

# INTERACTION DES RESEAUX DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION EN PRESENCE DE PRODUCTIONS DECENTRALISEES

Thèse préparée par : Miguel FONTELA

Directeurs de Thèse : Nouredine HADJSAID  
Seddik BACHA

Co-Encadrant : Raphaël CAIRE

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

VII.- Conclusions et perspectives

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

VII.- Conclusions et perspectives

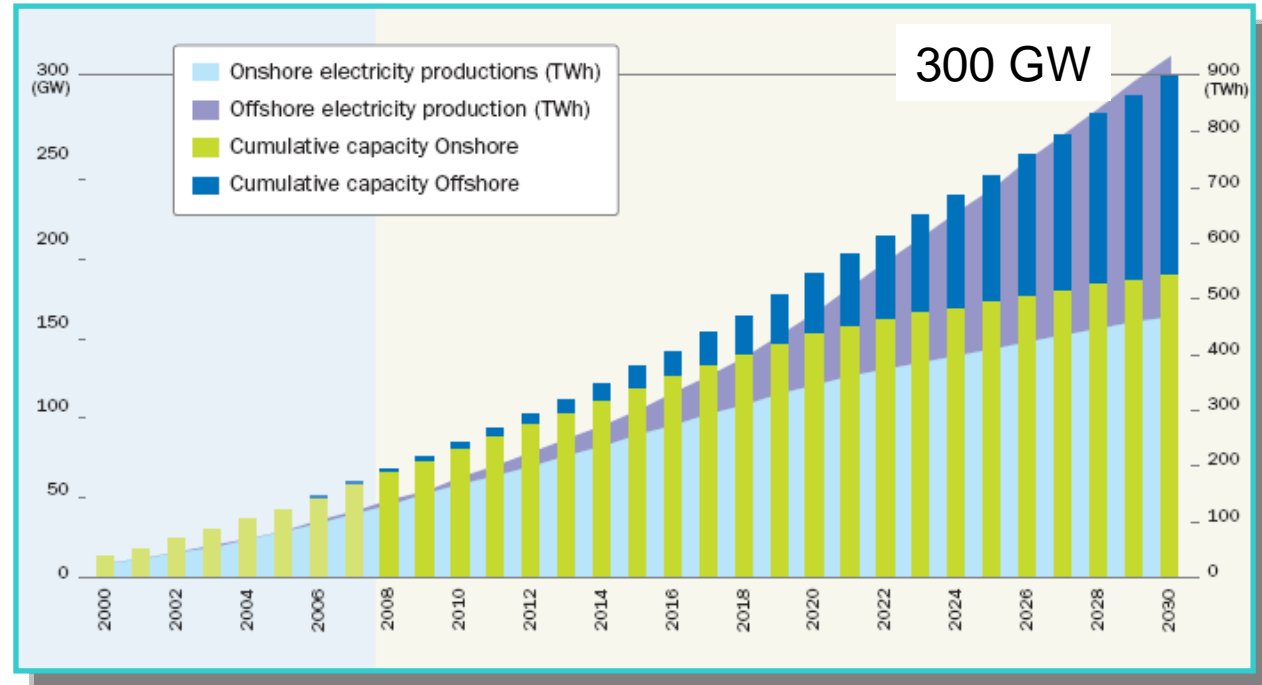
## I.- Contexte du travail

- ❑ Augmentation des productions décentralisées :
  - ❑ Préoccupation environnementale et incitations réglementaires
  - ❑ Directives Européennes pour insertion des énergies renouvelables :
    - >> Contexte des 3 x 20 % pour 2020
  - ❑ Intégration des nouveaux acteurs
  - ❑ Évaluation de l'impact sur les performances du système
- ❑ Obstacles pour la construction des nouveaux ouvrages
  - ❑ e.g. interconnexion France-Espagne
- ❑ Réseaux électriques : une infrastructure critique
  - ❑ Attaques malicieuses
  - ❑ Multiplication des grandes pannes électriques

>> **Besoin de maîtriser la qualité et la robustesse**

# I.- Contexte du travail

## □ Éolien : perspectives

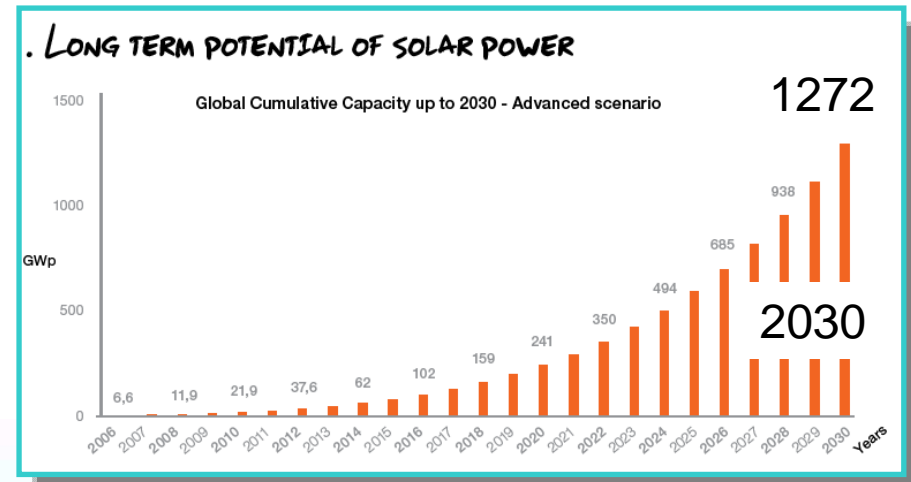
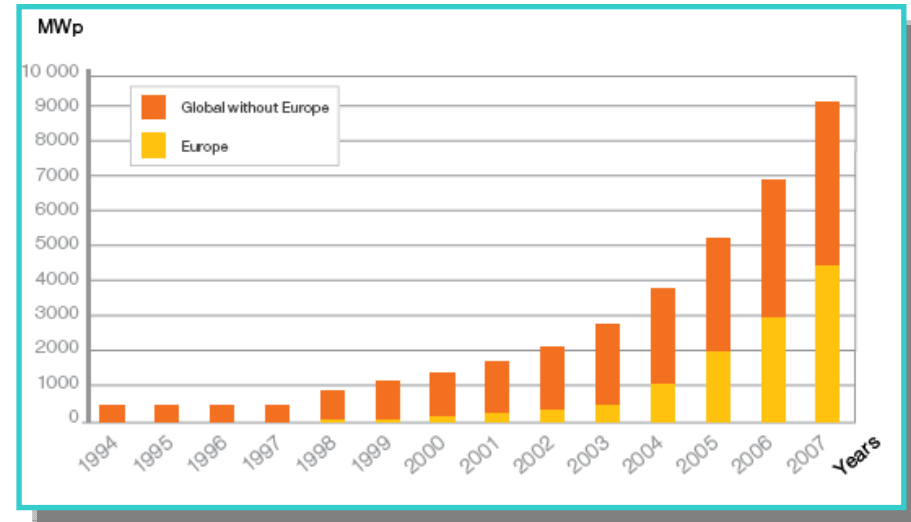


Source: EWEA, 2007



# I.- Contexte du travail

## ☐ Solaire : perspectives



Source : EPIA, 2006

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

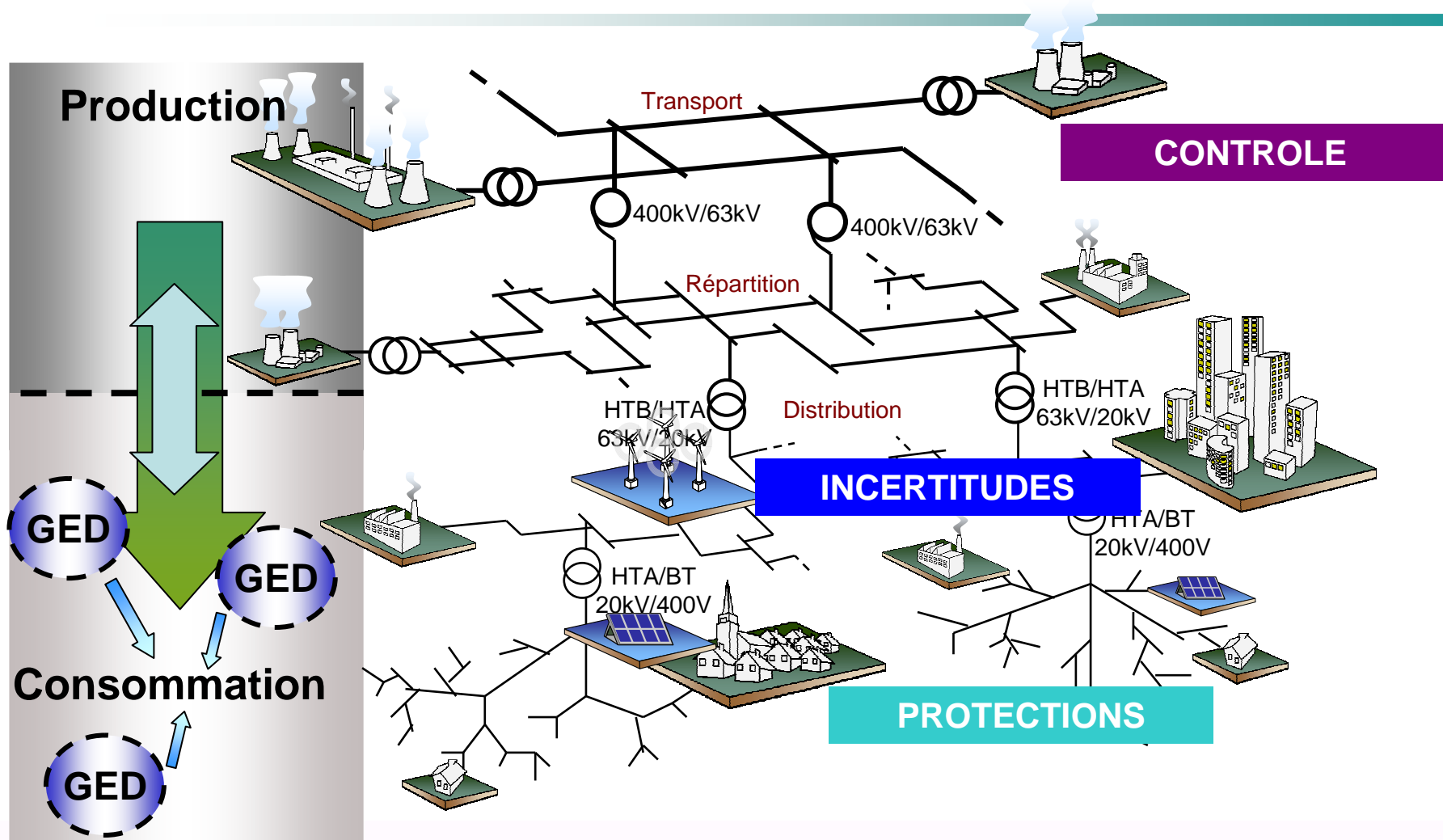
IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

