

# La sécurisation des infrastructures critiques

recherche d'une méthodologie d'identification des vulnérabilités et  
modélisation des interdépendances

Benoit ROZEL

G2Elab – Grenoble INP

15 janvier 2010



Encadrants : N. HADJSAÏD, R. CAIRE, J.-P. ROGNON

## But

Modéliser les **interdépendances** des **infrastructures critiques** en vue de leur **sécurisation**

## But

Modéliser les **interdépendances** des **infrastructures critiques** en vue de leur **sécurisation**

## Infrastructures critiques

Ensemble des systèmes  
essentiels

## But

Modéliser les **interdépendances** des **infrastructures critiques** en vue de leur **sécurisation**

## Interdépendances

Interactions entre les systèmes pouvant mener à des **défaillances**

## Infrastructures critiques

Ensemble des systèmes essentiels

## But

Modéliser les **interdépendances** des **infrastructures critiques** en vue de leur **sécurisation**

## Interdépendances

Interactions entre les systèmes pouvant mener à des **défaillances**

## Infrastructures critiques

Ensemble des systèmes essentiels

## Sécuriser

Éviter les défaillances du système électrique les plus fréquentes ou inacceptables

- 1 Contexte
  - Enjeux
  - Objectifs
  - État de l'art
- 2 Cosimulateur multi-infrastructures
  - Approche
  - Structure du simulateur
  - Bilan
- 3 Modélisation multi-infrastructures
  - Proposition
  - Réalisation logicielle
  - Résultats
- 4 Conclusions et perspectives

- 1 Contexte
  - Enjeux
  - Objectifs
  - État de l'art
- 2 Cosimulateur multi-infrastructures
  - Approche
  - Structure du simulateur
  - Bilan
- 3 Modélisation multi-infrastructures
  - Proposition
  - Réalisation logicielle
  - Résultats
- 4 Conclusions et perspectives



## Des contraintes plus fortes sur l'infrastructure électrique

- Utilisation et **dépendance croissante** des TIC par l'infrastructure électrique
- Augmentation de la **complexité** de ces infrastructures





## Des contraintes plus fortes sur l'infrastructure électrique

- Utilisation et **dépendance croissante** des TIC par l'infrastructure électrique
- Augmentation de la **complexité** de ces infrastructures

## Origine des défaillances

- Événements naturels
- Erreurs humaines
- Malveillances

## 3 familles de défaillances

### Cascade

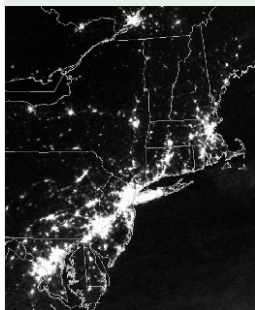
Défaillance en **provoque** une autre

# 3 familles de défaillances

## Cascade

Défaillance en **provoque** une autre

14/08/2003 – Côte Est



Crédit : NOAA/DMSF

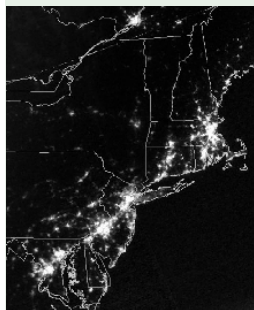
- 1 Bogue informatique
- 2 Défaillance du système d'alarme et de supervision
- 3 Retard de la réaction des opérateurs

# 3 familles de défaillances

## Cascade

Défaillance en **provoque** une autre

14/08/2003 – Côte Est



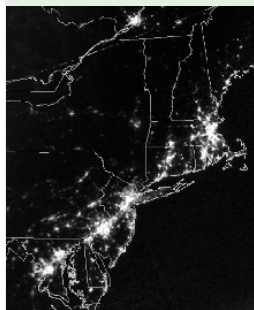
Crédit : NOAA/DMSF

- 1 Bogue informatique
- 2 Défaillance du système d'alarme et de supervision
- 3 Retard de la réaction des opérateurs

## Cascade

Défaillance en **provoque** une autre

### 14/08/2003 – Côte Est



Crédit : NOAA/DMSP

- 1 Bogue informatique
- 2 Défaillance du système d'alarme et de supervision
- 3 Retard de la réaction des opérateurs

### 19/08/2006 – Alabama

- 1 PLC défectueux
- 2 Surcharge du réseau de communication
- 3 Arrêt d'une tranche de centrale nucléaire

### Aggravation

**Interaction** entre 2 infrastructures provoque une augmentation de la sévérité et de l'indisponibilité

# 3 familles de défaillances

## Aggravation

**Interaction** entre 2 infrastructures provoque une augmentation de la sévérité et de l'indisponibilité

28/09/2003 – Italie



Crédit : Photomontage d'après *Living Earth*

- 1 Panne du réseau électrique
- 2 Épuisement des ASI locales
- 3 Indisponibilité des moyens de supervision
- 4 Complication de la remise en service

