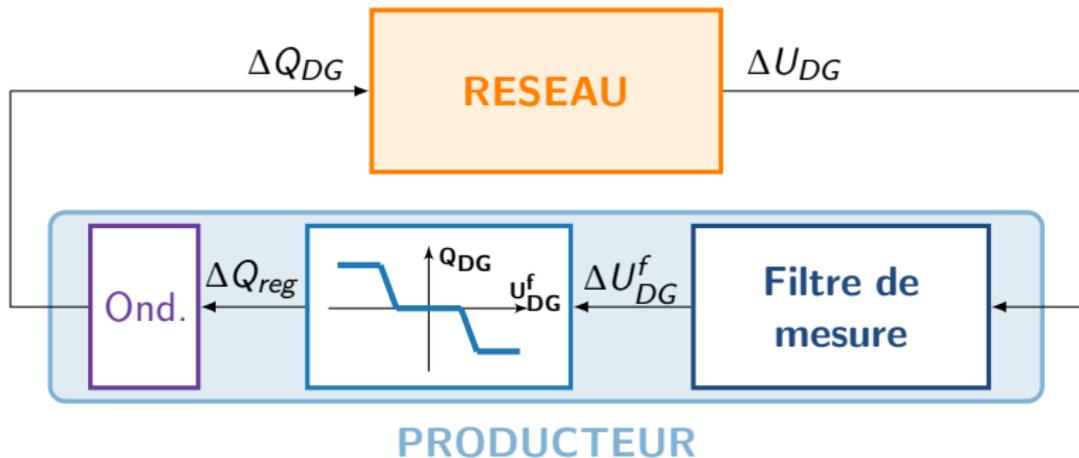
On reprend l'étude empirique précédente pour différentes perturbations :



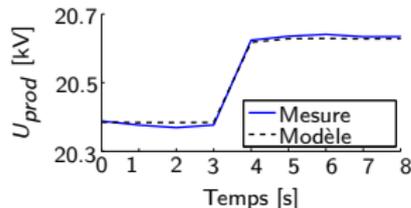
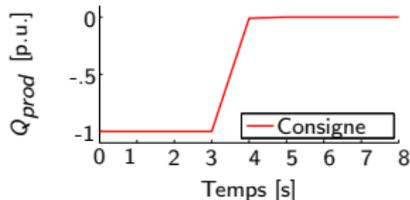
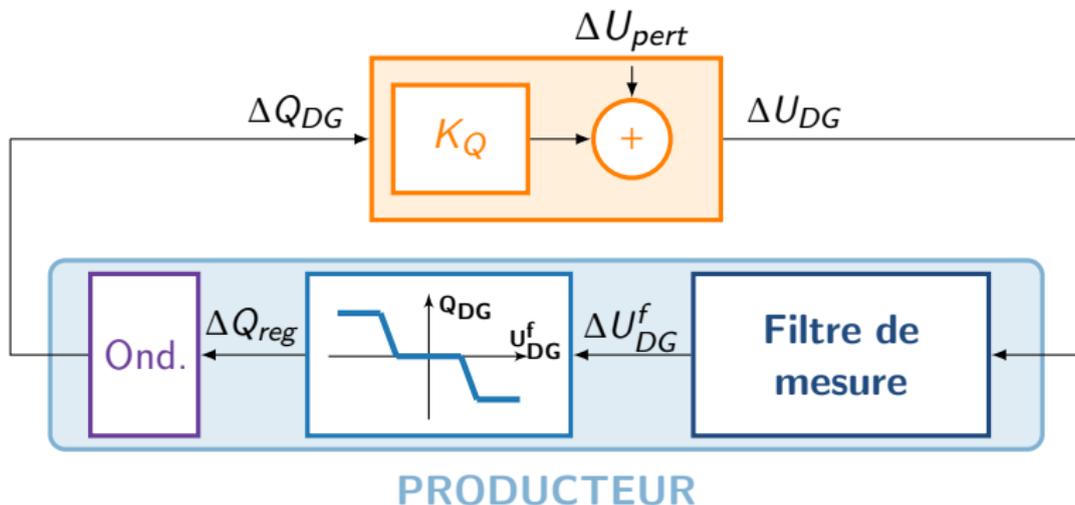
⇒ Une étude formelle de la stabilité est nécessaire



Modélisation du système étudié

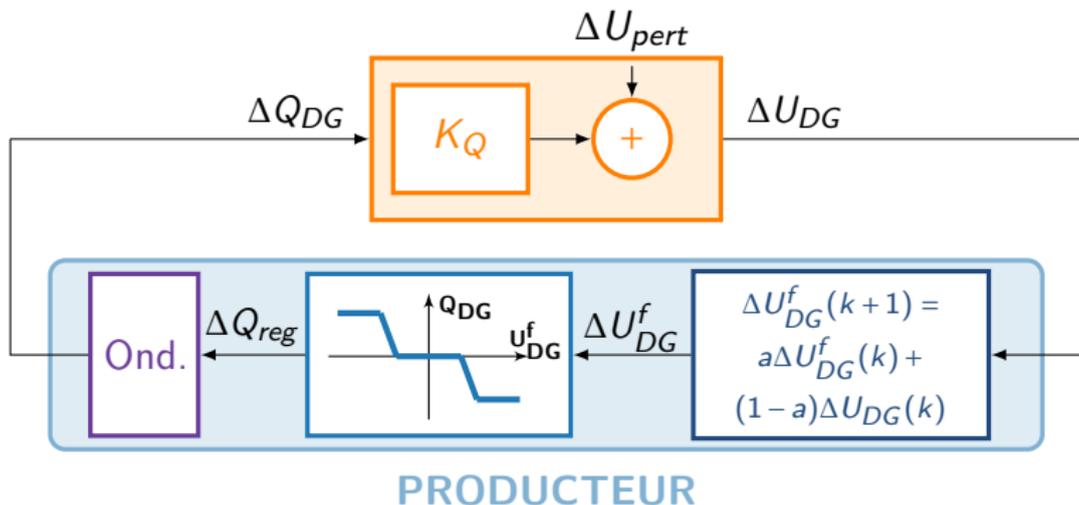


Modélisation du système étudié



[1] M.Cosson, "Modélisation des variations d'amplitude de la tension d'un réseau de distribution", JCGE 2015, Cherbourg

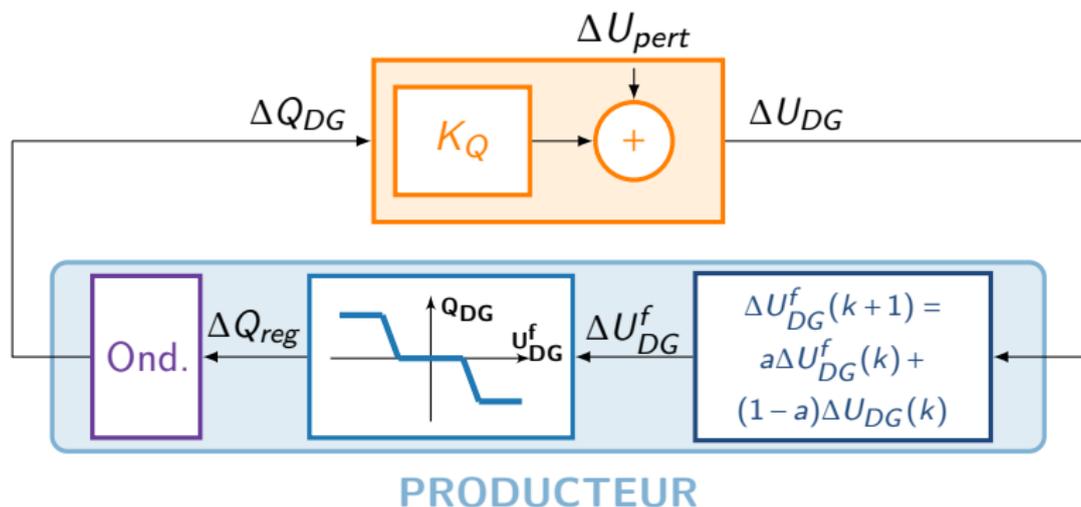
Modélisation du système étudié



Filtre de mesure :

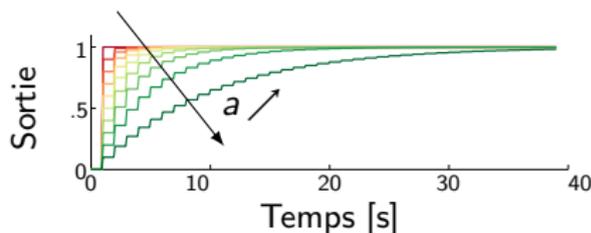
- à temps discret ($T_e = 1s$)
- Ex : Passe-bas 1er ordre
- $a =$ la rapidité ($\Leftrightarrow \tau$)