VII.- Conclusions et perspectives

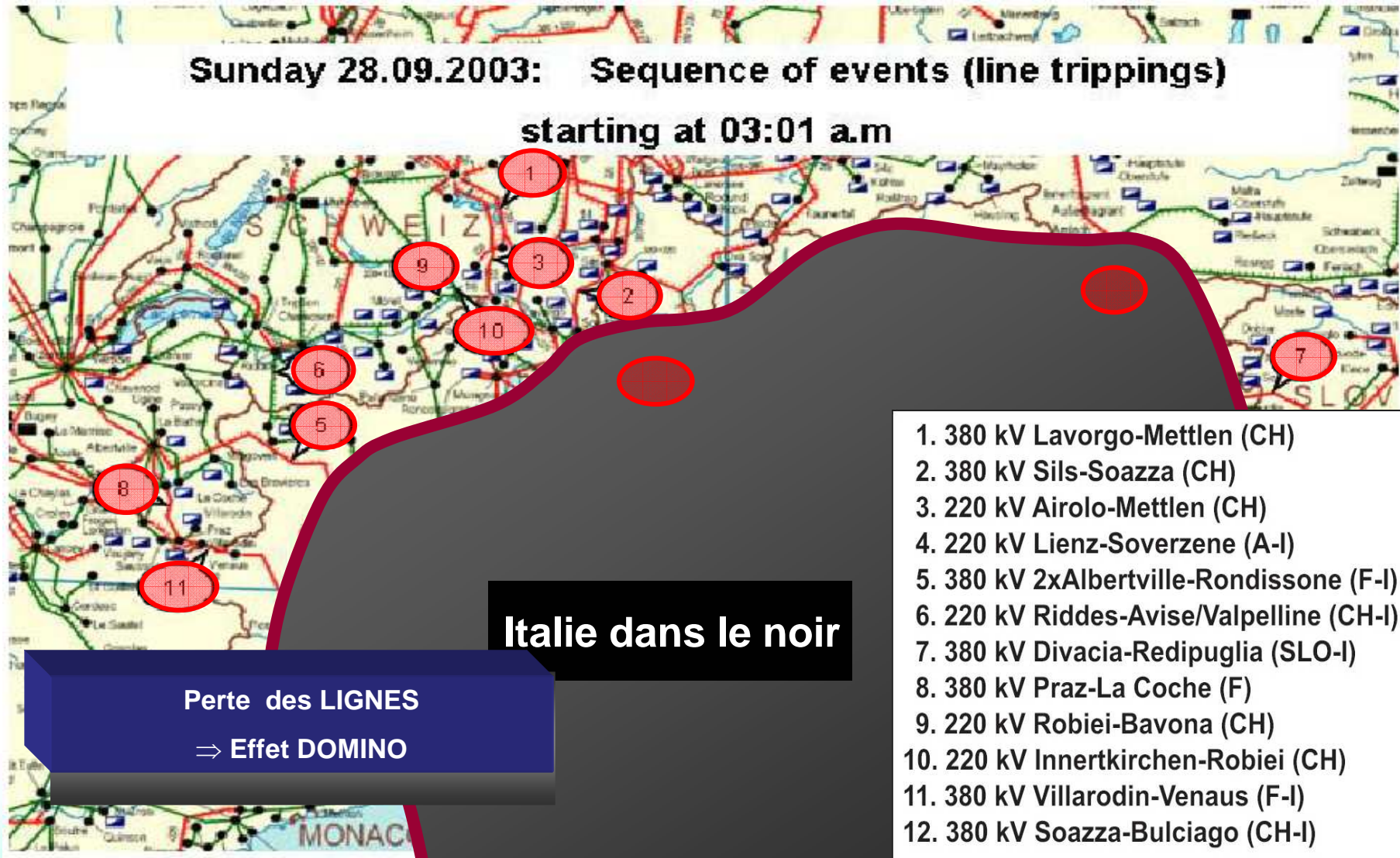
## II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes



**>> Augmentation du couplage entre T&D**

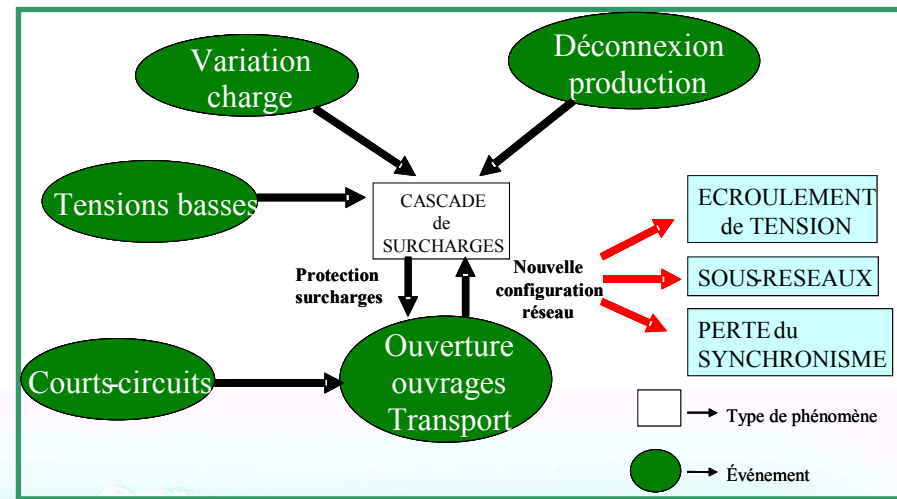
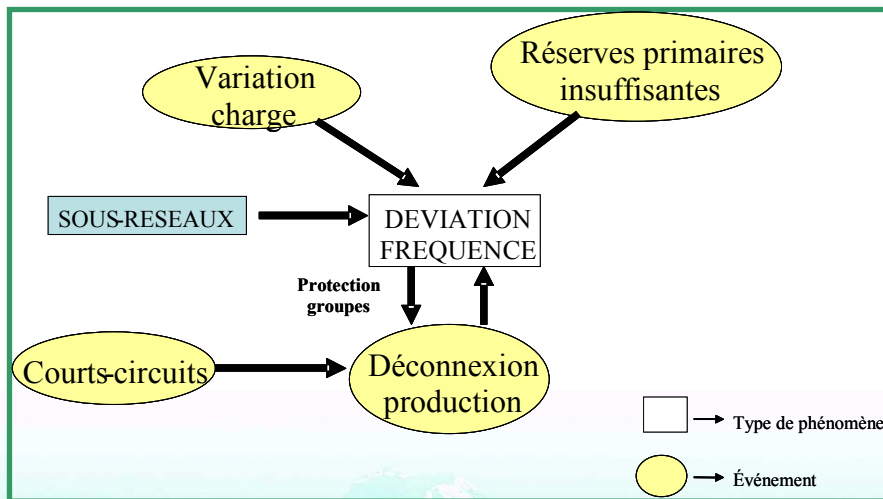
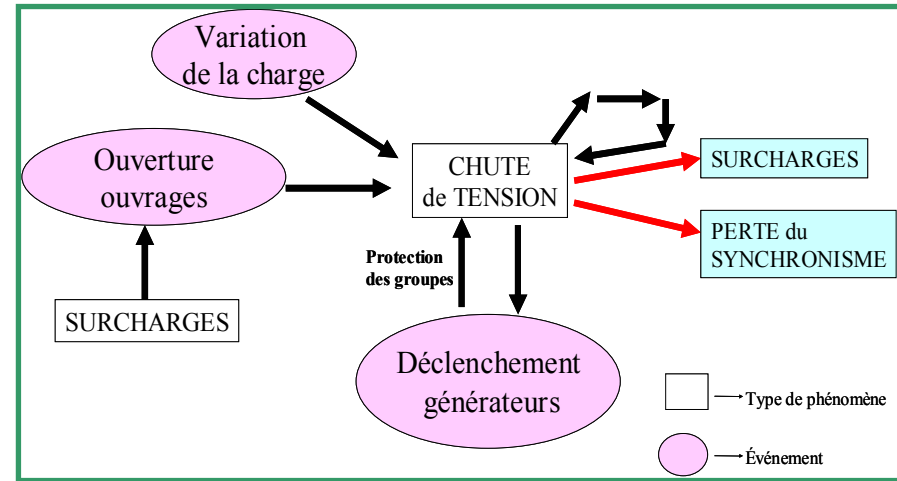
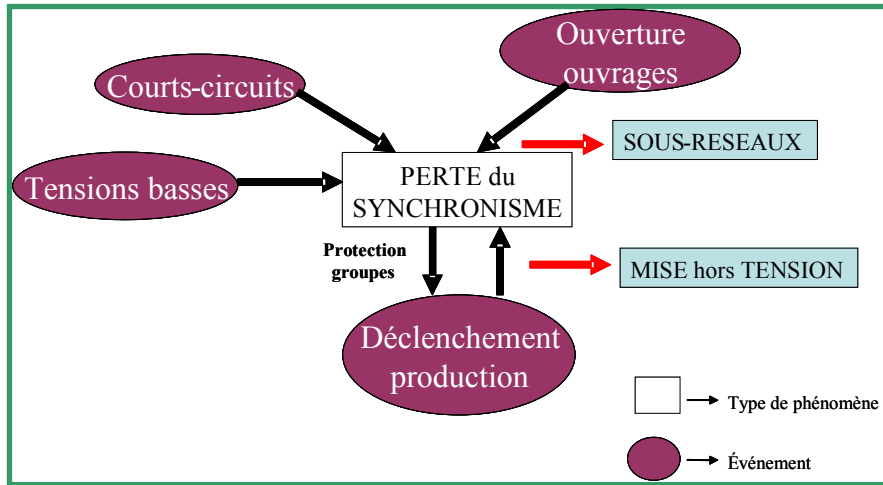


## II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes



## II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

### □ Mécanismes de formation des grandes pannes



## II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

### □ Grandes pannes : solutions techniques

#### □ Structurelles

- ✓ Liaison à Courant Continu (HVDC) : arrêt de la propagation des perturbations
- ✓ Insertion des moyens FACTS (SVC, TSSC, ...) : compensation de puissance réactive, contrôle des flux de puissances, amortissement des oscillations...