# 3 familles de défaillances

## Aggravation

**Interaction** entre 2 infrastructures provoque une augmentation de la sévérité et de l'indisponibilité

28/09/2003 – Italie



Crédit : Photomontage d'après *Living Earth*

- 1 Panne du réseau électrique
- 2 Épuisement des ASI locales
- 3 Indisponibilité des moyens de supervision
- 4 Complication de la remise en service



# 3 familles de défaillances

## Mode commun

Défaillances simultanées de plusieurs éléments ayant une cause externe **identique**



## Grands systèmes inter-connectés

Réseaux hétérogènes composés de milliers ou millions de nœuds dont la structure est irrégulière, complexe et évolue dynamiquement dans le temps

## Grands systèmes inter-connectés

Réseaux hétérogènes composés de milliers ou millions de nœuds dont la structure est irrégulière, complexe et évolue dynamiquement dans le temps

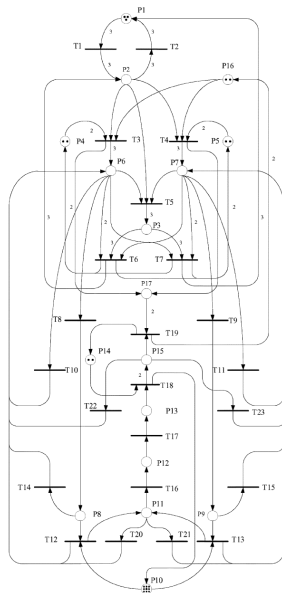
**Modélisation**

**Évaluation de  
la sécurité**

**Parades**

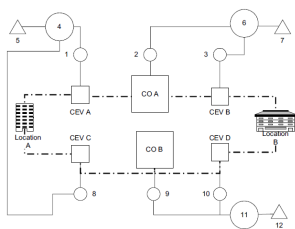
## Objectifs

- Intégration des infrastructures dans un modèle **unifié**
- Mise en évidence des **modes** communs **de défaillances** et des effets de cascade
- Caractérisation de la **criticité**
- Recherche des **points** les plus **faibles**, qui ne sont pas nécessairement des éléments physiques



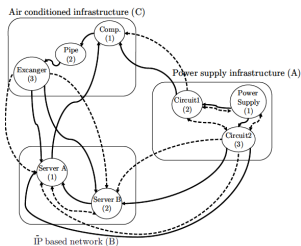
## Approches utilisées dans la littérature

- Réseaux de Petri



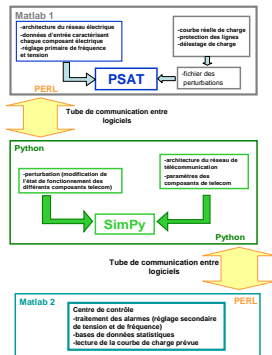
## Approches utilisées dans la littérature

- Réseaux de Petri
- Graphes approvisionnement/demande



## Approches utilisées dans la littérature

- Réseaux de Petri
- Graphes approvisionnement/demande
- Modélisation basée sur agents



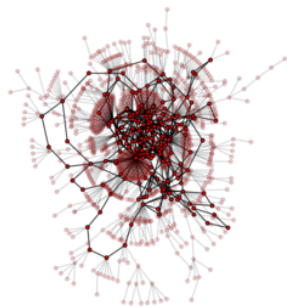
## Approches utilisées dans la littérature

- Réseaux de Petri
- Graphes approvisionnement/demande
- Modélisation basée sur agents

## Approches explorées

- Cosimulation multi-infrastructure





## Approches utilisées dans la littérature

- Réseaux de Petri
- Graphes approvisionnement/demande
- Modélisation basée sur agents

## Approches explorées

- Cosimulation multi-infrastructure
- Théorie des réseaux complexes

- 1 Contexte
  - Enjeux
  - Objectifs
  - État de l'art
- 2 **Cosimulateur multi-infrastructures**
  - Approche
  - Structure du simulateur
  - Bilan
- 3 Modélisation multi-infrastructures
  - Proposition
  - Réalisation logicielle
  - Résultats
- 4 Conclusions et perspectives

## Visée

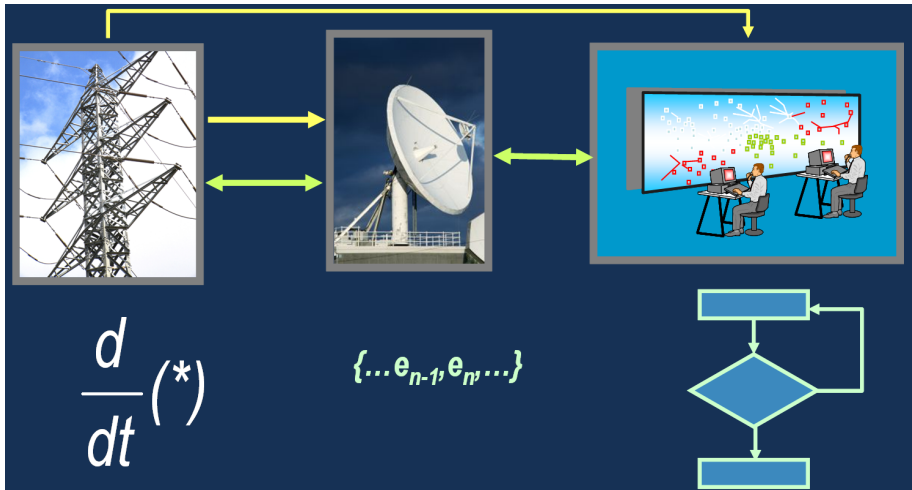
Étude d'événements comme les récentes pannes généralisées :  
**stabilité moyen long terme**