Modélisation du système étudié

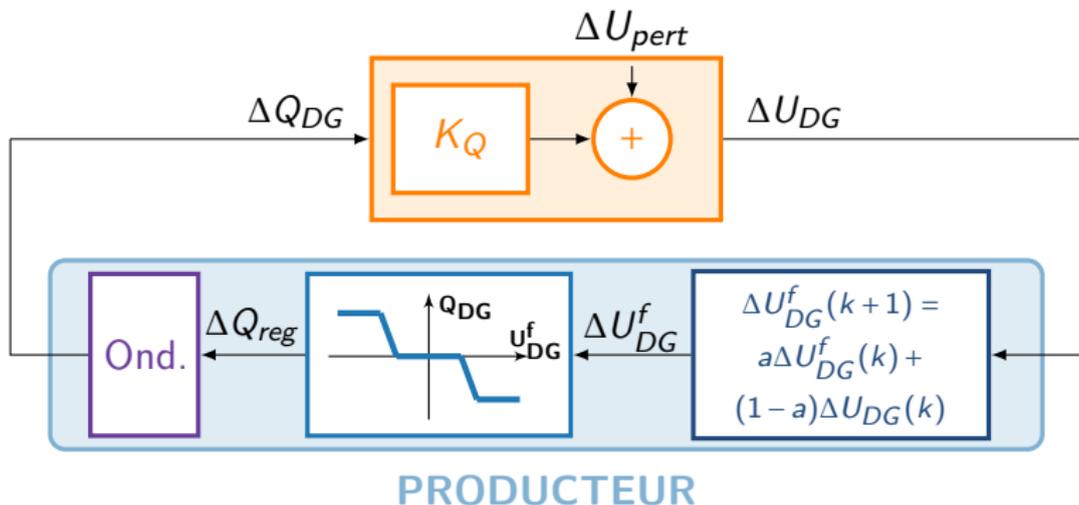


Filtre de mesure :

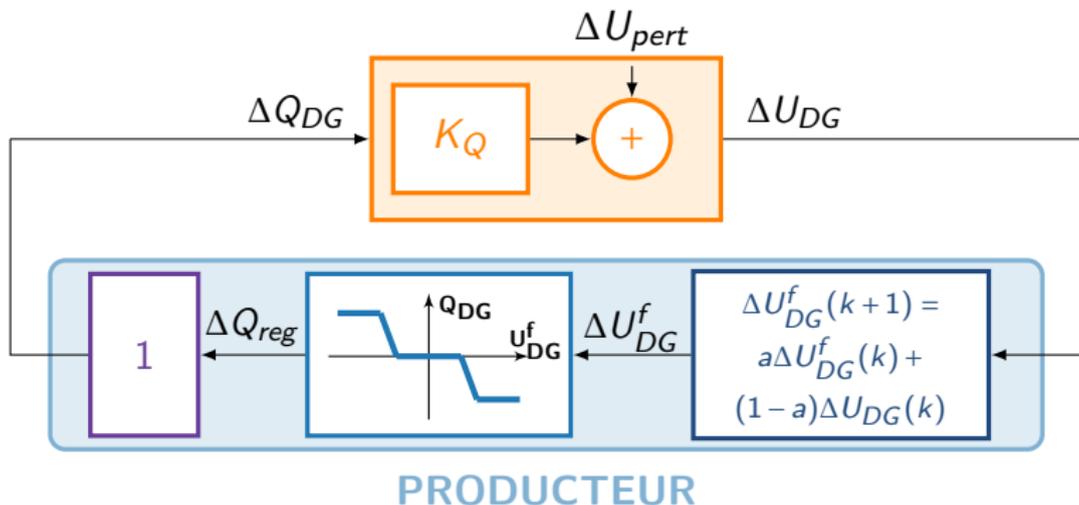
- à temps discret ($T_e = 1s$)
- Ex : Passe-bas 1er ordre
- $a =$ la rapidité ($\Leftrightarrow \tau$)



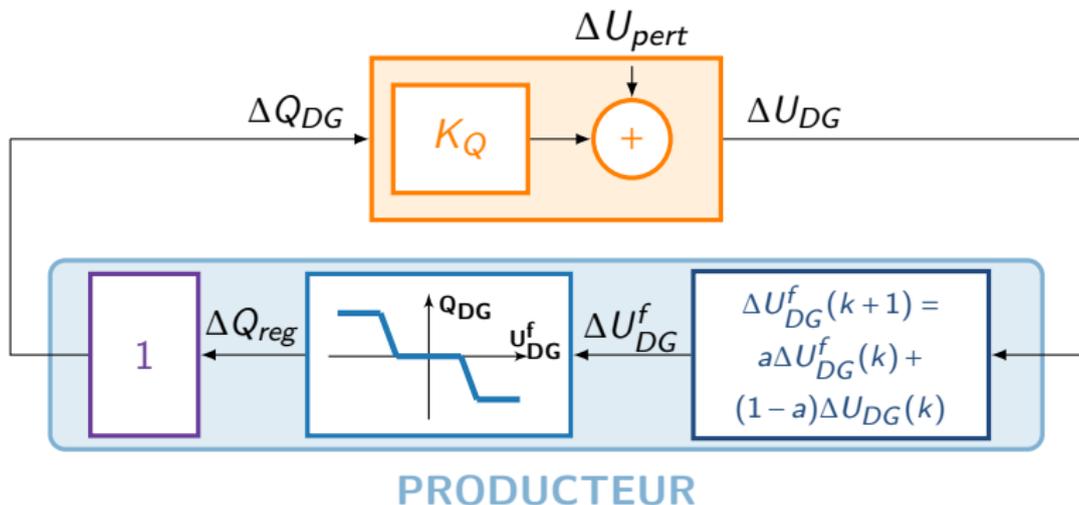
Modélisation du système étudié



Modélisation du système étudié

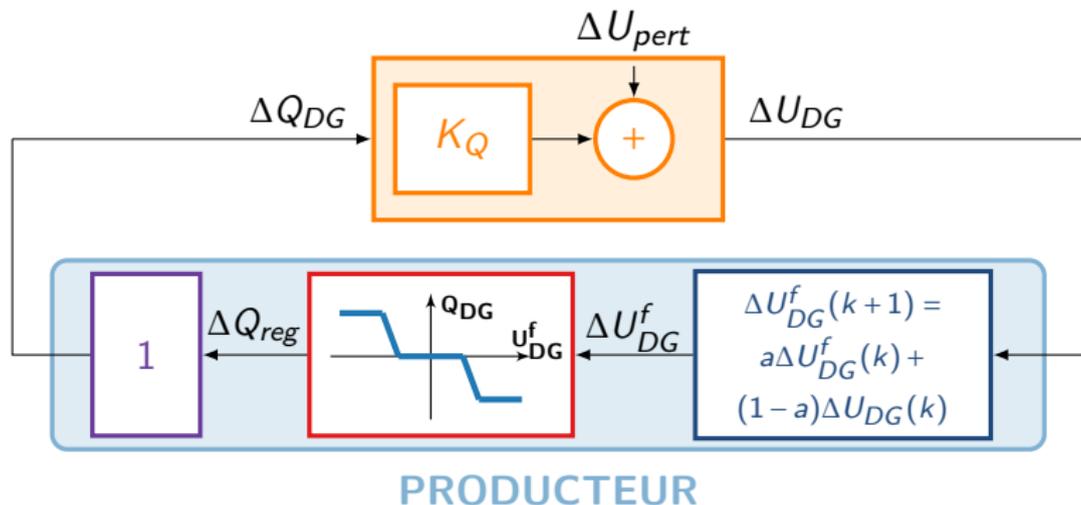


Modélisation du système étudié



Conclusions :

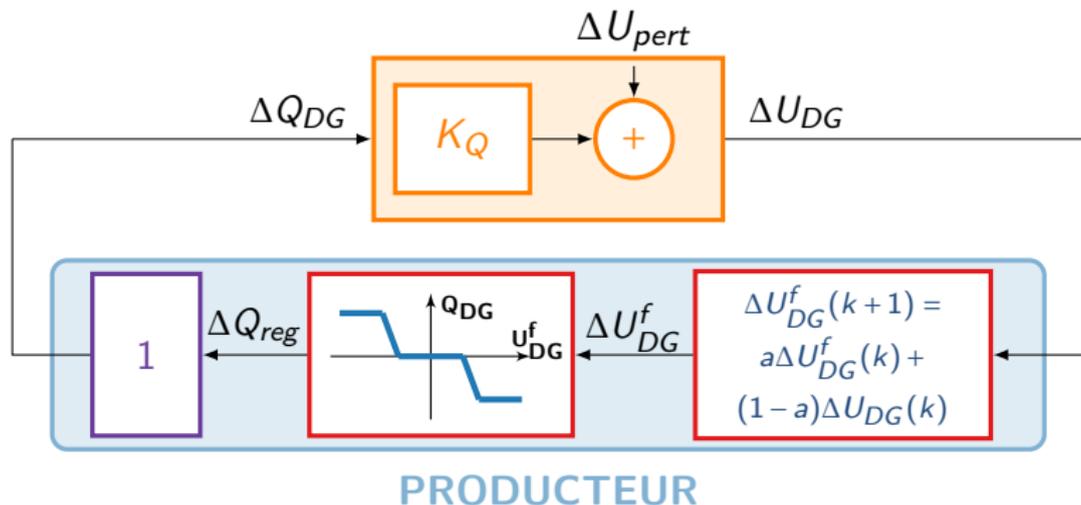
Modélisation du système étudié



Conclusions :