#### □ Opérationnelles

- ✓ Stratégies Contrôle & Surveillance :
  - ✓ Plan de DEFENSE
  - ✓ *Préparation et anticipation*
  - ✓ *Îlotages intentionnels : basés sur la production décentralisée*

→ **AMELIORATION ROBUSTESSE DU SYSTEME**

- ✓ Reconstitution basée sur la Prod. décentralisée (BLACK START)

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

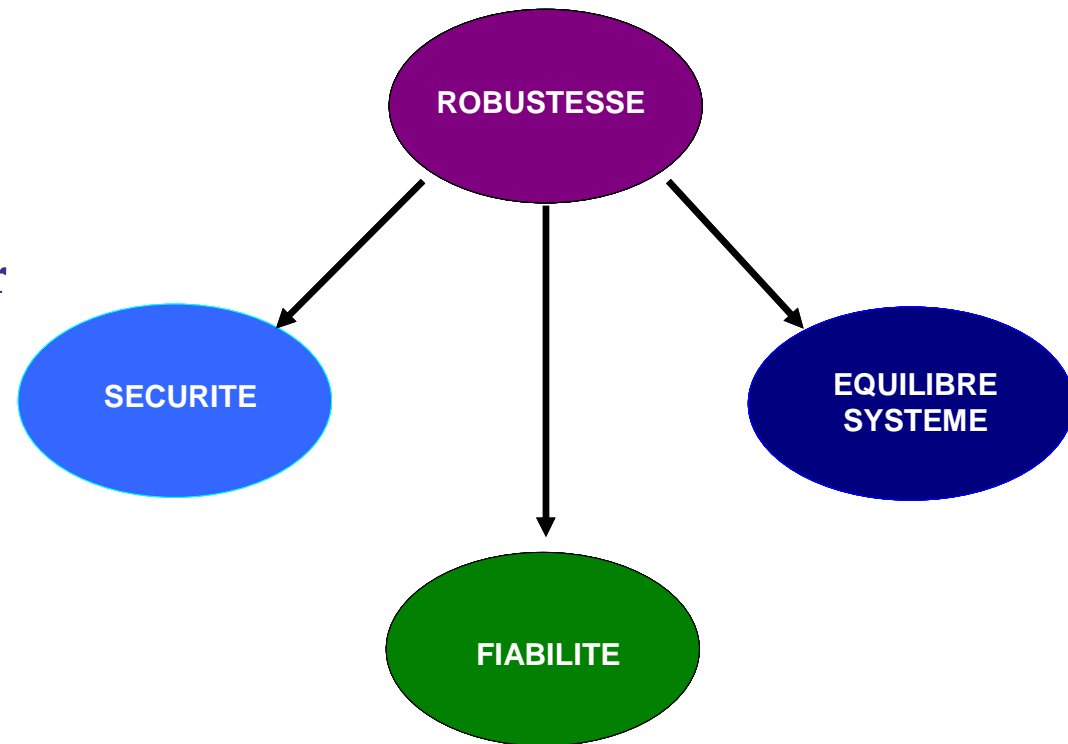
VII.- Conclusions et perspectives



### III.- Robustesse: méthodologie & indices

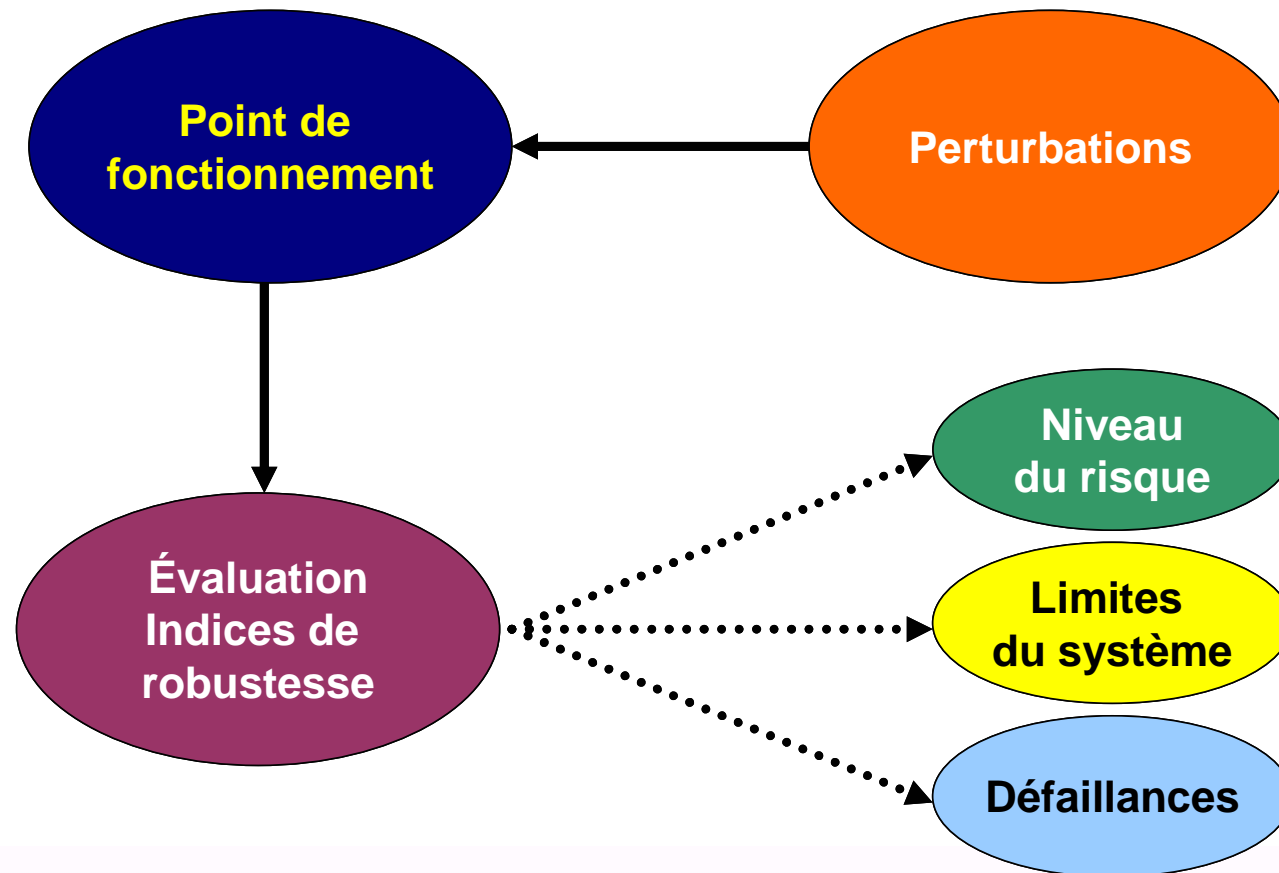
#### □ Définition de la Robustesse

La robustesse du système électrique peut être définie comme la capacité d'un système électrique à garantir un état stable de fonctionnement face aux petites perturbations et aux incidents majeurs sous différentes conditions de charge et de sollicitation



### III.- Robustesse: méthodologie & indices

#### □ Méthodologie d'étude de la Robustesse





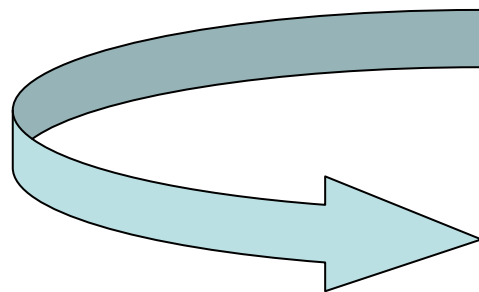
### III.- Robustesse: méthodologie & indices

#### □ Indices de Robustesse

##### □ Indice de Robustesse- RI (*Robustness Index*)

- ✓ Stabilité petits signaux (SSS, *Small-Signal Stability*)
- ✓ Limites statiques des éléments du système (SPIR, *Static Performance Indices Robustness*)
- ✓ Écroulement de tension (VCI, *Voltage Collapse Indicator*)
- ✓ Déviation de fréquence (FD, *Frequency Deviation*)
- ✓ Perte de synchronisme (LS, *Loss of Synchronism*)
- ✓ Marge d'exploitation en temps-réel (RTM, *Real Time Margin*)

$$(RI) = \max\{(SSS); (SPIR); (VCI); (FD); (LS); (RTM)\}$$



$(RI) =$	{	3	$\Rightarrow$	<b>Danger</b>
		2	$\Rightarrow$	<b>Action</b>
		1	$\Rightarrow$	<b>Alerte</b>
		0	$\Rightarrow$	<b>Normal</b>

### III.- Robustesse: méthodologie & indices

#### ☐ Indices de Robustesse

☐ Écroulement de tension (VCI)

$$(VCI) = \begin{cases} 3 & \text{si } \min(V_{\text{noeud}}) < TH_2 \\ 1 & \text{si } \min(V_{\text{noeud}}) < TH_1 \\ 0 & \text{si autre cas} \end{cases}$$

☐ Déviation de fréquence (FD)

$$(FD) = \begin{cases} 0 & \text{si } (alea < alea_1) \\ 0 & \text{si } (alea > alea_1) \text{ et } (FD_1 > 1) \\ 3 & \text{si } (alea > alea_1) \text{ et } (FD_1 < 1) \end{cases}$$

$$(FD_1) = \frac{[(PR) + (IL)]}{[ALEA + (DG_1) + (DG_2)]}$$

☐ Perte de synchronisme (LS)

$$(LS) = \begin{cases} 3 & \text{si perte de synchronisme} \\ 0 & \text{si pas de perte de synchronisme} \end{cases}$$

☐ Marge d'exploitation (RTM)

$$(RTM) = \begin{cases} 2 & \text{si } RTM_1 < 1 \\ 0 & \text{si } RTM_1 > 1 \end{cases}$$

$$(RTM_1) = \frac{\text{Reserves Temps Réel}}{\text{Reserves Attendues}}$$

### III.- Robustesse: méthodologie & indices

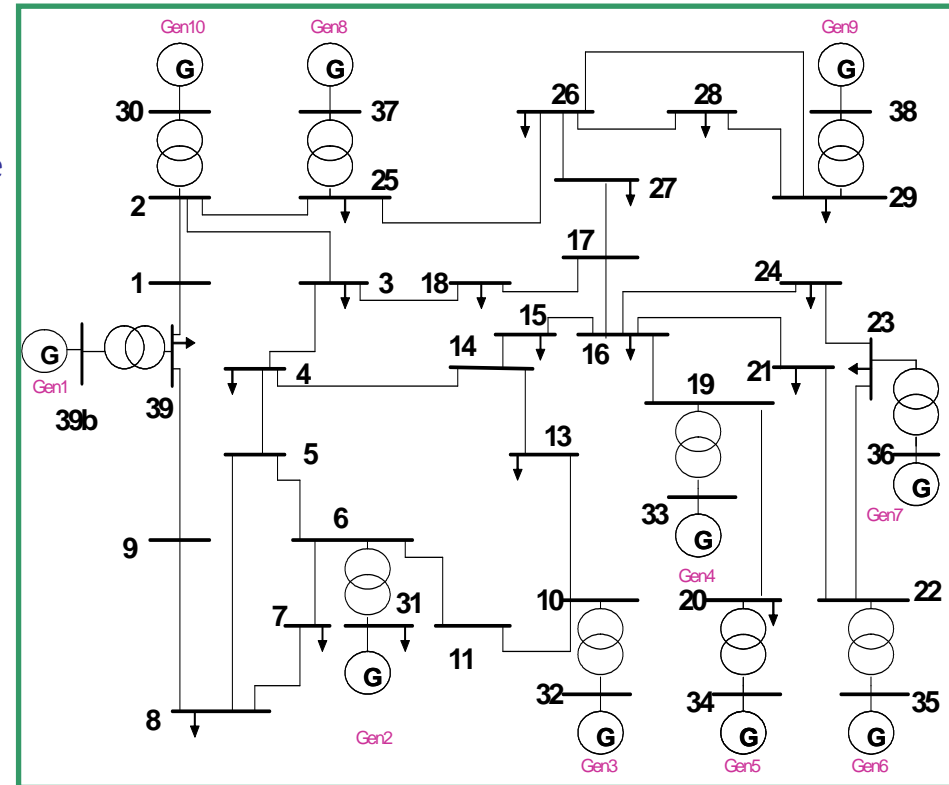
#### □ Cas d'étude: IDEA\_CRISP\_39buses

#### □ Réseau IEEE New England 39 noeuds

- ✓ 4 unités thermiques : 1000 MVA chacune (GEN4 GEN6 GEN8 GEN9);
- ✓ 3 unités nucléaires : 1080 MVA chacune (GEN1 à GEN3);
- ✓ 3 unités hydrauliques : 615 MVA chacune (GEN5 GEN7 GEN10);
- ✓ Charges impédantes:

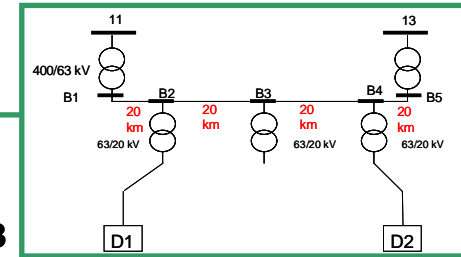
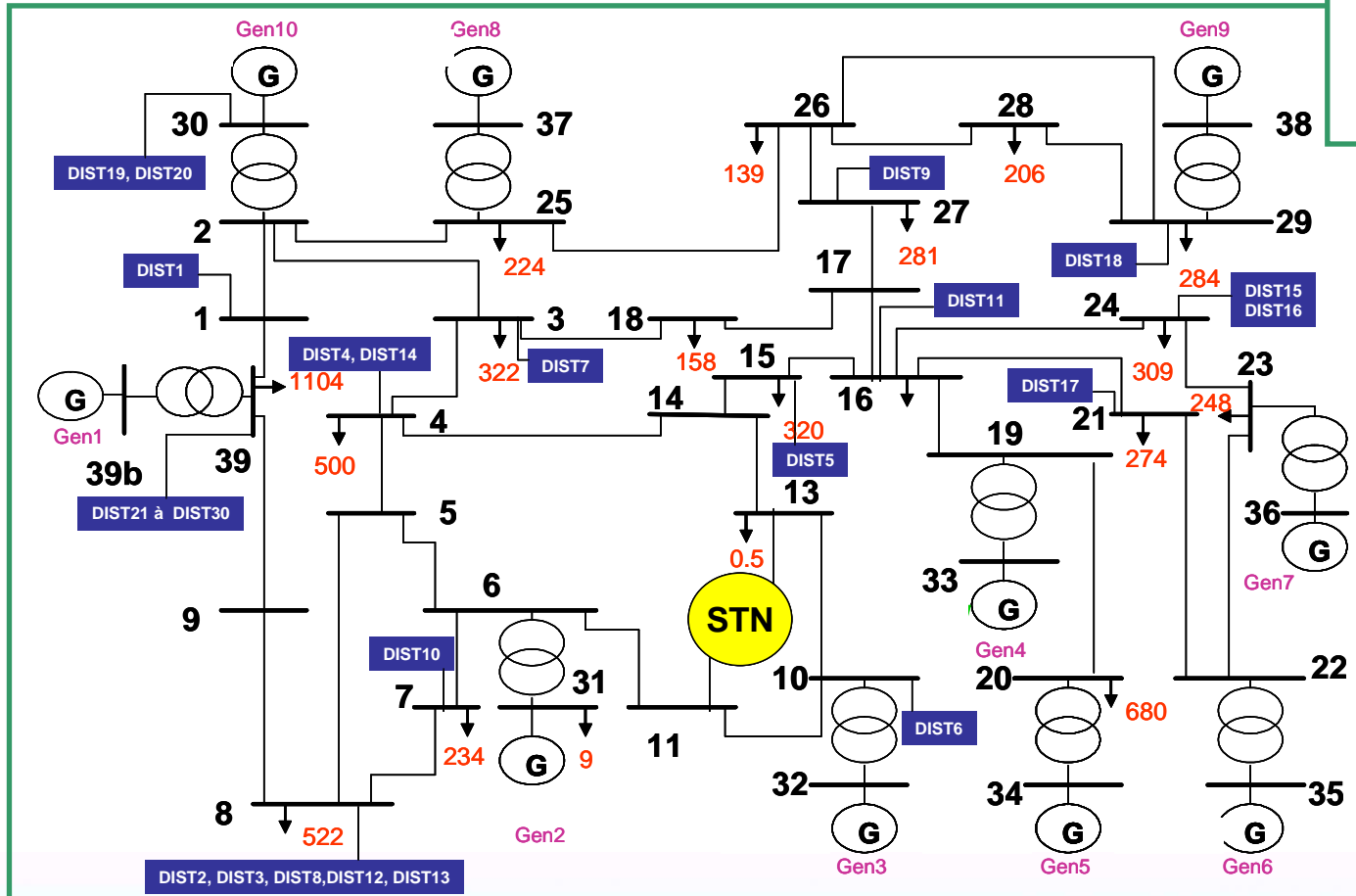
$$P(V) = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2$$

$$Q(V) = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2$$



# III.- Robustesse: méthodologie & indices

## □ Cas d'étude: IDEA\_CRISP\_39buses



### III.- Robustesse: méthodologie & indices

- Différents taux d'insertion des productions décentralisées : 10, 20, 30, 40 et 50 % de la production totale
  
- Réduction des pertes dans le système (génération proche des charges)
  - 50% de réduction des pertes avec présence des productions décentralisées
  
- Réduction des flux de puissance dans le système de transport
  - Meilleur comportement face aux surcharges
  - Meilleur comportement face à l'effet domino (pertes de lignes)

### III.- Robustesse: méthodologie & indices

#### Liste des événements

(n-1)

(n-2)

Scenarii catastrophiques:

✓ Perte de la plus grande centrale (GEN1 = 1080 MVA)

✓ Variation intempestive des charges : forte (500 MW, 8 % de la demande en cours), très forte (1200 MW, 20% de la demande en cours)

✓ Court-circuit triphasé de 200 ms dans les lignes de transport

✓ Pertes de composants (n-3)

✓ Pertes de composants (n-4)

✓ Pertes de composants (n-5)

✓ Pertes de composants (n-6)

#### Différent scénarii d'étude

Scénario 1 : avec protection de découplage instantanée

Scénario 2 : sans protection de découplage

Scénario 3 : insertion de sources intermittentes de n'importe quel type

Scénario 4 : concentration de la production dans une zone



#### Scénario 1 : avec protection de découplage instantanée

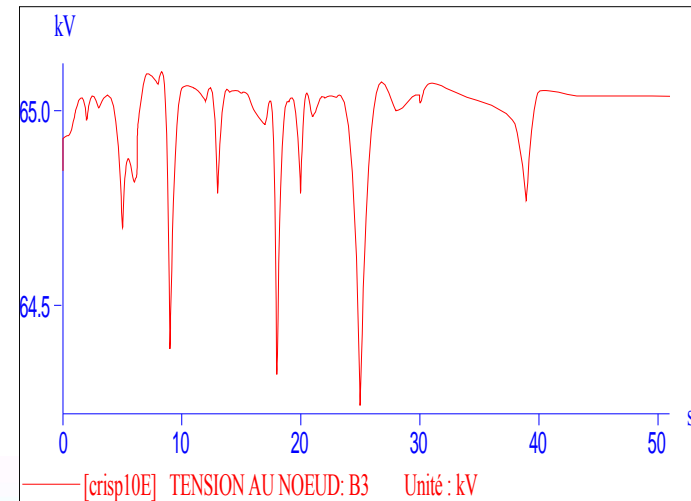
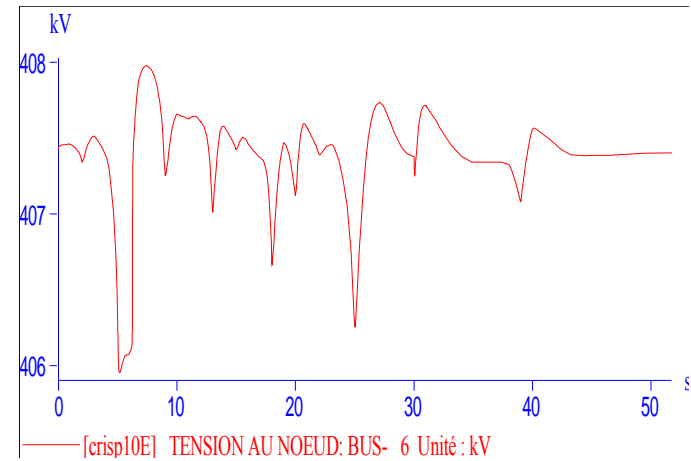
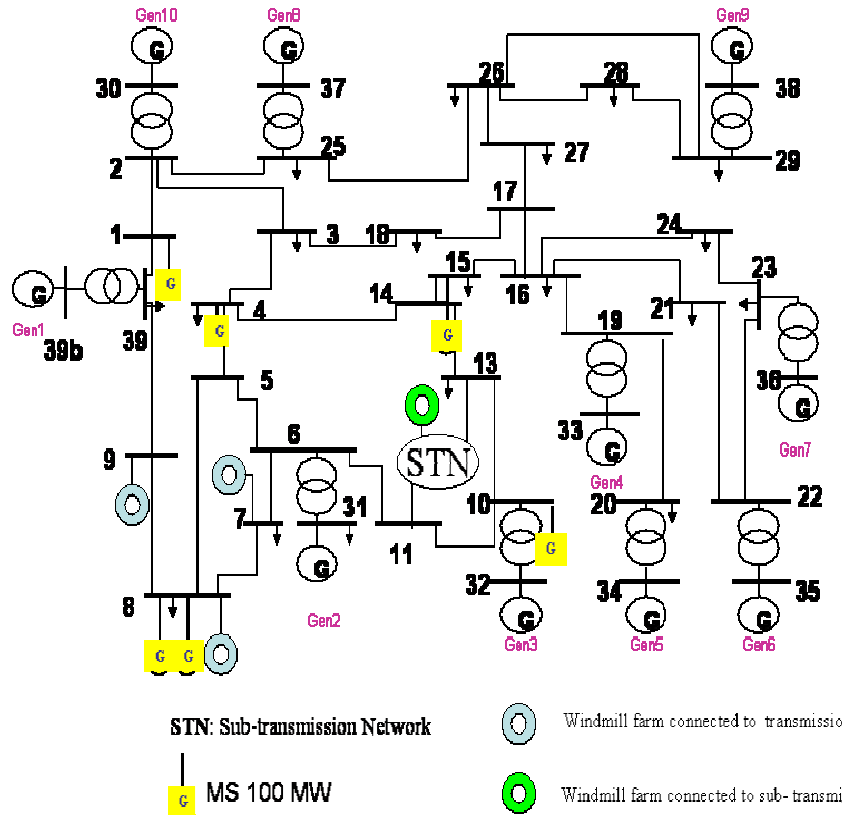
- ❑ Seuils de la protection de découplage : 0.85 Un et 49.5 ou 47.5 Hz avec différentes temporisations (100 ms, 500 ms)
- ❑ Évènement COURT-CIRCUIT de 200 ms dans le réseau de transport : deconnexion des productions décentralisées
- ❑ Apparition du délestage de charges pour des insertions > réserve primaire
  - ❑ Perte du système si: (événement + perte d'une quantité importante d productions décentralisées )
  - ❑ Impact BLOQUANT pour le système de TRANSPORT

#### Scenario 2 : sans protection de découplage

- Problèmes de stabilité à cause d'une insertion massive des productions décentralisées > 50%
- Un taux de 50% de production décentralisée est un taux robuste et à faible risque sur le réseau du cas d'étude
- 40% -50% comportements similaires