## Visée

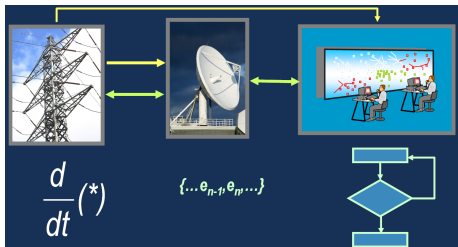
Étude d'événements comme les récentes pannes généralisées :  
**stabilité moyen long terme**

- Développement d'un **cosimulateur multi-infrastructures** et d'un cas d'étude complet (non présenté ici)
- Réalisation pendant un stage de M2R (Maria Viziteu – juin 2007)

# Structure du simulateur

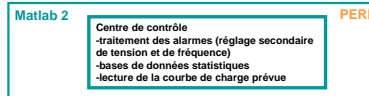
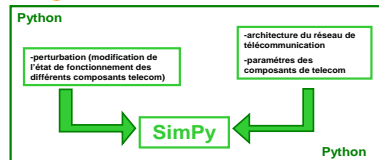
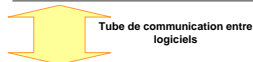
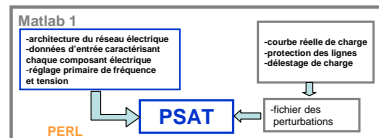


# Structure du simulateur



## Logiciels

Basé sur 3 outils dédiés et une communication inter-processus





- **Cosimulateur** multi-plateforme, extensible, modulaire et très flexible
- L'outil développé démontre les **effets de défaillances** d'une infrastructure sur les autres
- Une **meilleure compréhension** des interdépendances peut être obtenue en utilisant des outils qui permettent de simuler la réalité



- **Cosimulateur** multi-plateforme, extensible, modulaire et très flexible
  - L'outil développé démontre les **effets de défaillances** d'une infrastructure sur les autres
  - Une **meilleure compréhension** des interdépendances peut être obtenue en utilisant des outils qui permettent de simuler la réalité
- 
- Temps de calcul important par scénario
  - Une autre approche est souhaitable pour des études systématiques sur grands réseaux



- 1 Contexte
  - Enjeux
  - Objectifs
  - État de l'art
- 2 Cosimulateur multi-infrastructures
  - Approche
  - Structure du simulateur
  - Bilan
- 3 **Modélisation multi-infrastructures**
  - Proposition
  - Réalisation logicielle
  - Résultats
- 4 Conclusions et perspectives

## Objectifs

- 1 Caractérisation de la **criticité**
- 2 Un modèle **commun / unique** de modélisation
- 3 Mise en évidence des **modes** communs **de défaillances** et des effets de cascade
- 4 Recherche des **points** les plus **faibles**, qui ne sont pas nécessairement des éléments physiques

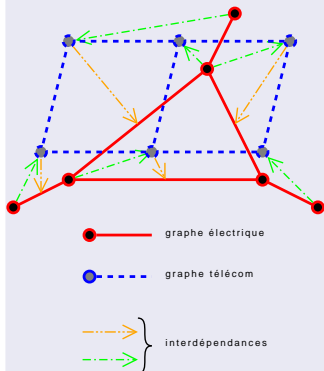
## Objectifs

- 1 Caractérisation de la **criticité**
- 2 Un modèle **commun / unique** de modélisation
- 3 Mise en évidence des **modes** communs **de défaillances** et des effets de cascade
- 4 Recherche des **points** les plus **faibles**, qui ne sont pas nécessairement des éléments physiques

## Cadre

- Approche complémentaire à la simulation comportementale
- Limitation de l'étude à l'infrastructure électrique et au système associé de contrôle basé sur les TIC

## Approche inspirée de la théorie des réseaux complexes



### 2 graphes

- composés de nœuds et de liens (ou lignes)
- reliés par des règles d'interdépendances

réseau	nœuds	liens
élec	générateurs consommateurs	lignes câbles transformateurs
com	routeurs	filaire optique hertzien

### Valeurs associées à chaque élément

	nœud élec	ligne élec	nœud com	lien com
<b>état fonctionnel</b>	✓	✓	✓	✓
<b>référence géographique</b>	✓	✓	✓	✓

### Valeurs associées à chaque élément

	nœud élec	ligne élec	nœud com	lien com
<b>état fonctionnel</b>	✓	✓	✓	✓
<b>référence géographique</b>	✓	✓	✓	✓
<b>description</b>	✓		✓	