→ Système non-linéaire

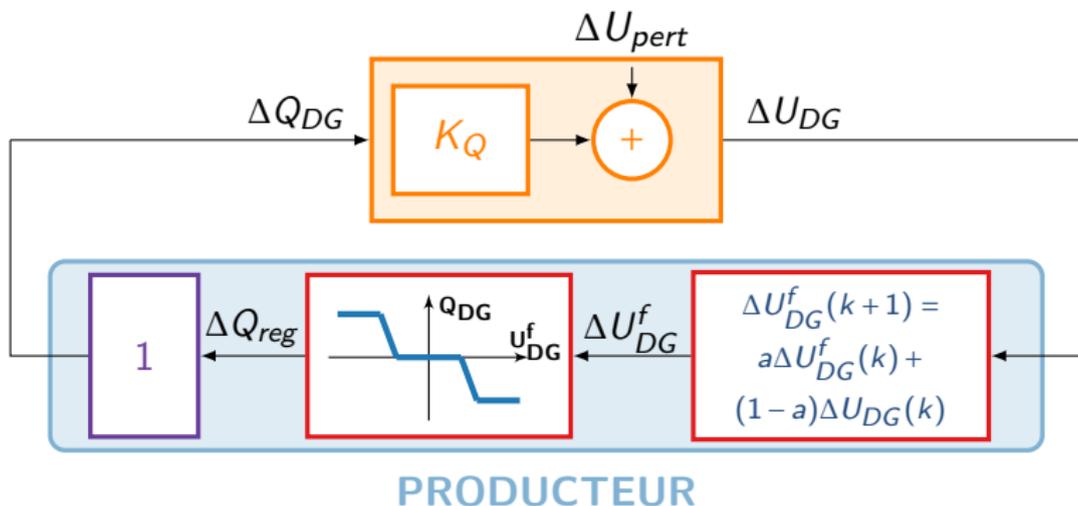
Modélisation du système étudié



Conclusions :

- Système non-linéaire
- Système hybride

Modélisation du système étudié



Conclusions :

- Système non-linéaire
- Système hybride

⇒ **Comment en étudier la stabilité ?**

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

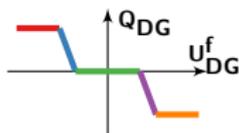
Construire l'abstraction discrète du système ...



[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

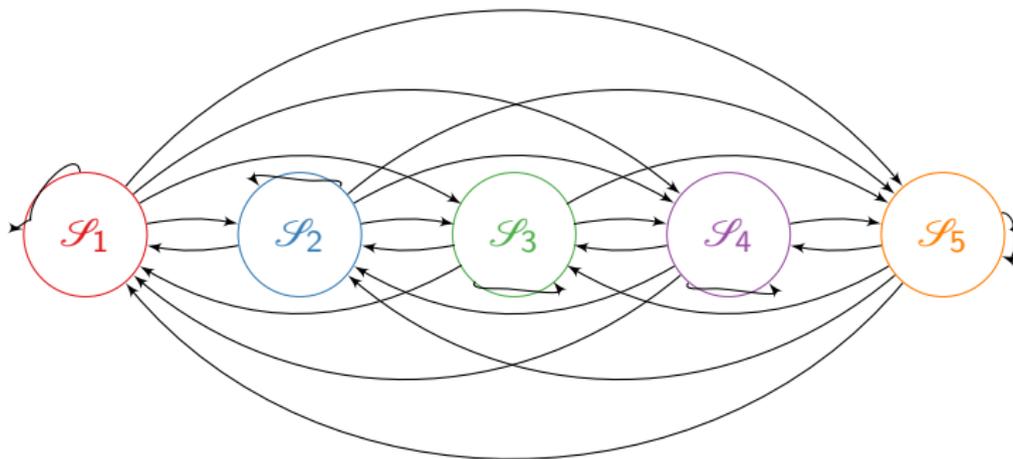
Construire l'abstraction discrète du système ...



[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

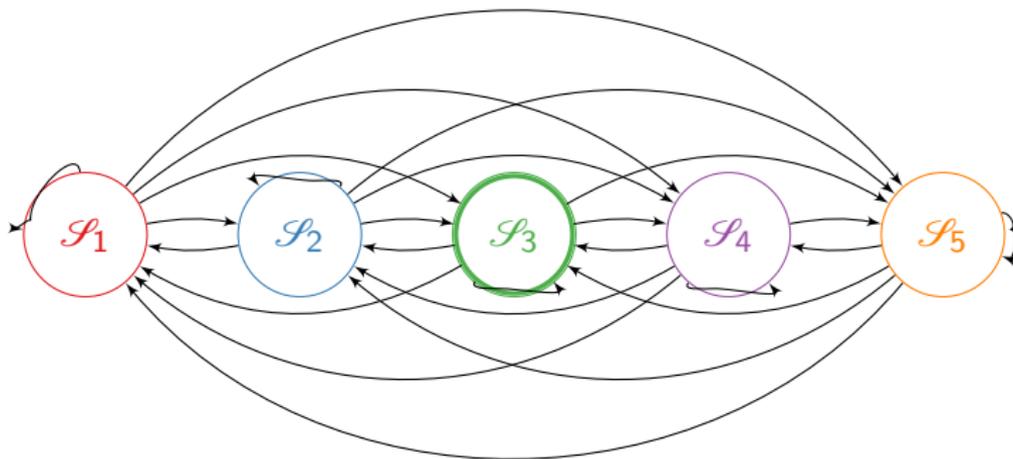


[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

Affiner la partition de l'espace d'état ...

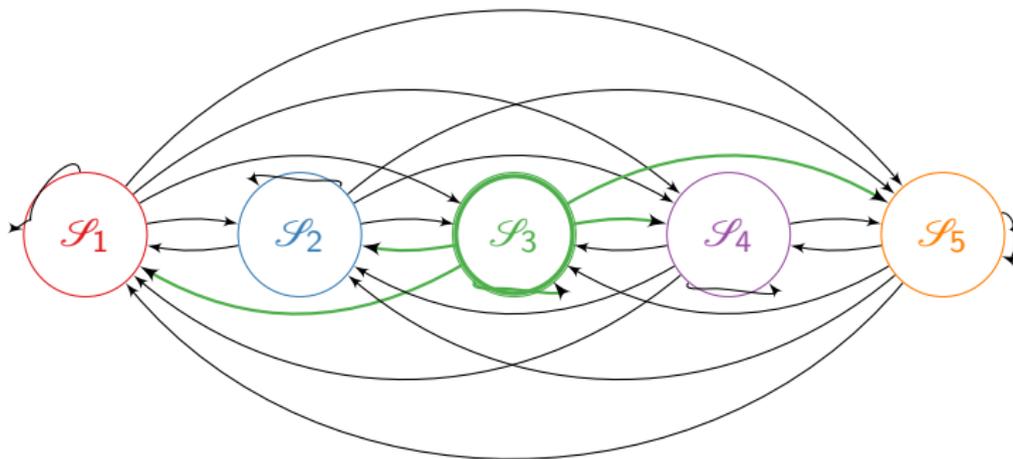


[2] M. Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

Affiner la partition de l'espace d'état ...

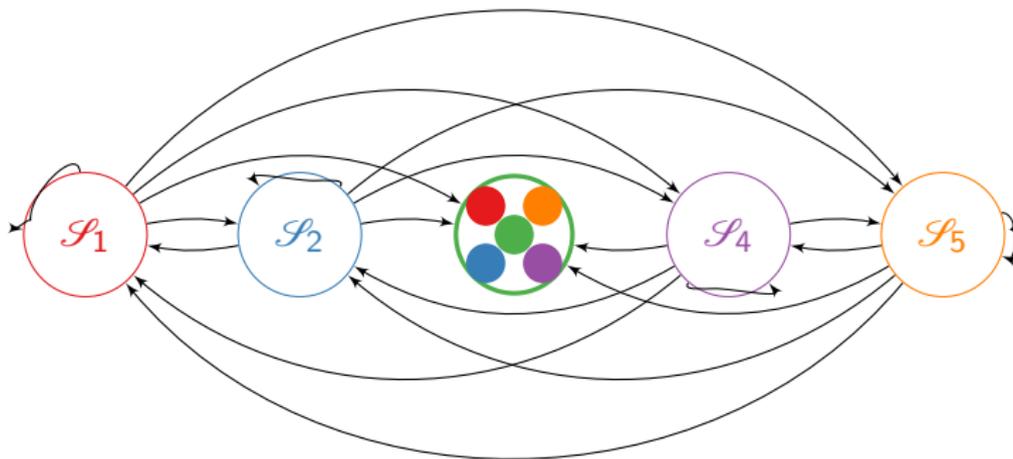


[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

Affiner la partition de l'espace d'état ...