### III.- Robustesse: méthodologie & indices

### Scenario 3 : Intermittence des sources

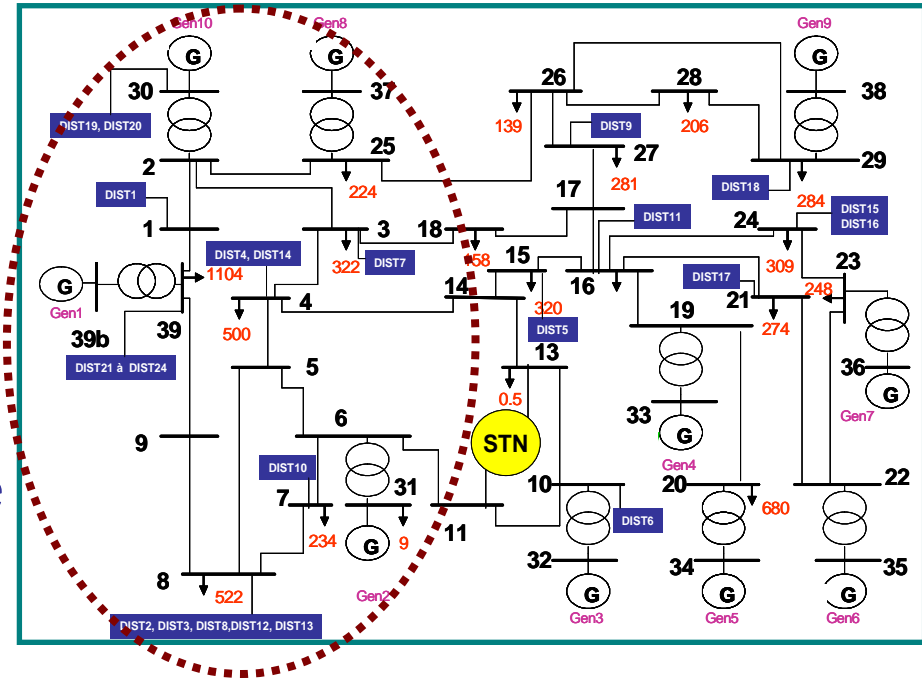


>> Tension réglée localement  
>> Déviation de Fréquence

### III.- Robustesse: méthodologie & indices

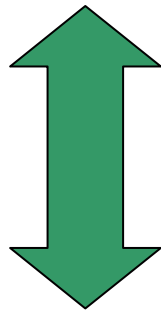
#### Scenario 4 : concentration de la production décentralisée dans une zone (cas du Danemark)

- ❑ 40% production décentralisée
- ❑ Avantages par rapport au système sans production décentralisée
  - ❑ Aux variations de charges
  - ❑ Perte de la plus grande centrale
  - ❑ Perte combinée de composants (n-5) et (n-6).

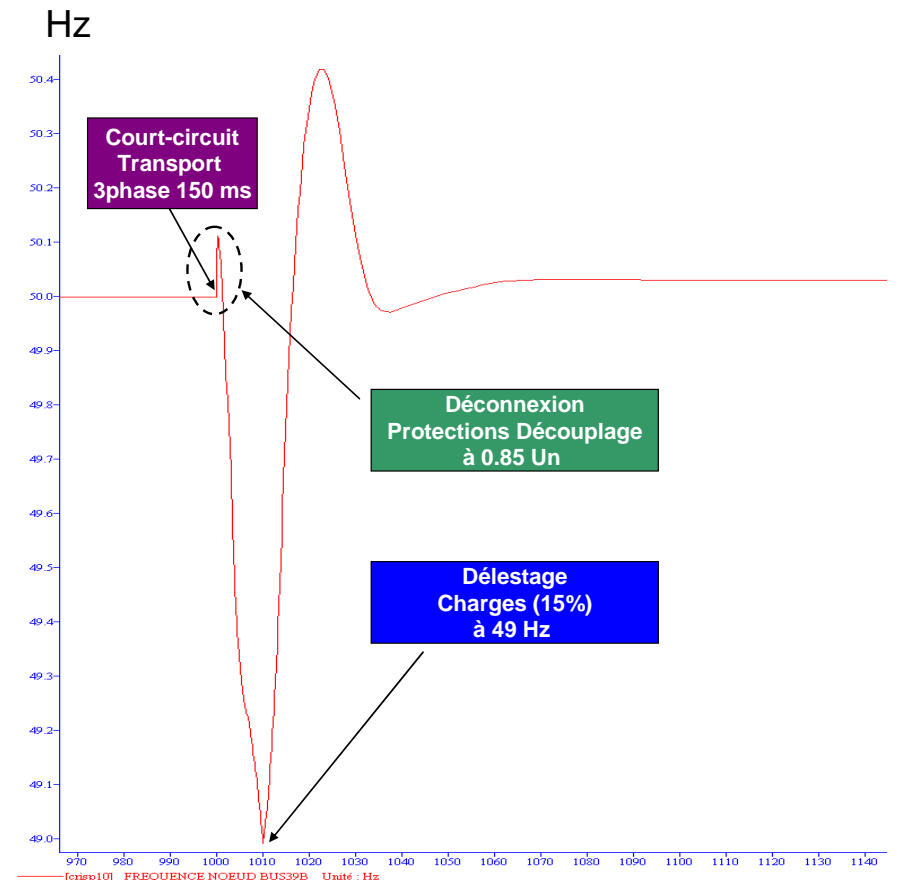


### III.- Robustesse: méthodologie & indices

- ❑ Taux approprié d’insertion de production décentralisée
  - ❑ Protection de découplage instantanée
  - ❑ Pas de délestage de charges suite à un court-circuit franc dans le réseau de transport



Réserve Primaire



### III.- Robustesse: méthodologie & indices

- Taux approprié d’insertion de production décentralisée
  - Absence de problèmes de protection de découplage : FD1 à 1

Évènements	Système sauvé par	Réserve Primaire = PR (MW)	Délestage de charges (IL) = LS [49Hz] (MW)	Indice $FD_1$ (pour ALEA = Événement)
Perte de GED 10% (= 600 MW)	PR	731 MW	928 MW	2.76
Perte GED = PR	PR + LS (49 Hz)	731 MW	928 MW	2.37
Perte de GED 20% (= 1200 MW)	PR + LS (49 Hz)	731 MW	928 MW	1.38
Perte de GED 30% (= 1800 MW)	PR +LS (49Hz) + LS(48.5Hz)	731 MW	928 MW	0.92
Perte de GED 40% (= 2400 MW)	PR + LS (49 Hz) +LS (48.5Hz)	731 MW	928 MW	0.69
Perte de GED 50% (= 3000 MW)	PR + LS (49 Hz) + LS (48.5Hz) + LS (48 Hz)	731 MW	928 MW	0.55



- La productions décentralisées ne supportent pas le système en cas de grandes pannes
  - Protection de découplage
  
- La technologie devrait évoluer
  - Les protections de découplage doivent changer pour améliorer la robustesse du système
  
- Réduction des pertes : avantage économique (€)
- Les productions décentralisées pourraient éviter la propagation des pannes:
  - Limitations des surcharges (effet domino moins probable)
  - Sauver quelques parties du système : îlotages intentionnels

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

**IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité**

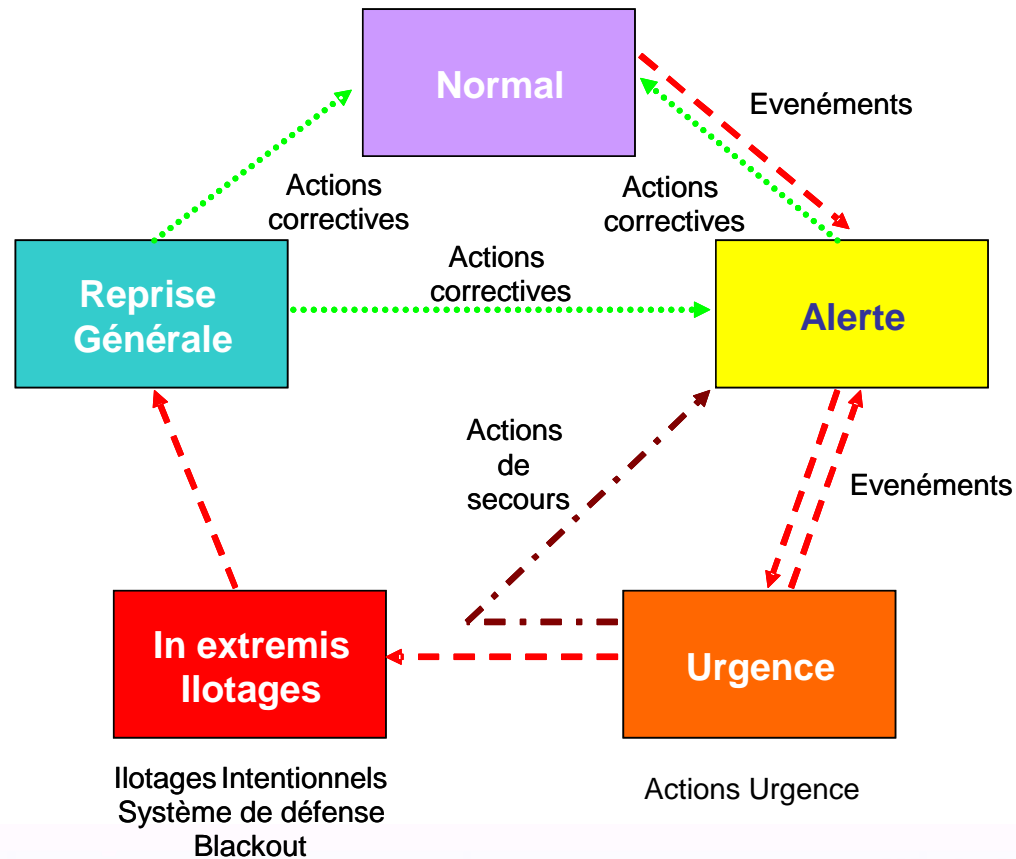
V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