### Valeurs associées à chaque élément

	nœud élec	ligne élec	nœud com	lien com
<b>état fonctionnel</b>	✓	✓	✓	✓
<b>référence géographique</b>	✓	✓	✓	✓
<b>description</b>	✓		✓	
<b>charge</b>		✓	✓	
<b>charge maximale</b>		✓	✓	

### Valeurs associées à chaque élément

	nœud élec	ligne élec	nœud com	lien com
<b>état fonctionnel</b>	✓	✓	✓	✓
<b>référence géographique</b>	✓	✓	✓	✓
<b>description</b>	✓		✓	
<b>charge</b>		✓	✓	
<b>charge maximale</b>		✓	✓	
<b>alimentation</b>			✓	



## Charge des lignes calculées par *DC load flow*

- On néglige  $Q$ ,  $R$  et  $C$
- On considère  $V$  à sa valeur nominale
- Si  $N$  est le nombre de nœuds,  $N$  équations linéaires et  $N$  inconnues
- Permet de réduire le problème à une inversion de matrice : pas besoin d'un logiciel de calcul de répartition de charge
- Matlab et Python peuvent donc le résoudre sans module supplémentaire

## Charge des lignes calculées par *DC load flow*

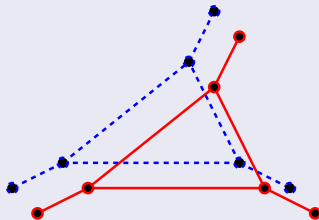
- On néglige  $Q$ ,  $R$  et  $C$
- On considère  $V$  à sa valeur nominale
- Si  $N$  est le nombre de nœuds,  $N$  équations linéaires et  $N$  inconnues
- Permet de réduire le problème à une inversion de matrice : pas besoin d'un logiciel de calcul de répartition de charge
- Matlab et Python peuvent donc le résoudre sans module supplémentaire

## Zone viable

- Plus de la moitié des nœuds
- Capacité de génération suffisante
- Puissance du nœud bilan  $< 20\%$

Est construit afin d'étudier différentes topologies

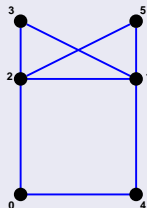
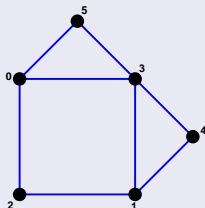
Miroir : topologie identique au réseau électrique



## Est construit afin d'étudier différentes topologies

**Miroir** : topologie identique au réseau électrique

**BA** : graphe aléatoire utilisant le modèle de l'attachement préférentiel de Barabási-Albert

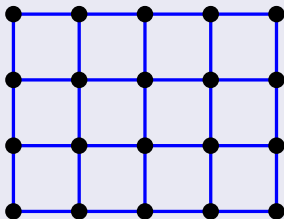


Est construit afin d'étudier différentes topologies

**Miroir** : topologie identique au réseau électrique

**BA** : graphe aléatoire utilisant le modèle de l'attachement préférentiel de Barabási-Albert

**Grille** : de dimension 2



## Est construit afin d'étudier différentes topologies

**Miroir** : topologie identique au réseau électrique

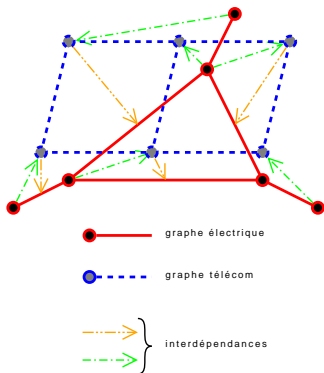
**BA** : graphe aléatoire utilisant le modèle de l'attachement préférentiel de Barabási-Albert

**Grille** : de dimension 2

## Charge des nœuds

Calculée par le nombre de chemins géodésiques les traversant (OSPF utilise Dijkstra)

# Règles d'interdépendances



- 1 Si nœud électrique plus alimenté, alors les nœuds télécom alimentés par ce dernier supprimés
- 2 Si suppression d'un nœud télécom, alors suppression du lien électrique le plus chargé de la même zone

## Les éléments ont une capacité fixe

- Définie par le système ou
- Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale



## Les éléments ont une capacité fixe

- Définie par le système ou
- Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale

## Algorithme

- 1 Calcul de la capacité pour chaque élément

## Les éléments ont une capacité fixe

- Définie par le système ou
- Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale

## Algorithme

- 1 Calcul de la capacité pour chaque élément
- 2 **Suppression de l'élément déclencheur**

## Les éléments ont une capacité fixe

- Définie par le système ou
- Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale

## Algorithme

- 1 Calcul de la capacité pour chaque élément
- 2 Suppression de l'élément déclencheur
- 3 **Calcul des nouvelles charges des éléments**

## Les éléments ont une capacité fixe

- Définie par le système ou
- Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale

## Algorithme

- 1 Calcul de la capacité pour chaque élément
- 2 Suppression de l'élément déclencheur
- 3 Calcul des nouvelles charges des éléments
- 4 Si la charge dépasse la capacité pour des éléments
  - suppression des éléments surchargés
  - retour à 3