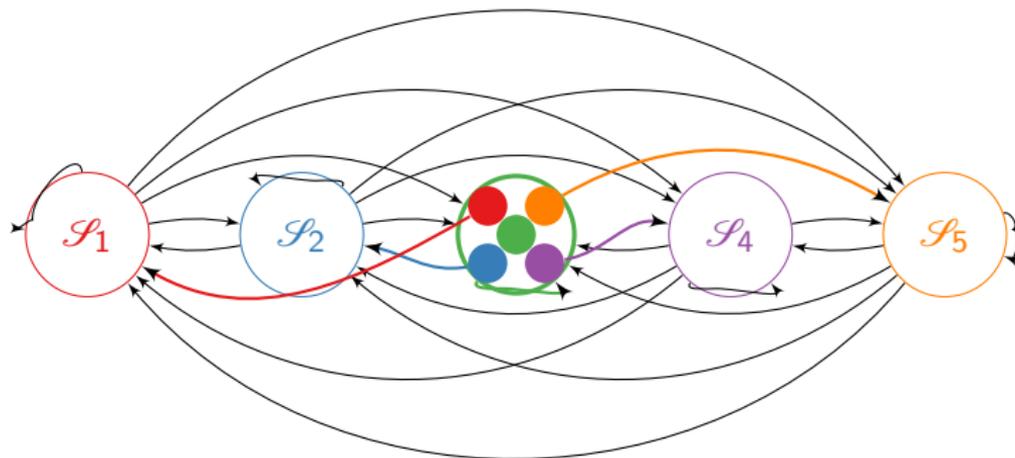


[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

Affiner la partition de l'espace d'état ...

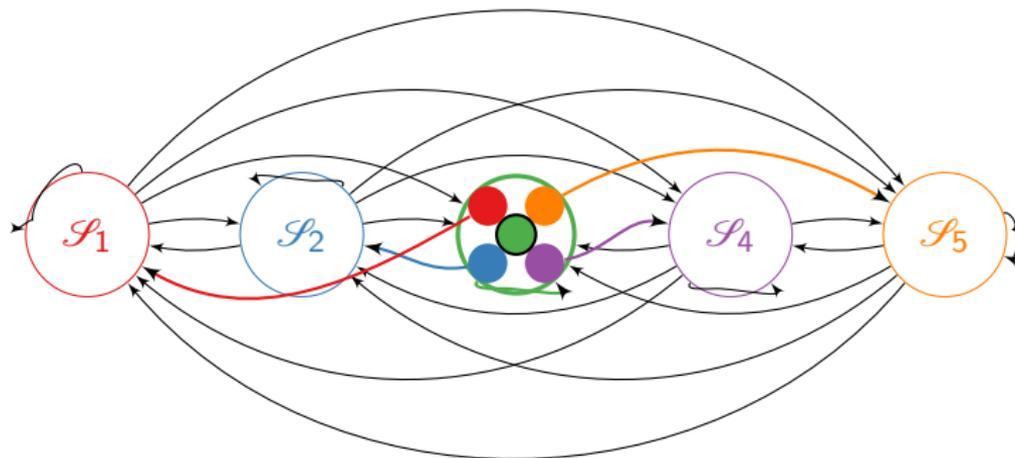


[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

Affiner la partition de l'espace d'état ...



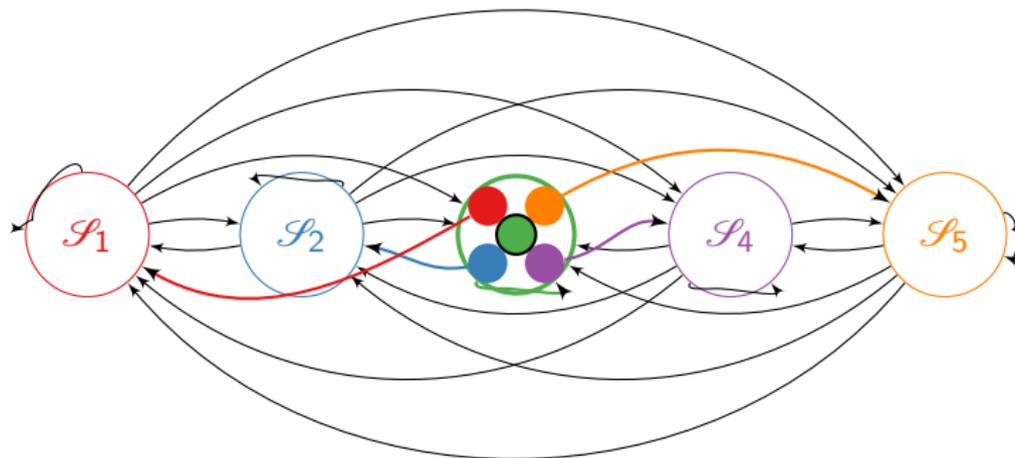
[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Approche proposée pour l'étude de la stabilité

Construire l'abstraction discrète du système ...

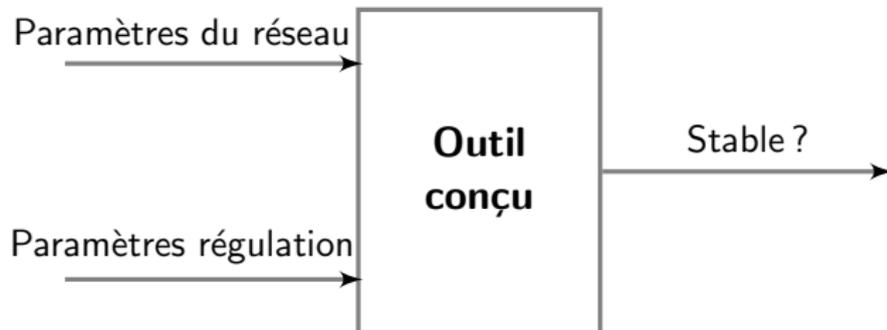
Affiner la partition de l'espace d'état ...

Jusqu'à ce que tous les modes n'aient qu'une seule destination.



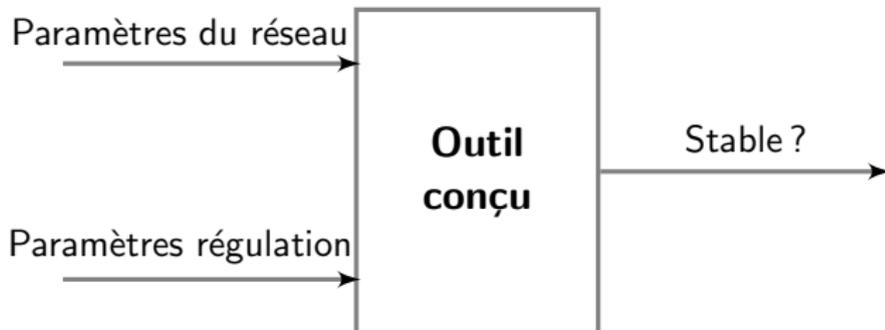
[2] M. Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Conclusion sur l'analyse formelle de la stabilité



[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

Conclusion sur l'analyse formelle de la stabilité



[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA

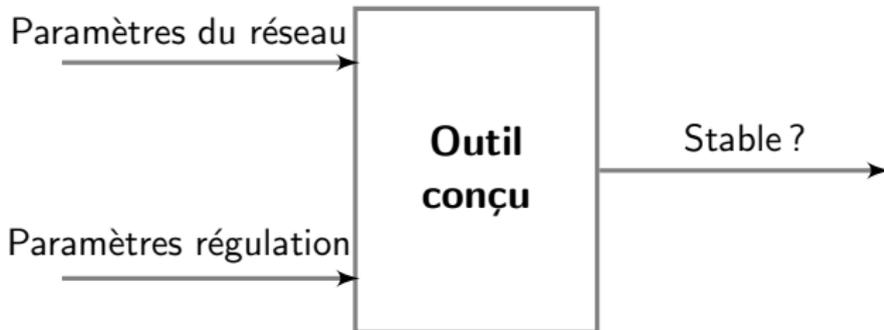


Adapté quels que soient le nombre de producteurs, leur filtre, etc.



Long et complexe

Conclusion sur l'analyse formelle de la stabilité



[2] M.Cosson et al, "Stability Analysis by means of Discrete Abstraction. Application to Voltage Stability of Distributed Generators", présenté à ADHS 2015, Atlanta, USA



Adapté quels que soient le nombre de producteurs, leur filtre, etc.