VII.- Conclusions et perspectives

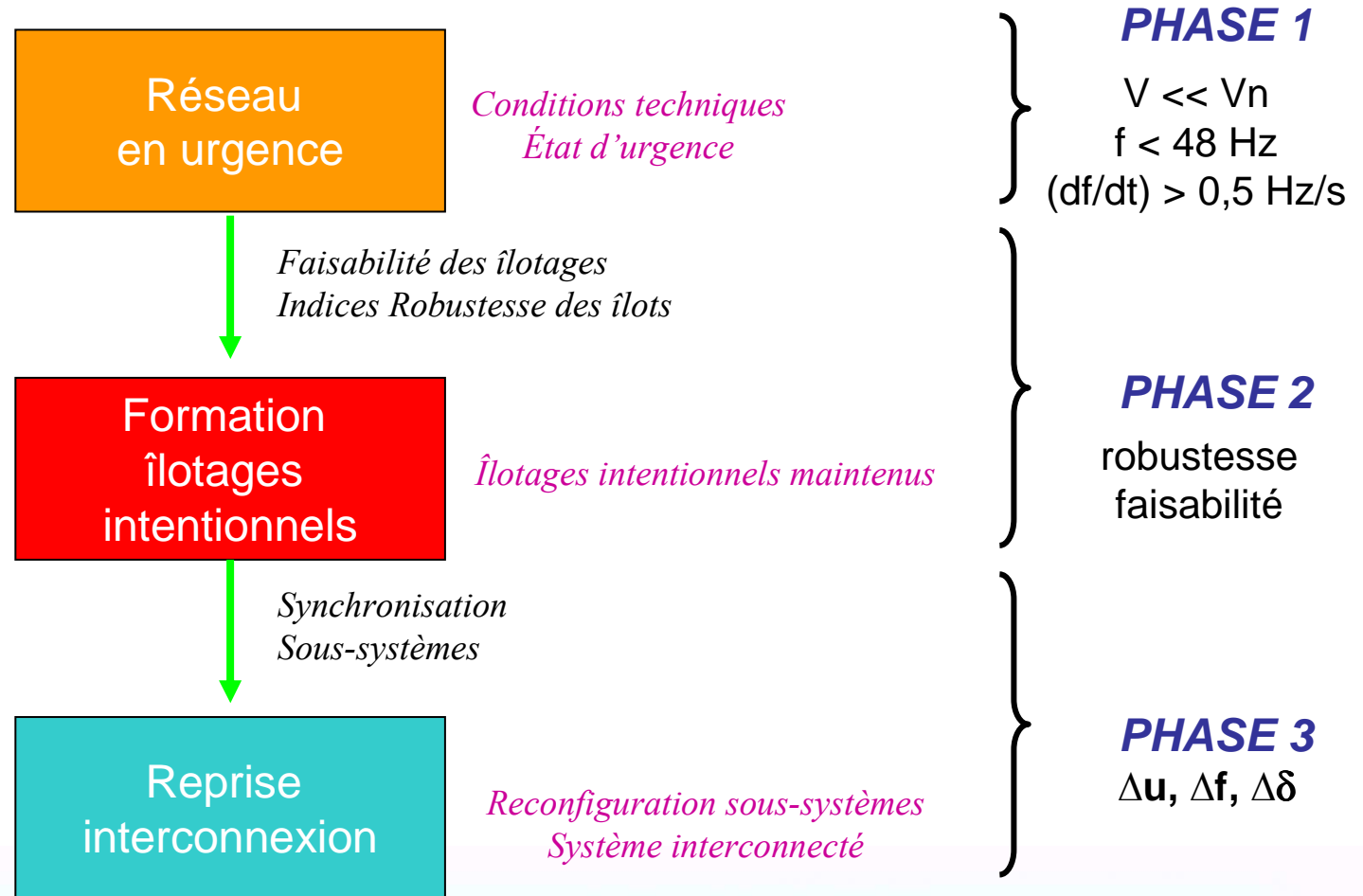
# IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

## ❑ Intérêt des îlotages intentionnels



# IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

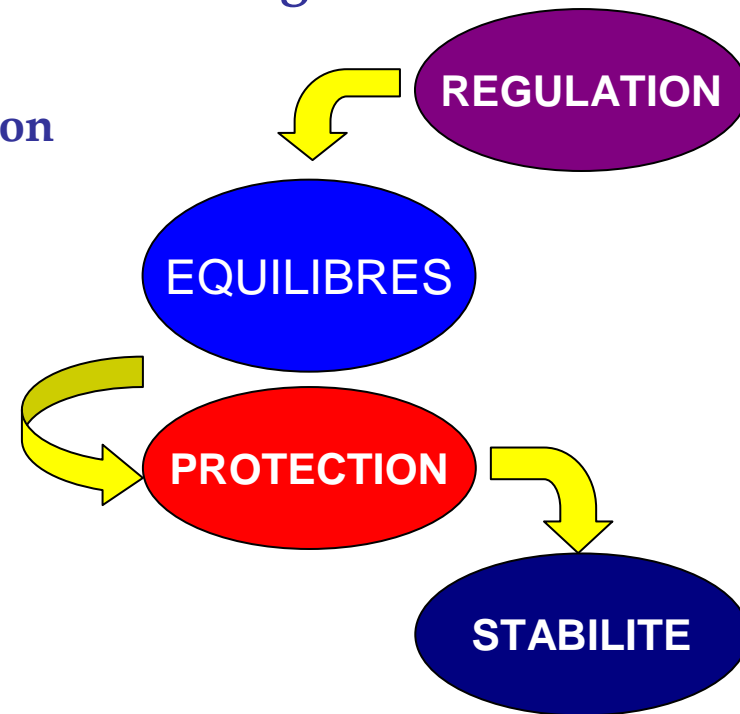
## □ Intérêt des îlotages intentionnels



## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

### ❑ Critères Techniques pour la faisabilité de l'îlotage

- ❑ Régulation de Fréquence & de Tension
- ❑ Équilibres Prod. Vs Consom.
- ❑ Système de Protection
- ❑ Stabilité : tenue aux événements



>> IL NE SUFFIT PAS DE RAISONNER EN EQUILIBRES PUISSANCES

>> Compatibilité du système de protection à étudier au cas par cas

## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

- ❑ Intérêt des îlotages intentionnels : limite d'insertion de production intermittente

- ❑ FD2 proche de 1

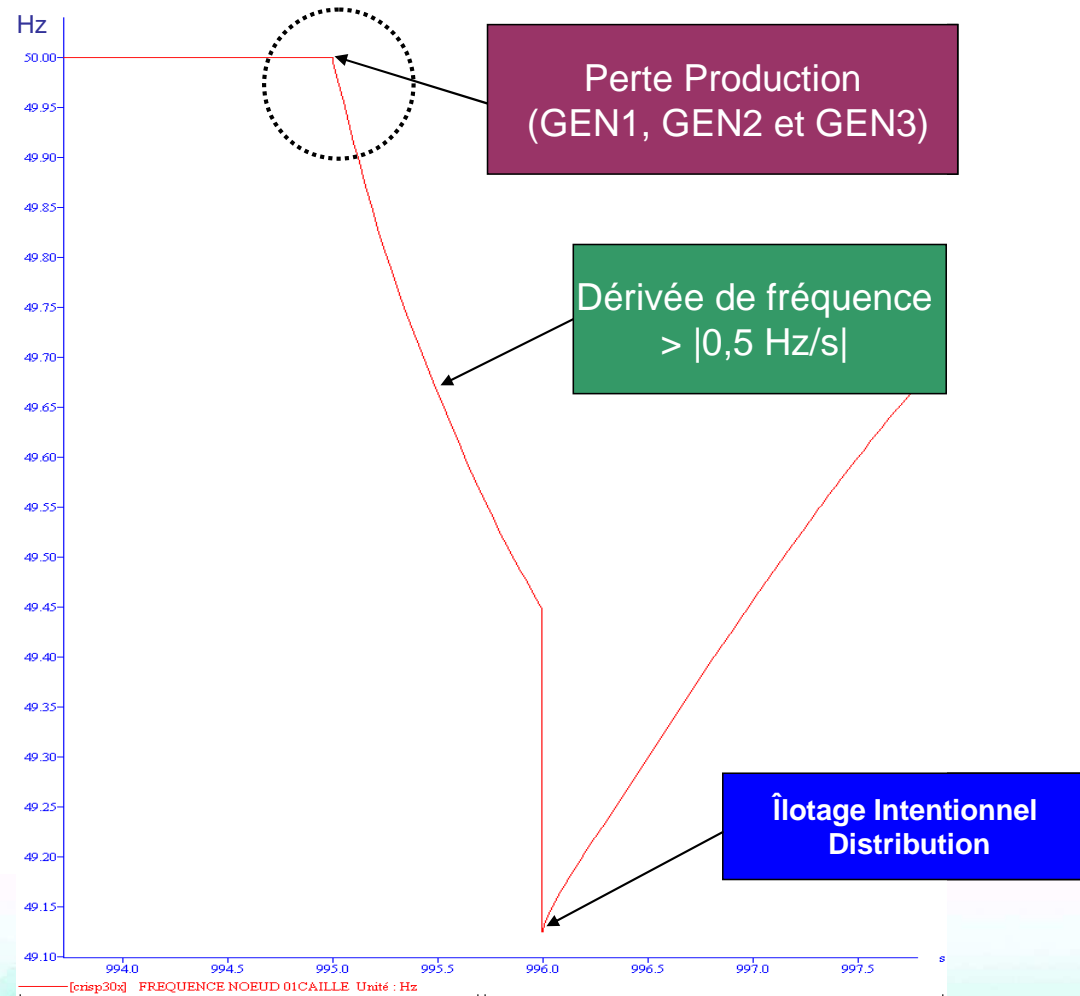
$$(FD_2) = \frac{[(PR) + (IL)]}{[(DG_x) + (ALEA)]}$$

- ❑ *Pas comptabilisée à l'avance pour les équilibres*
- ❑ *Évènements de raccordement et de déconnexion lors des déviations de tension et de fréquence*
- ❑ Comparaison Production Décentralisée Intermittente avec la Réserve primaire et les Délestages de charge jusqu'au 49 Hz



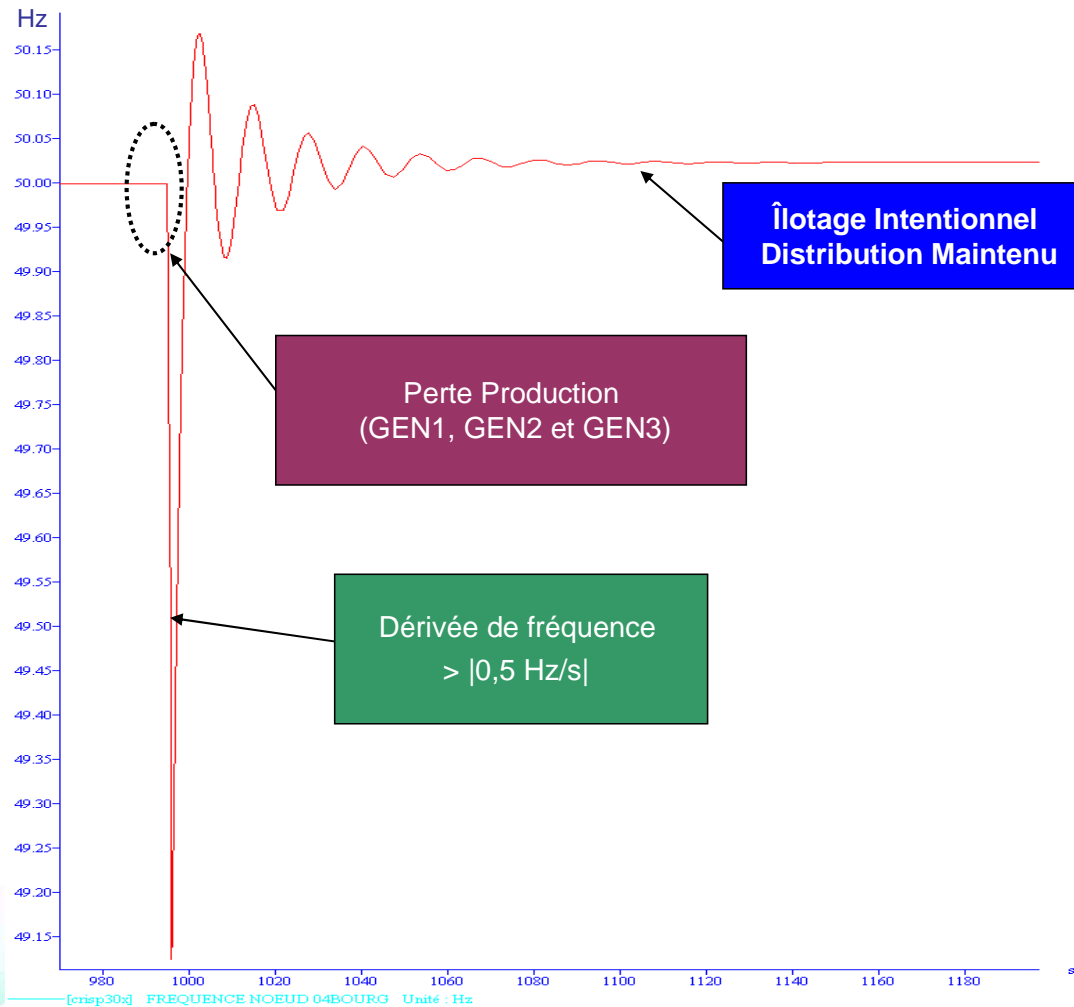
## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