## Les éléments ont une capacité fixe

- Définie par le système ou
- Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale

## Algorithme

- 1 Calcul de la capacité pour chaque élément
- 2 Suppression de l'élément déclencheur
- 3 Calcul des nouvelles charges des éléments
- 4 Si la charge dépasse la capacité pour des éléments
  - suppression des éléments surchargés
  - retour à 3
- 5 **Fin**

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin

# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial

# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec



# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec
- 4 Si surcharge élec, suppression des lignes et retour à 3

# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec
- 4 Si surcharge élec, suppression des lignes et retour à 3
- 5 **Suppression d'éventuels nœuds de com sans alim élec**

# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec
- 4 Si surcharge élec, suppression des lignes et retour à 3
- 5 Suppression d'éventuels nœuds de com sans alim élec
- 6 Si cette suppression conduit à supprimer des lignes élec, les supprimer et retour à 3

# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec
- 4 Si surcharge élec, suppression des lignes et retour à 3
- 5 Suppression d'éventuels nœuds de com sans alim élec
- 6 Si cette suppression conduit à supprimer des lignes élec, les supprimer et retour à 3
- 7 Sinon, calcul des charges du réseau de com

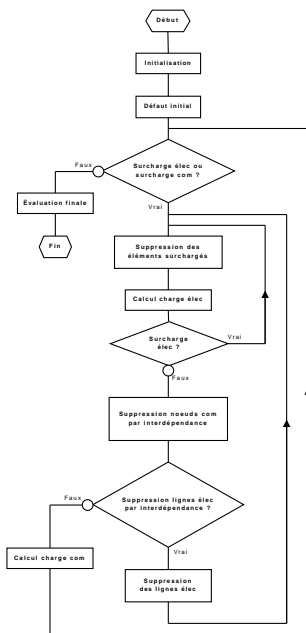
# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec
- 4 Si surcharge élec, suppression des lignes et retour à 3
- 5 Suppression d'éventuels nœuds de com sans alim élec
- 6 Si cette suppression conduit à supprimer des lignes élec, les supprimer et retour à 3
- 7 Sinon, calcul des charges du réseau de com
- 8 **Si surcharge de com, suppression des éléments et retour à 3**

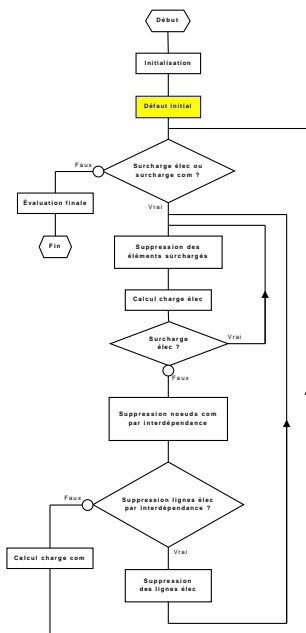
# Algorithme de simulation (1)

- 1 Initialisation
  - a. Création des éléments à partir des réseaux
  - b. Calcul des charges max associés aux éléments si besoin
- 2 Défaut initial
- 3 Calcul des charges du réseau élec
- 4 Si surcharge élec, suppression des lignes et retour à 3
- 5 Suppression d'éventuels nœuds de com sans alim élec
- 6 Si cette suppression conduit à supprimer des lignes élec, les supprimer et retour à 3
- 7 Sinon, calcul des charges du réseau de com
- 8 Si surcharge de com, suppression des éléments et retour à 3
- 9 **Sinon, fin de la simulation : évaluation des conséquences**

# Algorithme de simulation (2)



# Algorithme de simulation (2)

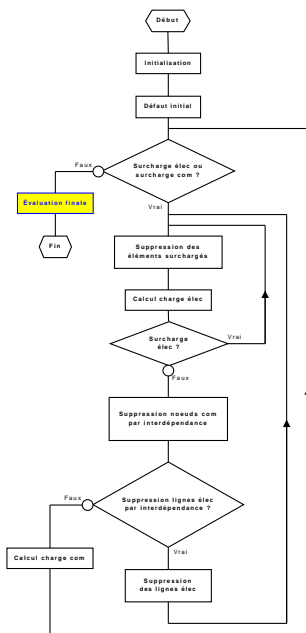


## Point 2 : Défaut initial

- Défaut sur un élément d'une infrastructure aléatoire ou systématique (N-1)
- Défaut sur une zone géographique
- Défaut sur un type de composant
- Augmentation de la puissance électrique (création d'une surcharge)



# Algorithme de simulation (2)



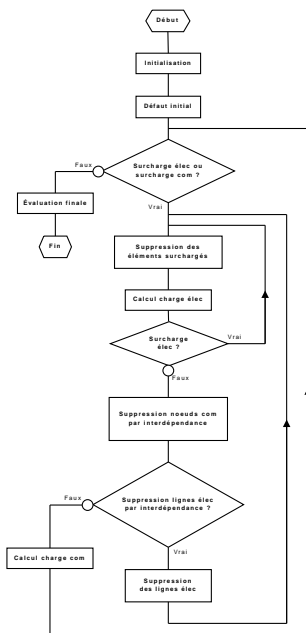
## Point 2 : Défaut initial

- Défaut sur un élément d'une infrastructure aléatoire ou systématique (N-1)
- Défaut sur une zone géographique
- Défaut sur un type de composant
- Augmentation de la puissance électrique (création d'une surcharge)