Long et complexe

⇒ **Comment généraliser les résultats dans des cas simples ?**

$$\mathcal{F}(\text{paramètres du réseau et de la régulation}) > 0$$
$$\Rightarrow$$
$$\text{Stable}$$

- 1 Contexte et objectifs de la thèse
- 2 Méthode d'analyse de la stabilité
- 3 Critère de réglage de stabilité pour un producteur**
- 4 Critère général de stabilité
- 5 Conclusion et perspectives

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Critère de stabilité

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

- un seul producteur

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

- un seul producteur
- filtre passe-bas du 1er ordre

$$\frac{1}{1 + \tau p} \Leftrightarrow \Delta U_{DG_{k+1}}^f = a \Delta U_{DG_k}^f + (1 - a) \Delta U_{DG_k}$$

Critère de stabilité

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

- un seul producteur
- filtre passe-bas du 1er ordre

Paramètres du système :

| Nom | Signification physique |
|----------|---------------------------------|
| K_Q | ~ distance Producteur ↔ PS. |
| α | ~ pouvoir réglant du producteur |
| a | ~ la rapidité du filtre |

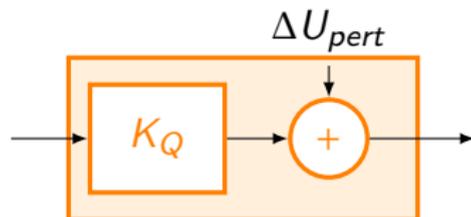
Critère de stabilité

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

- un seul producteur
- filtre passe-bas du 1er ordre

Paramètres du système :



| Nom | Signification physique |
|----------|---------------------------------|
| K_Q | ~ distance Producteur ↔ PS. |
| α | ~ pouvoir réglant du producteur |
| a | ~ la rapidité du filtre |

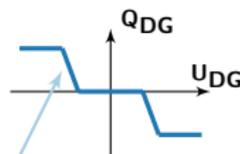
Critère de stabilité

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

- un seul producteur
- filtre passe-bas du 1er ordre

Paramètres du système :



| Nom | Signification physique |
|----------|---------------------------------|
| K_Q | ~ distance Producteur ↔ PS. |
| α | ~ pouvoir réglant du producteur |
| a | ~ la rapidité du filtre |

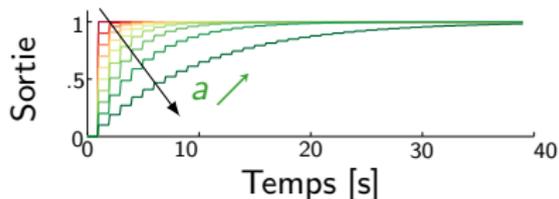
Critère de stabilité

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

- un seul producteur
- filtre passe-bas du 1er ordre

Paramètres du système :



| Nom | Signification physique |
|----------|---------------------------------|
| K_Q | ~ distance Producteur ↔ PS. |
| α | ~ pouvoir réglant du producteur |
| a | ~ la rapidité du filtre |

Critère de stabilité

But : Dégager des règles simplifiées de calcul des paramètres de $Q(U)$ pour faciliter les études de raccordement.

Hypothèses simplificatrices :

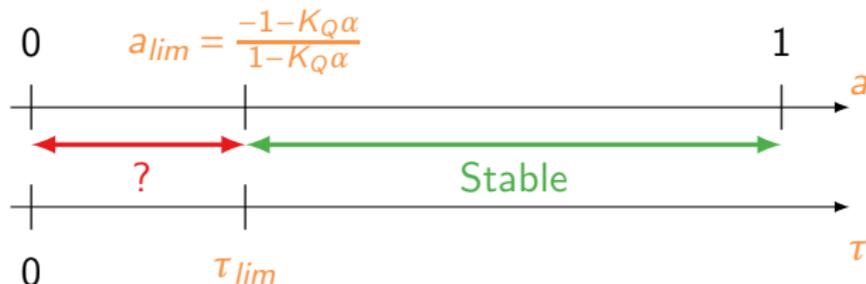
- un seul producteur
- filtre passe-bas du 1er ordre

Paramètres du système :

| Nom | Signification physique |
|----------|---------------------------------|
| K_Q | ~ distance Producteur ↔ PS. |
| α | ~ pouvoir réglant du producteur |
| a | ~ la rapidité du filtre |

Critères de réglage du filtre

Critère de réglage du filtre :



Conclusion :

Si le filtre est suffisamment lent

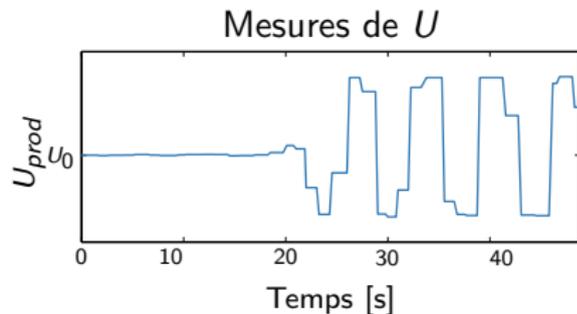
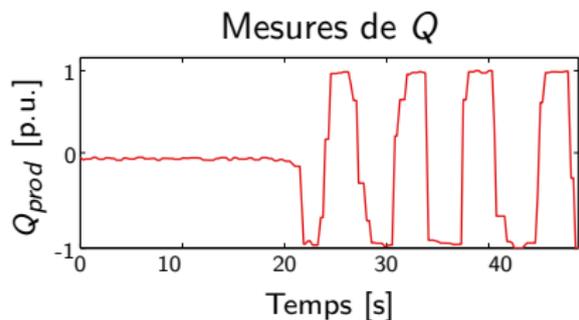
$$\tau > \tau_{lim}$$

⇒

Le système est stable

Application à l'exemple réel

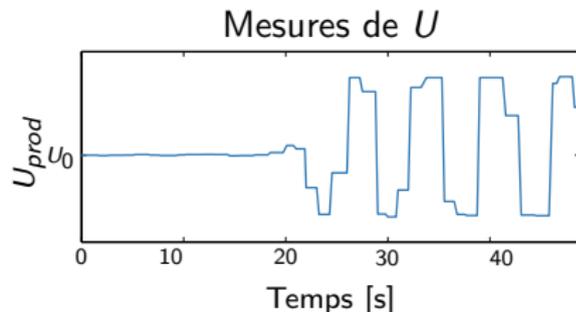
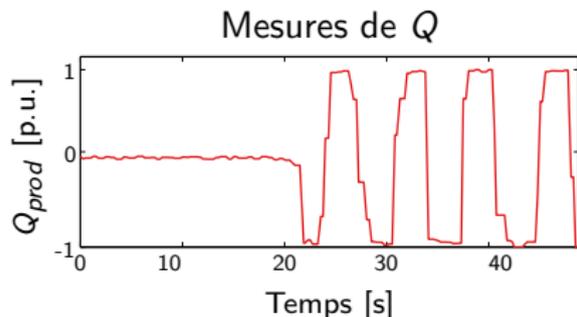
En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.



Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

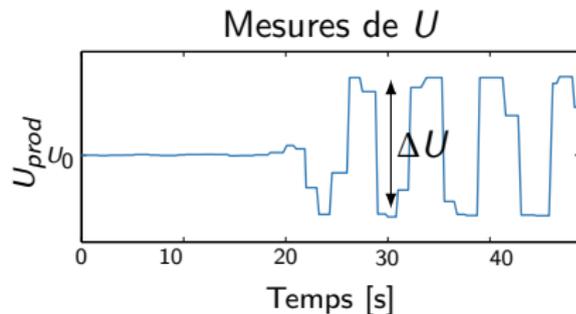
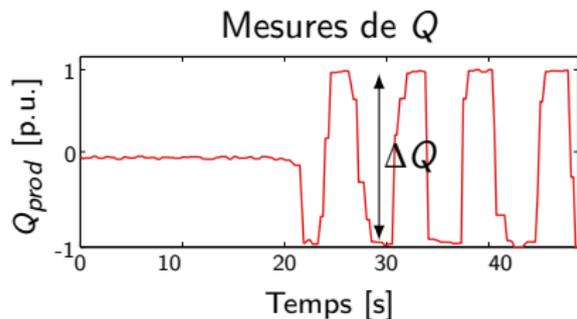
⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie ?



Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie ?

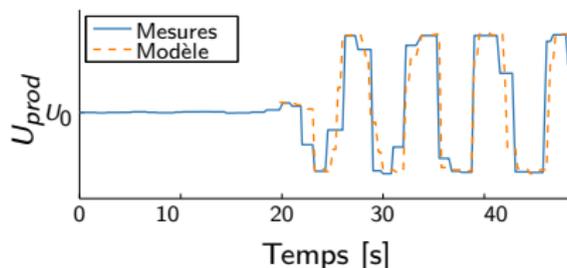


$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est il conforme à la théorie ?

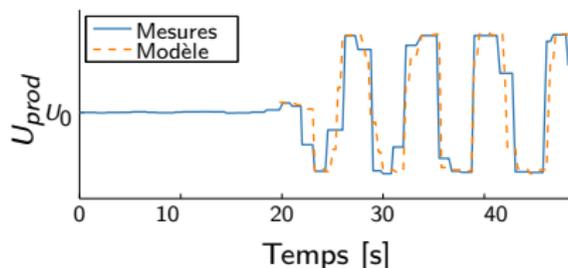


$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$

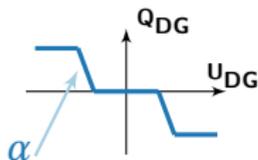
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie ?