### ❑ Intérêt des îlotages intentionnels : *PHASE 1*



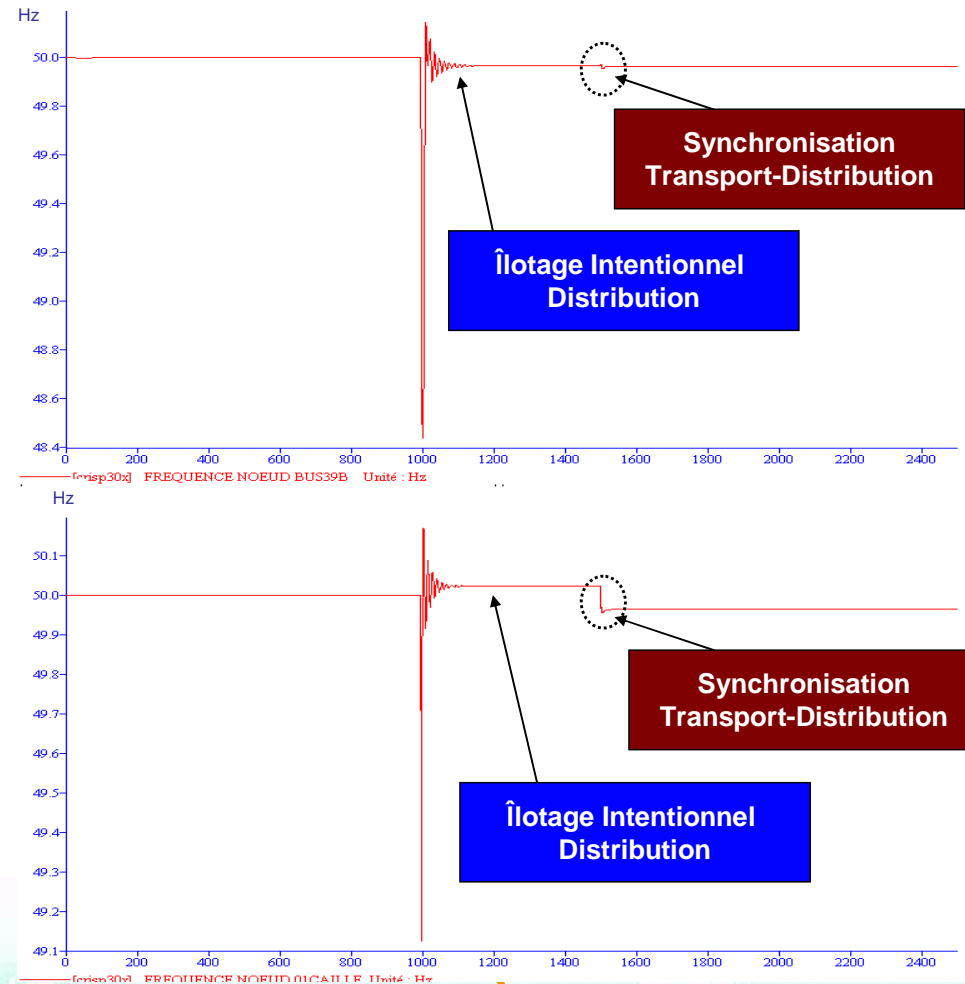
## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

### ❑ Intérêt des îlotages intentionnels : *PHASE 2*



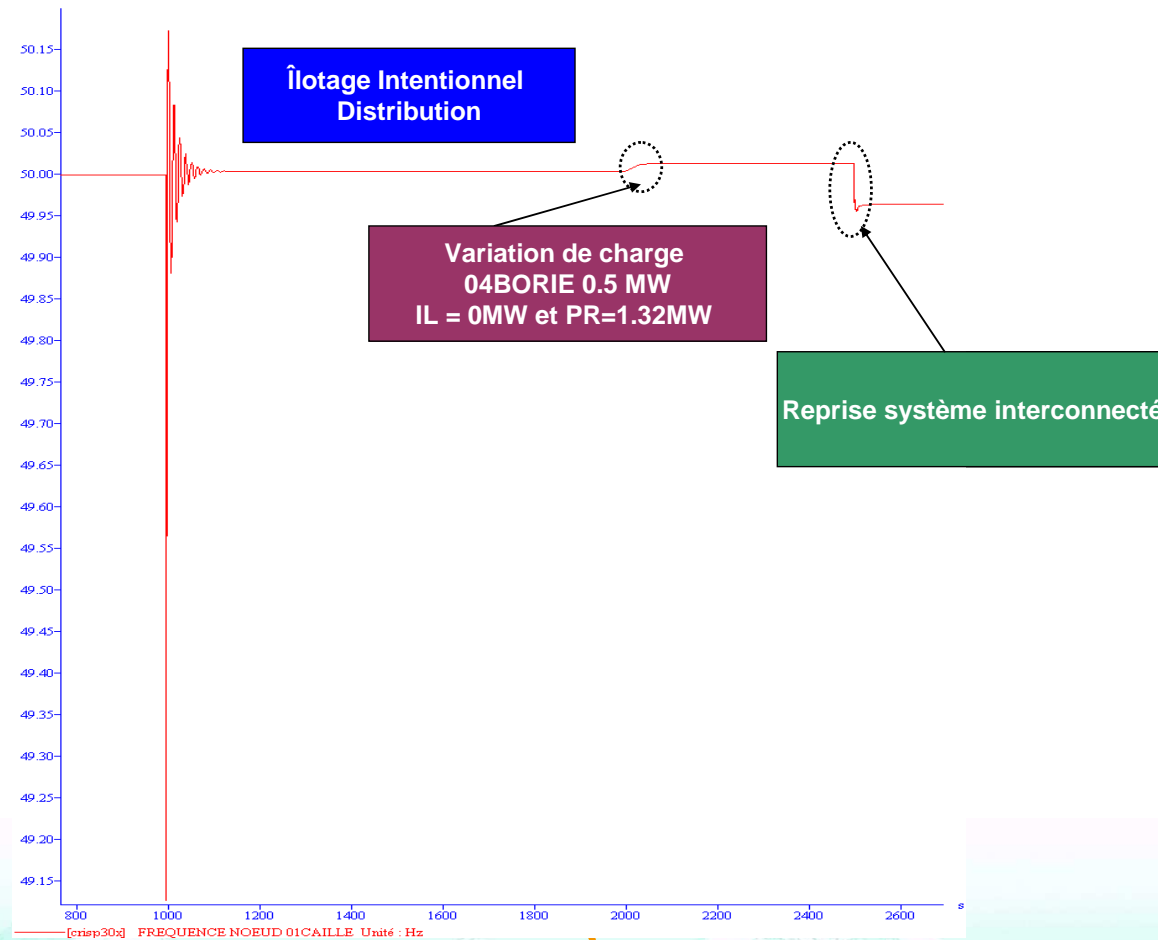
## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

### ❑ Intérêt des îlotages intentionnels : *PHASE 3*



## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

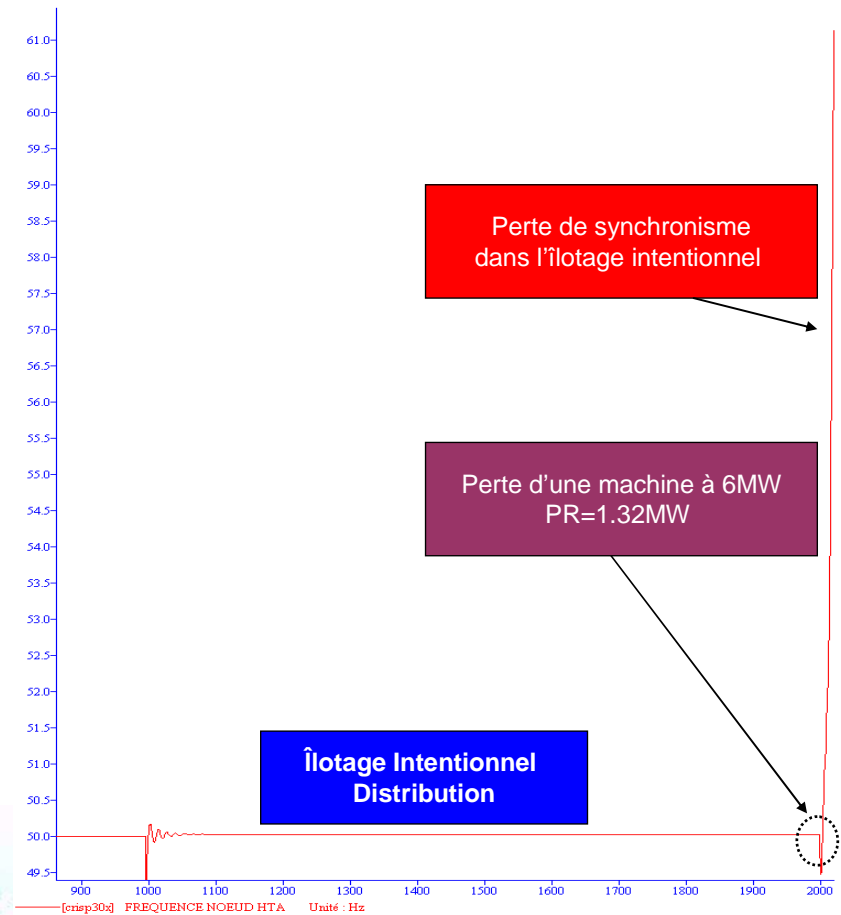
- ❑ Intérêt des îlotages intentionnels
  - ❑ Variation de puissance de 0,5 MW →  $FD2 > 1$