## Point 9 : Évaluation des conséquences

Puissance non fournie aux consommateurs lors de l'état final

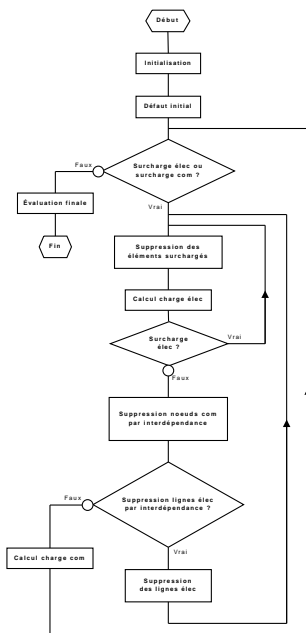
# Algorithme de simulation (3)



## Cascade élec imbriquée dans cascade télécom

- Report de charge élec plus rapide que com
- Calcul charge réseau de com le plus long

# Algorithme de simulation (3)



## Cascade élec imbriquée dans cascade télécom

- Report de charge élec plus rapide que com
- Calcul charge réseau de com le plus long

## Algorithme

mais s'affranchit d'une simulation temporelle

Mise en œuvre

Sur **deux** plates-formes différentes : Matlab et Python

## Mise en œuvre

Sur **deux** plates-formes différentes : Matlab et Python

## Avantages

- Fournit un moyen de vérification
- Permet de profiter des avantages des deux logiciels :
  - simplicité de programmation et utilisation du module pour réseaux complexes avec Python
  - connaissance de Matlab au laboratoire
- On peut choisir la plus rapide

## Mise en œuvre

Sur **deux** plates-formes différentes : Matlab et Python

### Avantages

- Fournit un moyen de vérification
- Permet de profiter des avantages des deux logiciels :
  - simplicité de programmation et utilisation du module pour réseaux complexes avec Python
  - connaissance de Matlab au laboratoire
- On peut choisir la plus rapide

### Inconvénients

- Des fonctions supplémentaires à coder sous Matlab
- Effort supplémentaire pour la maintenance

## Mise en œuvre

Sur **deux** plates-formes différentes : Matlab et Python

### Avantages

- Fournit un moyen de vérification
- Permet de profiter des avantages des deux logiciels :
  - simplicité de programmation et utilisation du module pour réseaux complexes avec Python
  - connaissance de Matlab au laboratoire
- On peut choisir la plus rapide

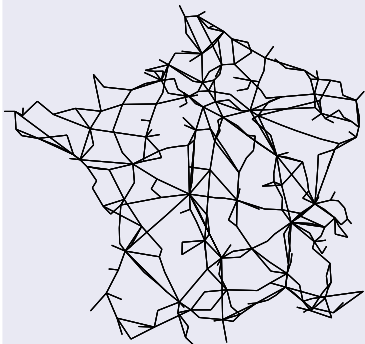
### Inconvénients

- Des fonctions supplémentaires à coder sous Matlab
- Effort supplémentaire pour la maintenance

### Calcul de charge du réseau de com UCTE sur P4

- 294s avec Matlab
- 94s avec Python
- 18s avec Mex-file

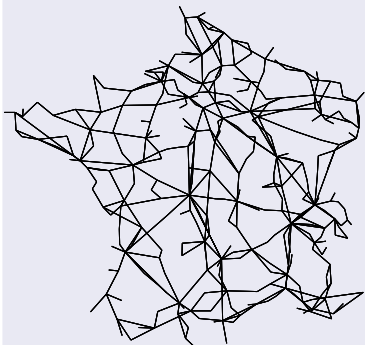
## Réseau électrique de la France



- 318 nœuds
- 519 lignes
- Niveaux 400 kV et 225 kV
- Charges en été 2002
- Baisse de la production de 8% pour équilibrer
- Topologie miroir pour réseau de com au début



## Réseau électrique de la France



- 318 nœuds
- 519 lignes
- Niveaux 400 kV et 225 kV
- Charges en été 2002
- Baisse de la production de 8% pour équilibrer
- Topologie miroir pour réseau de com au début

## Réalisation

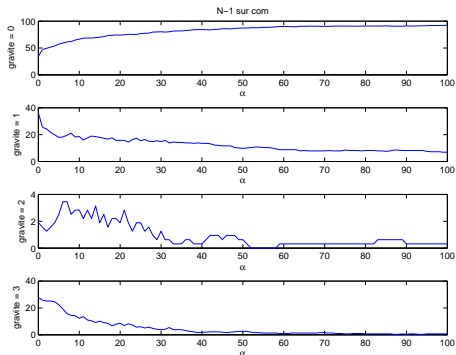
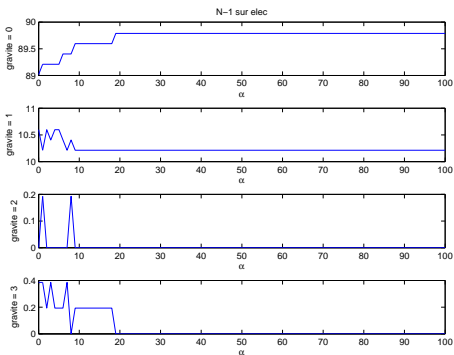
N-1 du réseau électrique et N-1 du réseau de communication