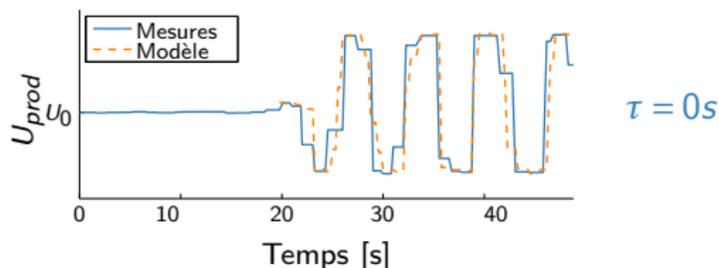
$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



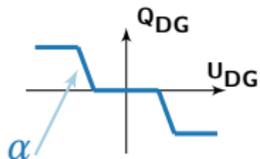
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie ?



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$

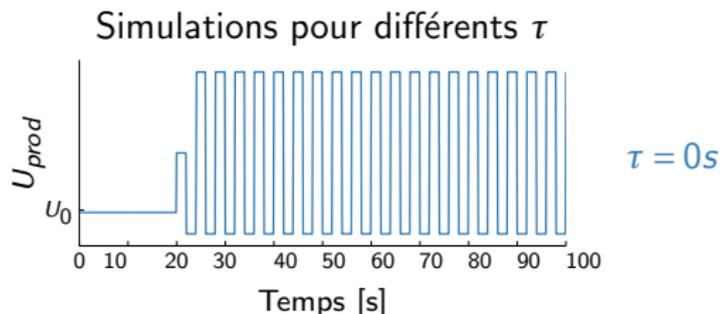


$$\tau_{lim} = 13s$$

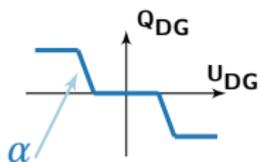
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est il conforme à la théorie ?



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



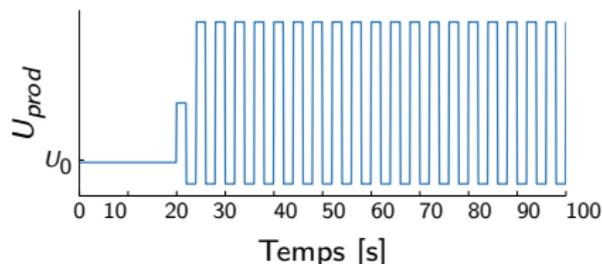
$$\tau_{lim} = 13s$$

Application à l'exemple réel

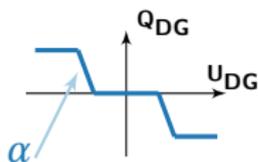
En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**

Simulations pour différents τ



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$

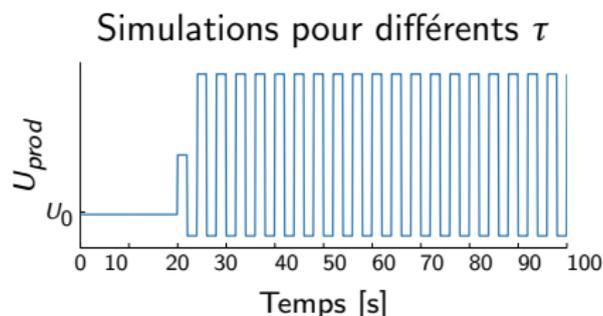


$$\tau_{lim} = 13s$$

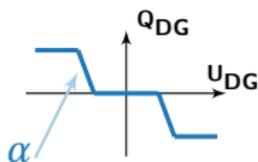
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système?



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13s$$

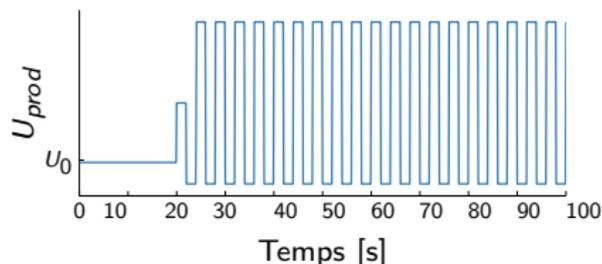
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

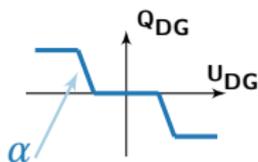
⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**

⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$

Simulations pour différents τ



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13s$$

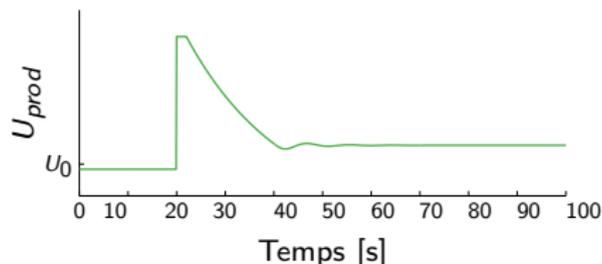
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI

⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$

Simulations pour différents τ



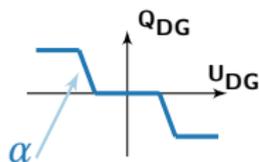
$\tau = 20$ s

$\tau = 14$ s

$\tau = 12$ s

$\tau = 5$ s

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13\text{s}$$

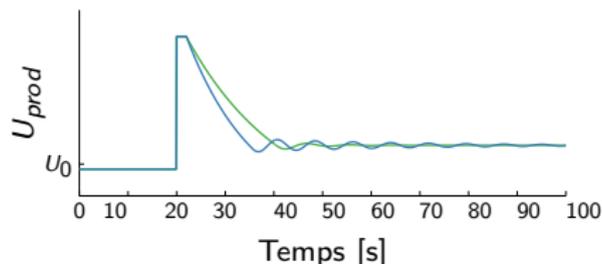
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI

⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$

Simulations pour différents τ



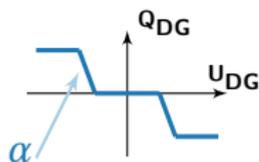
$\tau = 20$ s

$\tau = 14$ s

$\tau = 12$ s

$\tau = 5$ s

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13\text{s}$$

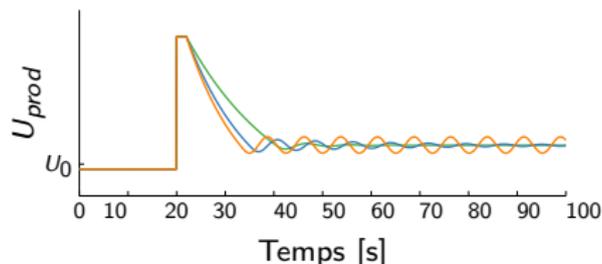
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI

⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$

Simulations pour différents τ



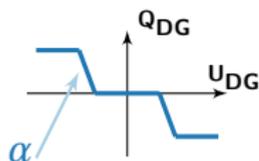
$\tau = 20$ s

$\tau = 14$ s

$\tau = 12$ s

$\tau = 5$ s

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13\text{s}$$

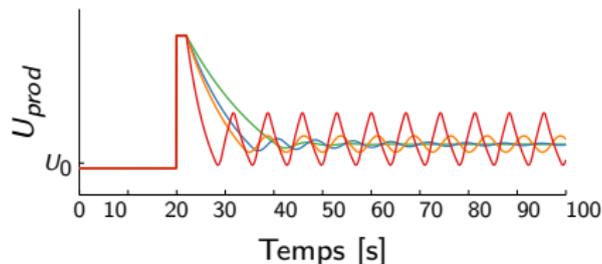
Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI

⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$

Simulations pour différents τ



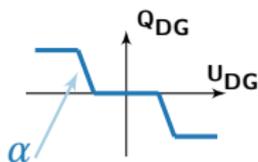
$\tau = 20$ s

$\tau = 14$ s

$\tau = 12$ s

$\tau = 5$ s

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



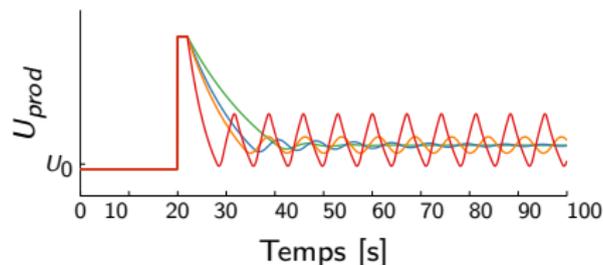
$$\tau_{lim} = 13\text{s}$$

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique?