## 4 catégories

<b>gravité</b>	<b>puissance non fournie</b>	<b>problème</b>
0	0%	aucun pour les consommateurs
1	]0%; 10%]	localisé
2	]10%; 90%]	grave
3	> 90%	panne généralisée

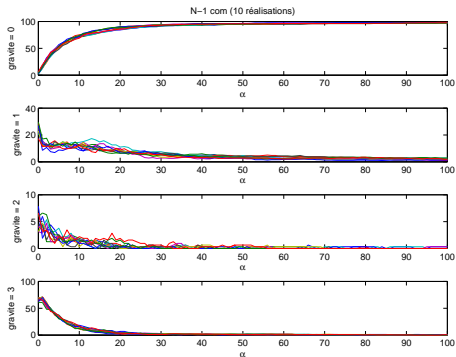
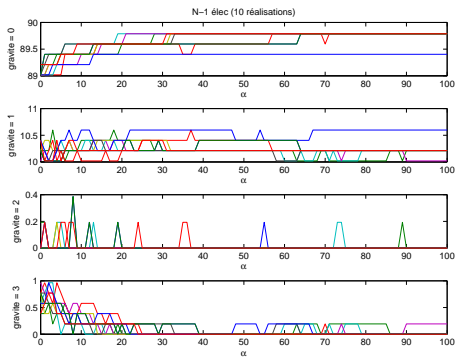
# Étude du coefficient de tolérance

Charge maximale =  $(1 + \alpha) \times$  charge initiale

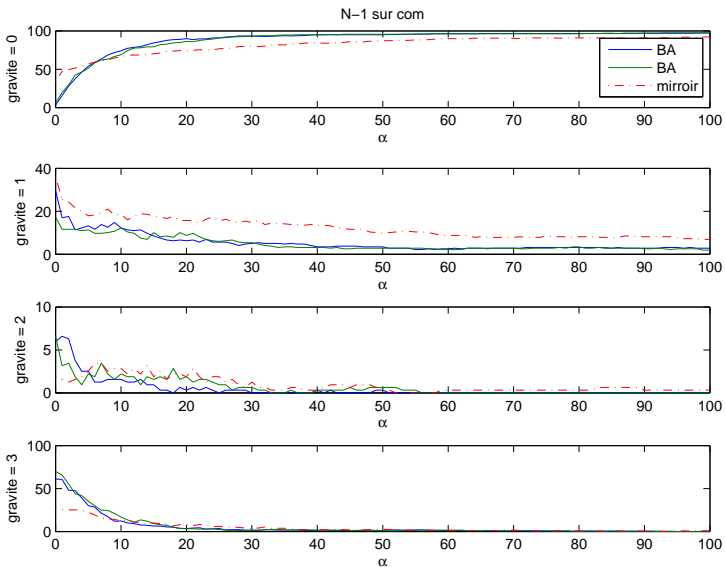


# Étude de la topologie du réseau de com (BA)

318 nœuds et 632 liens – 10 réalisations

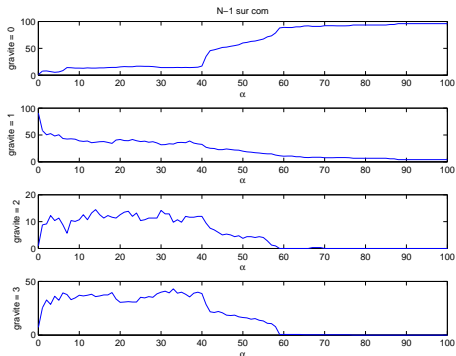
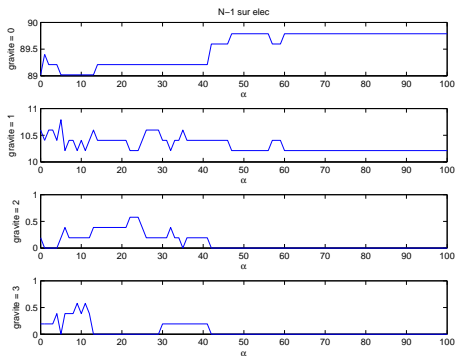


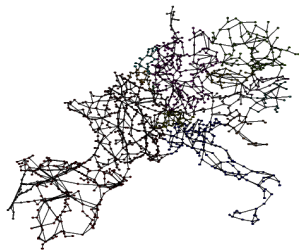
# Étude de la topologie du réseau de com (BA)



# Étude de la topologie du réseau de com (grille)

Grille  $53 \times 6$  : 318 nœuds et 577 liens



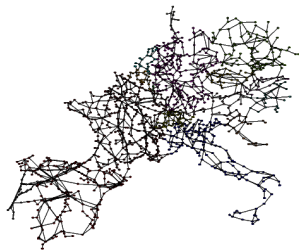


## Réseau de l'UCTE

- 1254 nœuds
- 1944 lignes
- 378 générateurs

## Réseau IEEE 300 nœuds

- 411 lignes
- 69 générateurs



## Réseau de l'UCTE

- 1254 nœuds
- 1944 lignes
- 378 générateurs

## Réseau IEEE 300 nœuds

- 411 lignes
- 69 générateurs

## Résultats

- Les niveaux de chaque classe de gravité varient (car dépendent de l'état de charge initial)
- Conclusions sur le coefficient de tolérance et les topologies restent valables



## Nouvelle règle

Probabilité que la ligne élec la plus chargée de la zone soit supprimée en cas de perte de routeur

# Influence d'une hypothèse d'interdépendance (1)

## Nouvelle règle

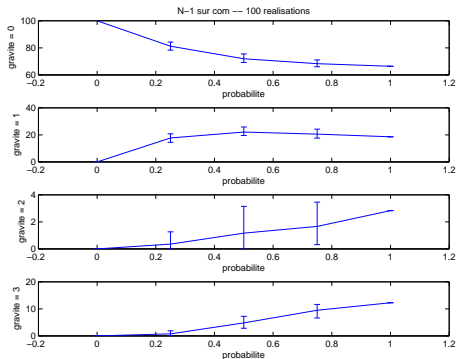
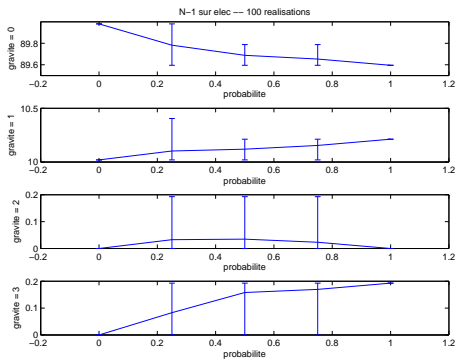
Probabilité que la ligne élec la plus chargée de la zone soit supprimée en cas de perte de routeur

## Étude

sur réseau français et IEEE 300 nœuds avec réseau de com en miroir

# Influence d'une hypothèse d'interdépendance (2)

## France





- Proposition d'une modélisation **novatrice** et **paramétrable**
- **Répond aux objectifs** : modèle unifié, modélisation des effets de cascade et mode commun
- Permet la **caractérisation de la criticité** du réseau de communication
- Permet l'**évaluation de la vulnérabilité** de chaque élément et de la topologie
- Réalisation d'**études** paramétriques, de la topologie, de non versatilité et remise en cause d'une hypothèse

# Bilan de la modélisation multi-infrastructures



- Proposition d'une modélisation **novatrice** et **paramétrable**
  - **Répond aux objectifs** : modèle unifié, modélisation des effets de cascade et mode commun
  - Permet la **caractérisation de la criticité** du réseau de communication
  - Permet l'**évaluation de la vulnérabilité** de chaque élément et de la topologie
  - Réalisation d'**études** paramétriques, de la topologie, de non versatilité et remise en cause d'une hypothèse
- 
- **Limitations** dues à l'ensemble des hypothèses considérées
  - Pas d'informations temporelles

- 1 Contexte
  - Enjeux
  - Objectifs
  - État de l'art
- 2 Cosimulateur multi-infrastructures
  - Approche
  - Structure du simulateur
  - Bilan
- 3 Modélisation multi-infrastructures
  - Proposition
  - Réalisation logicielle
  - Résultats
- 4 Conclusions et perspectives

## Contributions

- 1 Création d'un **outil multi-logiciel** pour la simulation comportementale multi-infrastructures
- 2 Proposition d'une **modélisation unifiée** des interdépendances

## Contributions

- 1 Création d'un **outil multi-logiciel** pour la simulation comportementale multi-infrastructures
- 2 Proposition d'une **modélisation unifiée** des interdépendances

## Dans ce travail, ont été proposées :

- 1 une **modélisation des interdépendances** des systèmes couplés ainsi que des modes communs de défaillance et les effets de cascade
- 2 une méthodologie d'**évaluation des vulnérabilités** des réseaux électriques vis à vis des systèmes d'information et de communication
- 3 une **évaluation des risques** et des impacts potentiels de ces défaillances sur les pannes généralisées



- Aspect temporel – énergie non distribuée (simulation à temps discret)
- Meilleure formalisation des interdépendances
- Travaux sur les topologies de réseaux de communication
- Extension du cosimulateur
- Validation de l'ensemble sur un réseau test avec une infrastructure et des données réelles

# La sécurisation des infrastructures critiques

recherche d'une méthodologie d'identification des vulnérabilités et  
modélisation des interdépendances

Benoit ROZEL

G2Elab – Grenoble INP

15 janvier 2010