Simulations pour différents τ



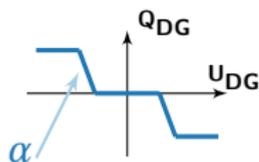
$\tau = 20$ s

$\tau = 14$ s

$\tau = 12$ s

$\tau = 5$ s

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



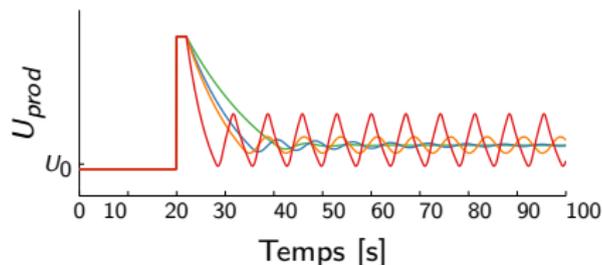
$$\tau_{lim} = 13\text{s}$$

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$

Simulations pour différents τ



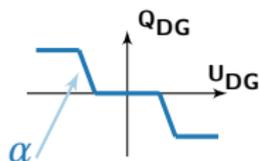
$\tau = 20s$

$\tau = 14s$

$\tau = 12s$

$\tau = 5s$

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



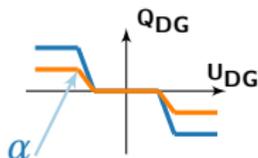
$$\tau_{lim} = 13s$$

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



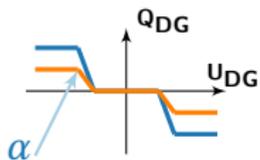
$$\tau_{lim} = 13s$$

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$

$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13s$$

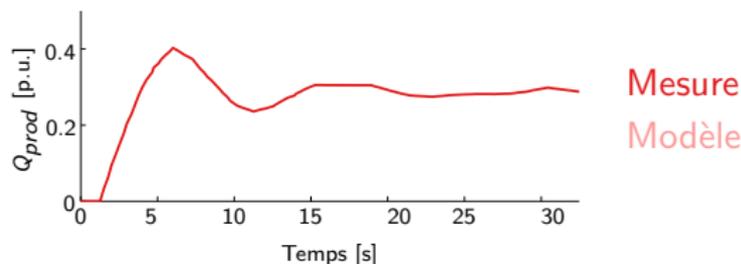
$$\tau_{lim} = 3s$$

Application à l'exemple réel

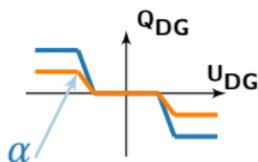
En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$

Profils de Q pour $\tau = 6s$



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



$$\tau_{lim} = 13s$$

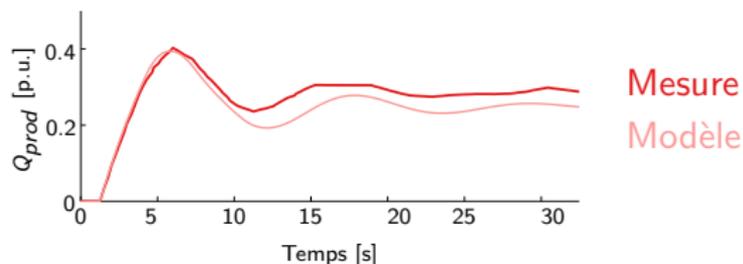
$$\tau_{lim} = 3s$$

Application à l'exemple réel

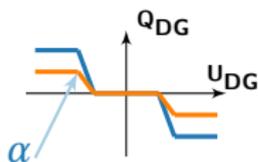
En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? **OUI**
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$

Profils de Q pour $\tau = 6s$



$$K_Q = 17 \text{ V/kVAr}$$



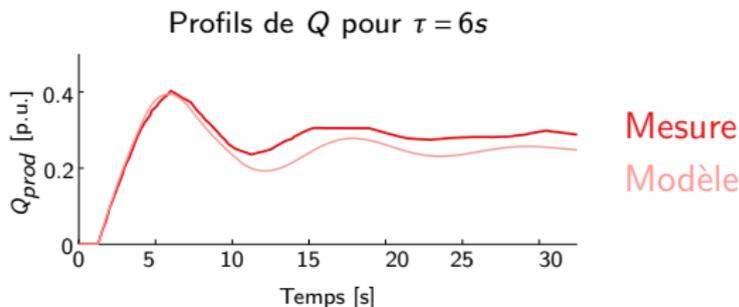
$$\tau_{lim} = 13s$$

$$\tau_{lim} = 3s$$

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$



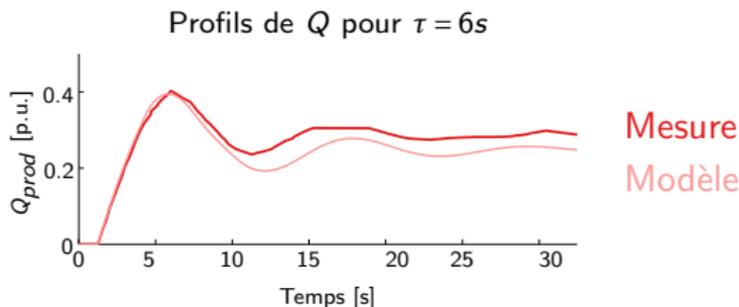
Conclusion :

Le critère est validé sur un exemple.

Application à l'exemple réel

En pratique, sans filtre de mesure, le système est instable.

- ⇒ Ce comportement est-il conforme à la théorie? OUI
- ⇒ Comment assurer la stabilité du système? $\tau > \tau_{lim}$
- ⇒ Qu'a-t-on fait en pratique? $\alpha \searrow$ et $\tau = 6s$



Conclusion :

Le critère est validé sur un exemple.

⇒ Et à N producteurs?

Et à plusieurs producteurs ?



Stable



Stable



Stable



Stable



Stable

Et à plusieurs producteurs ?



Et à plusieurs producteurs ?



Conjecture : Le critère à un producteur peut s'étendre à N producteurs

Toutes les dynamiques linéaires sont stables \implies Le système est stable

Et à plusieurs producteurs ?



Conjecture : Le critère à un producteur peut s'étendre à N producteurs

Toutes les dynamiques linéaires sont stables \implies Le système est stable

Démonstration : ???

Et à plusieurs producteurs ?



Conjecture : Le critère à un producteur peut s'étendre à N producteurs

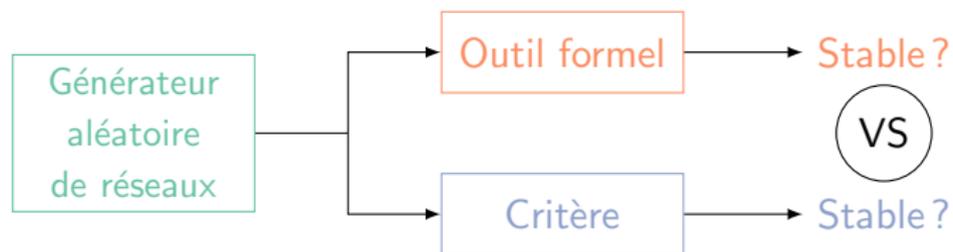
Toutes les dynamiques linéaires sont stables \implies Le système est stable

Démonstration : ???

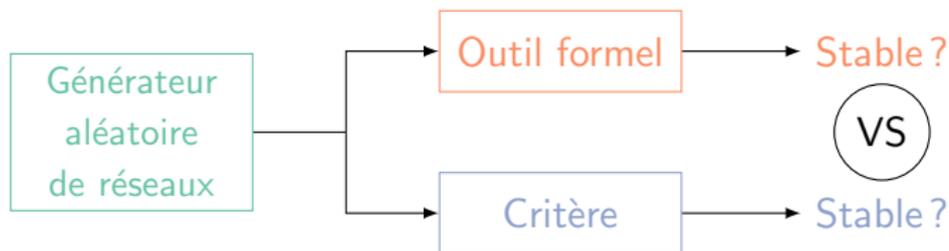


Faire une étude statistique

Et à plusieurs producteurs : Faire une étude statistique

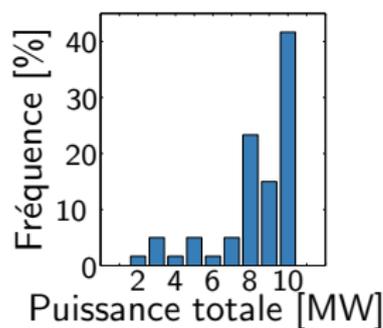
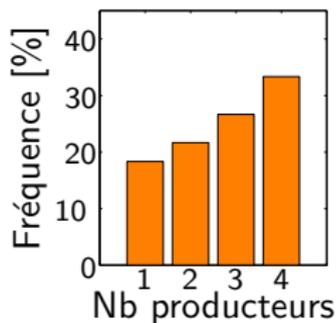


Et à plusieurs producteurs : Faire une étude statistique

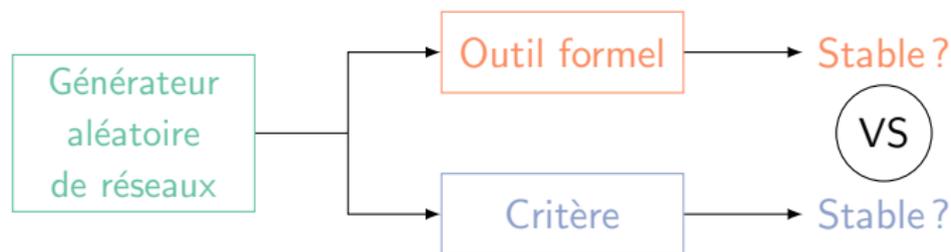


Quelques détails sur les scénarios :

60 scénarios chacun testés avec 6 réglages de filtre



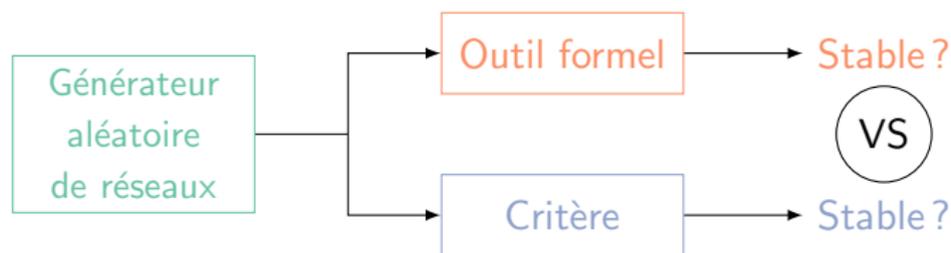
Et à plusieurs producteurs : Faire une étude statistique



Conclusion :

100%
Critère stable \Rightarrow Système stable
Critère instable \Rightarrow Système instable
87.4%

Et à plusieurs producteurs : Faire une étude statistique

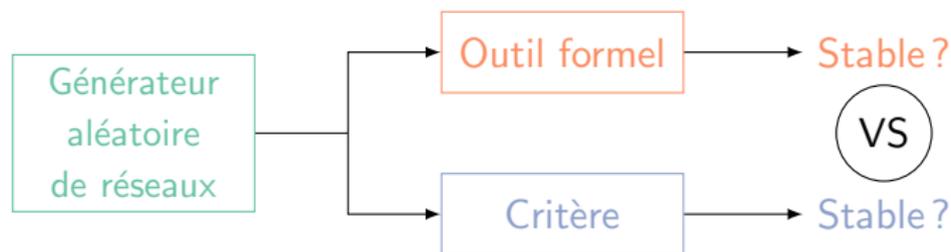


Conclusion :

100%
Critère stable \Rightarrow Système stable
Critère instable \Rightarrow Système instable
87.4%

Le critère semble être une condition suffisante à la stabilité

Et à plusieurs producteurs : Faire une étude statistique



Conclusion :

100%
Critère stable \Rightarrow Système stable
Critère instable \Rightarrow Système instable
87.4%

Le critère semble être une condition suffisante à la stabilité



Peut-on généraliser les résultats pour proposer un réglage valable dans tous les cas ?

- 1 Contexte et objectifs de la thèse
- 2 Méthode d'analyse de la stabilité
- 3 Critère de réglage de stabilité pour un producteur
- 4 Critère général de stabilité
- 5 Conclusion et perspectives

Généralisation du critère de stabilité pour **UN** producteur



Définir le "pire cas" pour exprimer $\overline{a_{lim}}$.

Si $a > \overline{a_{lim}}$ **alors** le filtre stabilise tous les systèmes.



Définir le "pire cas" pour exprimer $\overline{a_{lim}}$.

Si $a > \overline{a_{lim}}$ **alors** le filtre stabilise tous les systèmes.

Influence des paramètres sur a_{lim} :

- Plus le **producteur est gros**, plus a_{lim} ↗
- Plus le **producteur est loin**, plus a_{lim} ↗

Généralisation du critère de stabilité pour **UN** producteur



Définir le "pire cas" pour exprimer \overline{a}_{lim} .

Si $a > \overline{a}_{lim}$ **alors** le filtre stabilise tous les systèmes.

Influence des paramètres sur a_{lim} :

- Plus le **producteur est gros**, plus $a_{lim} \nearrow$
- Plus le **producteur est loin**, plus $a_{lim} \nearrow$



$$\left. \begin{array}{l} P_{prod} = 6 \text{ MW} \\ d_{prod \leftrightarrow PS} = 40 \text{ km} \end{array} \right\} \overline{a}_{lim} = 0,65 \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\tau}_{lim} = 3s$$

Généralisation du critère de stabilité pour **UN** producteur



Définir le "pire cas" pour exprimer \overline{a}_{lim} .

Si $a > \overline{a}_{lim}$ **alors** le filtre stabilise tous les systèmes.

Influence des paramètres sur a_{lim} :

- Plus le **producteur est gros**, plus $a_{lim} \nearrow$
- Plus le **producteur est loin**, plus $a_{lim} \nearrow$



$$\left. \begin{array}{l} P_{prod} = 6 \text{ MW} \\ d_{prod \leftrightarrow PS} = 40 \text{ km} \end{array} \right\} \overline{a}_{lim} = 0,65 \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\tau}_{lim} = 3s$$

Conclusion :

Si le filtre est **suffisamment lent** i.e. $\tau > 3 \text{ s}$



Le fonctionnement sera **stable quel que soit le réseau**

Généralisation du critère de stabilité pour **UN** producteur



Définir le "pire cas" pour exprimer \overline{a}_{lim} .

Si $a > \overline{a}_{lim}$ **alors** le filtre stabilise tous les systèmes.

Influence des paramètres sur a_{lim} :

- Plus le **producteur est gros**, plus $a_{lim} \nearrow$
- Plus le **producteur est loin**, plus $a_{lim} \nearrow$



$$\left. \begin{array}{l} P_{prod} = 6 \text{ MW} \\ d_{prod \leftrightarrow PS} = 40 \text{ km} \end{array} \right\} \overline{a}_{lim} = 0,65 \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\tau}_{lim} = 3s$$

Conclusion :

Si le filtre est **suffisamment lent** i.e. $\tau > 3 \text{ s}$

\Rightarrow

Le fonctionnement sera **stable quel que soit le réseau**

\Rightarrow Et à N producteurs ?

Généralisation du critère de stabilité pour N producteurs

Problème : Le critère n'est pas explicite

⇒ Comment définir le pire cas ?

Généralisation du critère de stabilité pour N producteurs

Problème : Le critère n'est pas explicite

⇒ Comment définir le pire cas ?



On peut montrer que :

N producteurs de puissance
 P_i répartis sur un réseau

a_{lim_N}



Un producteur de puissance ΣP_i
au bout de la plus longue ligne



$a_{lim_{\Sigma N}}$

Généralisation du critère de stabilité pour N producteurs

Problème : Le critère n'est pas explicite

⇒ Comment définir le pire cas ?



On peut montrer que :

N producteurs de puissance
 P_i répartis sur un réseau

a_{lim_N}



Un producteur de puissance ΣP_i
au bout de la plus longue ligne

$a_{lim_{\Sigma N}}$

Conclusion :

Les cas à N producteurs sont toujours **moins contraignants** que le pire cas défini à 1 producteur
 $\tau > 3s \Rightarrow$ Le système est stable

Discussion de l'ordre de grandeur

Comparaison avec quelques exemples de grid codes :

Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Réglage $Q(U)$ doit répondre en moins de 10 secondes

Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Réglage $Q(U)$ doit répondre en moins de 10 secondes



Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Réglage $Q(U)$ doit répondre en moins de 10 secondes



Réglage $Q(U)$ doit répondre entre 10 et 60 secondes

Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Réglage $Q(U)$ doit répondre en moins de 10 secondes



Réglage $Q(U)$ doit répondre entre 10 et 60 secondes



Discussion de l'ordre de grandeur

Comparaison avec quelques exemples de grid codes :



Réglage $Q(U)$ spécifié mais sans contrainte dynamique



Réglage $Q(U)$ doit répondre en moins de 10 secondes



Réglage $Q(U)$ doit répondre entre 10 et 60 secondes

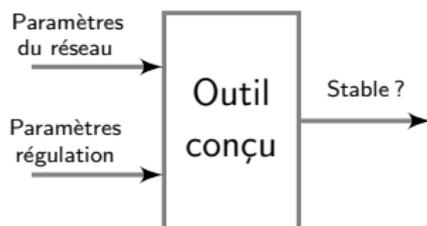


Que devient le critère de stabilité avec une moyenne glissante ?

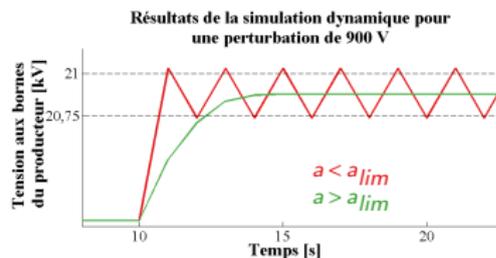
Plan

- 1 Contexte et objectifs de la thèse
- 2 Méthode d'analyse de la stabilité
- 3 Critère de réglage de stabilité pour un producteur
- 4 Critère général de stabilité
- 5 Conclusion et perspectives

Construire un outil d'analyse de la stabilité



Formuler un critère de stabilité



Proposer un réglage à intégrer aux codes de réseaux



$$\tau > 3s$$

Étudier les interactions avec :

- ★ des filtres différents
- ★ d'autres acteurs
- ★ d'autres régulations

Rédiger le mémoire !

Merci de votre attention
Avez vous des questions ?