## IV.- Îlotages intentionnels: faisabilité

### ❑ Intérêt des îlotages intentionnels

❑ Perte Génération 6MW → FD2 <1



# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

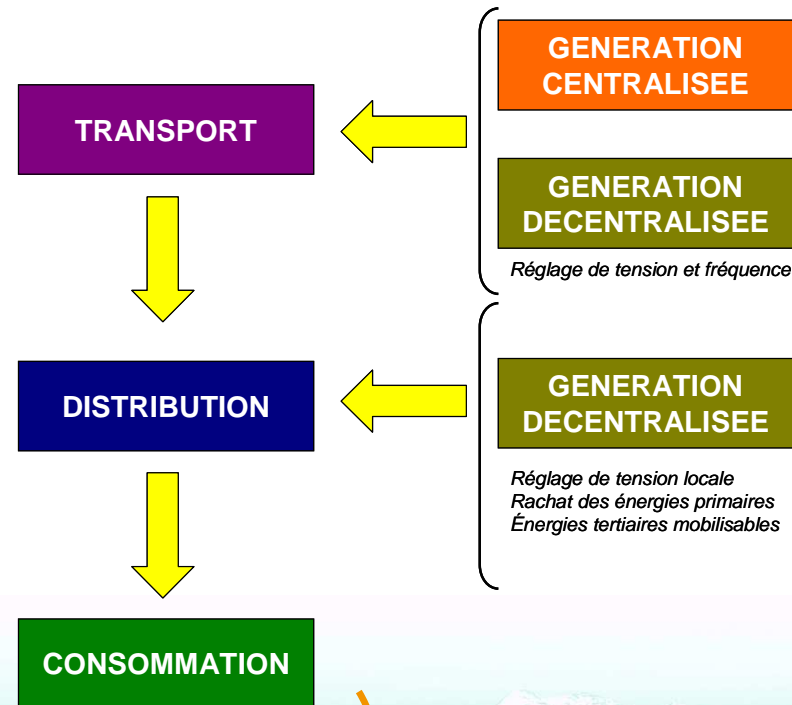
VII.- Conclusions et perspectives



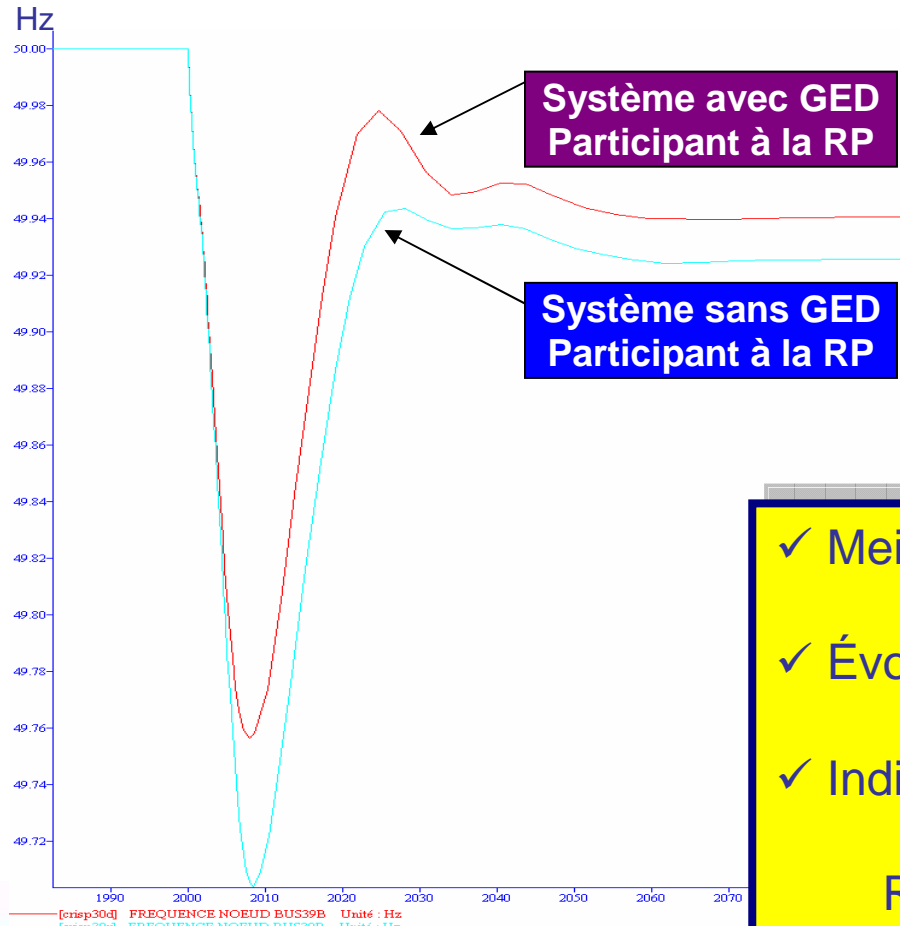
### ❑ Nouvelle Régulation de l'énergie

- ❑ Énergies Renouvelables ↔ Énergies de Base
- ❑ Compensation pour favoriser les équilibres et sous-systèmes des plans de défense

### >> GENERATEURS DE COMPENSATION



## □ Participation GED à la RESERVE PRIMAIRE



Nature de l'énergie	Pourcentage de Participation par rapport à la Puissance Nominale
Production Décentralisée	2% min.
Production Centralisée	4-5% min.

- ✓ Meilleure tenue en fréquence
  - ✓ Évolutions de Puissance mieux gérées
  - ✓ Indices FDX plus favorables
- ROBUSTESSE & FLEXIBILITE**

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

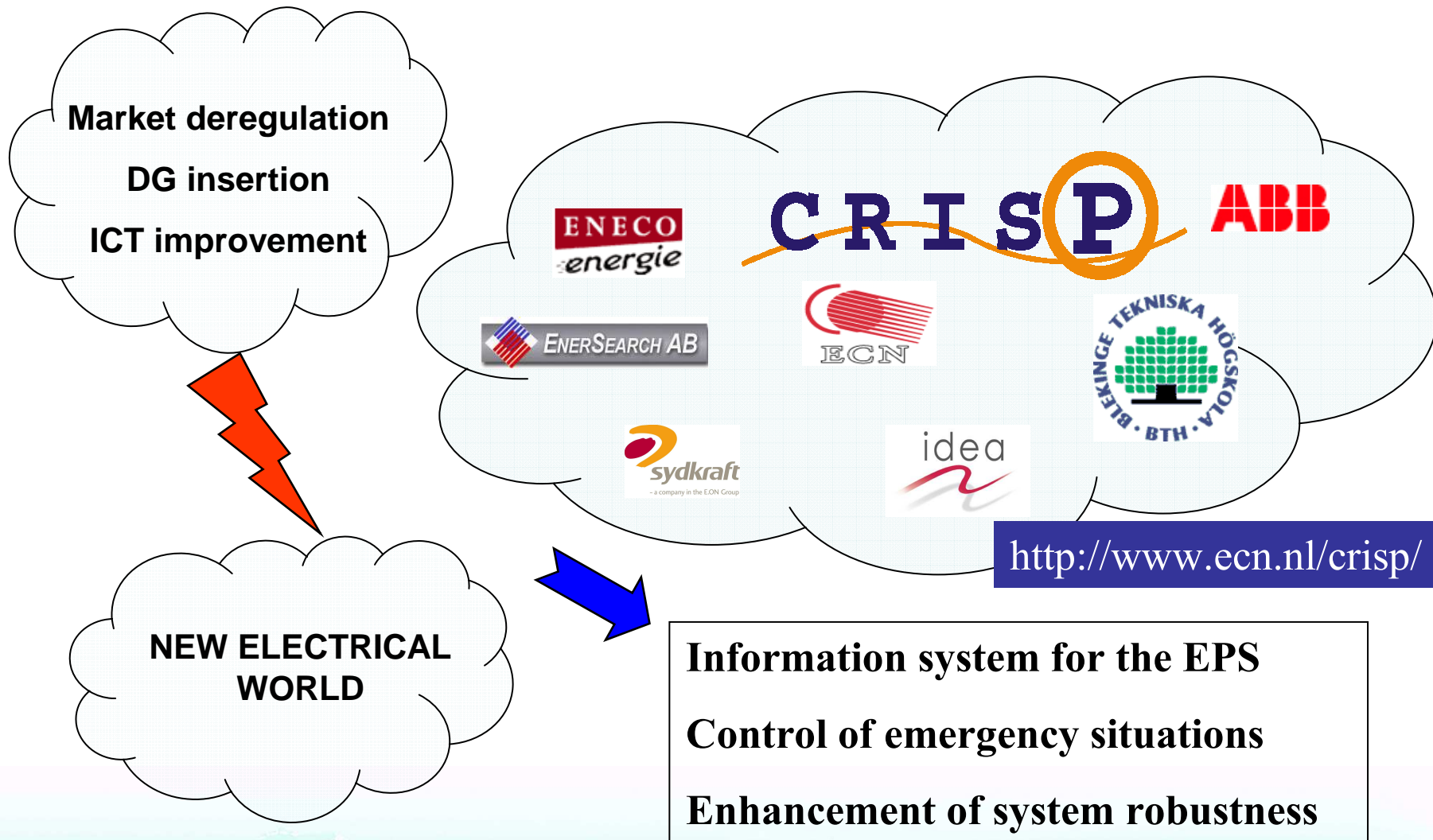
IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

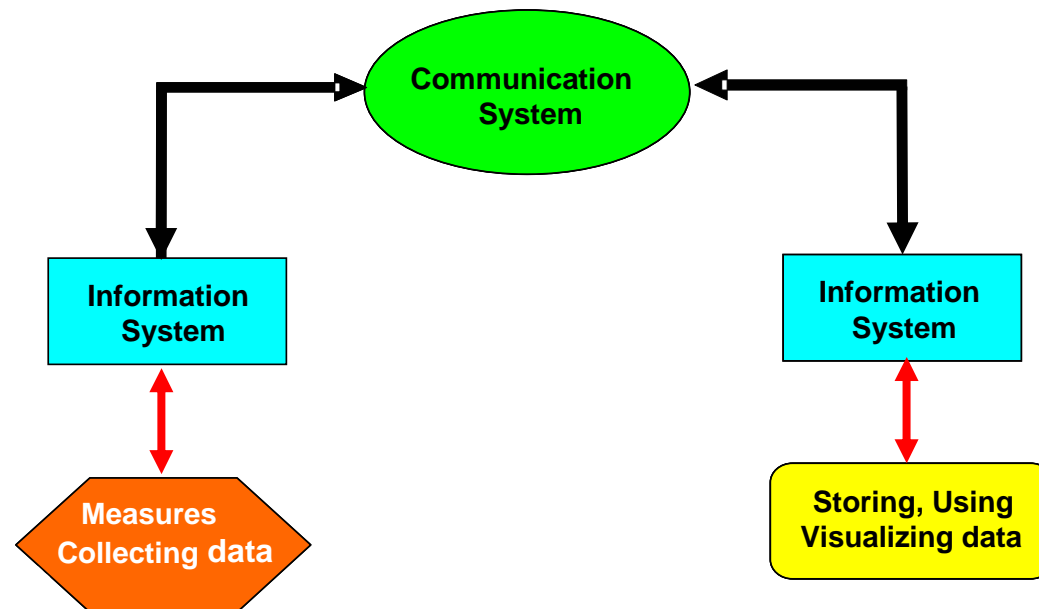
VII.- Conclusions et perspectives

# VI.- ICTs: Distributed Intelligence



## VI.- ICTs: Distributed Intelligence

- ❑ ICT (Information Communication Technologies)
- ❑ *Semantic definition: Information vs Communication vs Computerization*



## VI.- ICTs: Distributed Intelligence



### □ Communication delays with different communication links

Power System Task	Bandwidth requirement	Current response time
Load shedding( local decision)	Low	Seconds
Adaptive Relaying (i.e. Blocking relaying)	Low	Not available
Hierarchical Data Acquisition and Transfer	High	Seconds
Line/ Bus reconfiguration	Low	Minutes (by Manual)
Control devices (e.g. FACTS, Transformer)	Medium	Seconds (by Manual)
Fault Event Recorder Information	Medium	Minutes
Generator Con trol	Low	Seconds
National Strategic Power Defense Plan	High	Not applicable

Source: SPID project, Amin.M



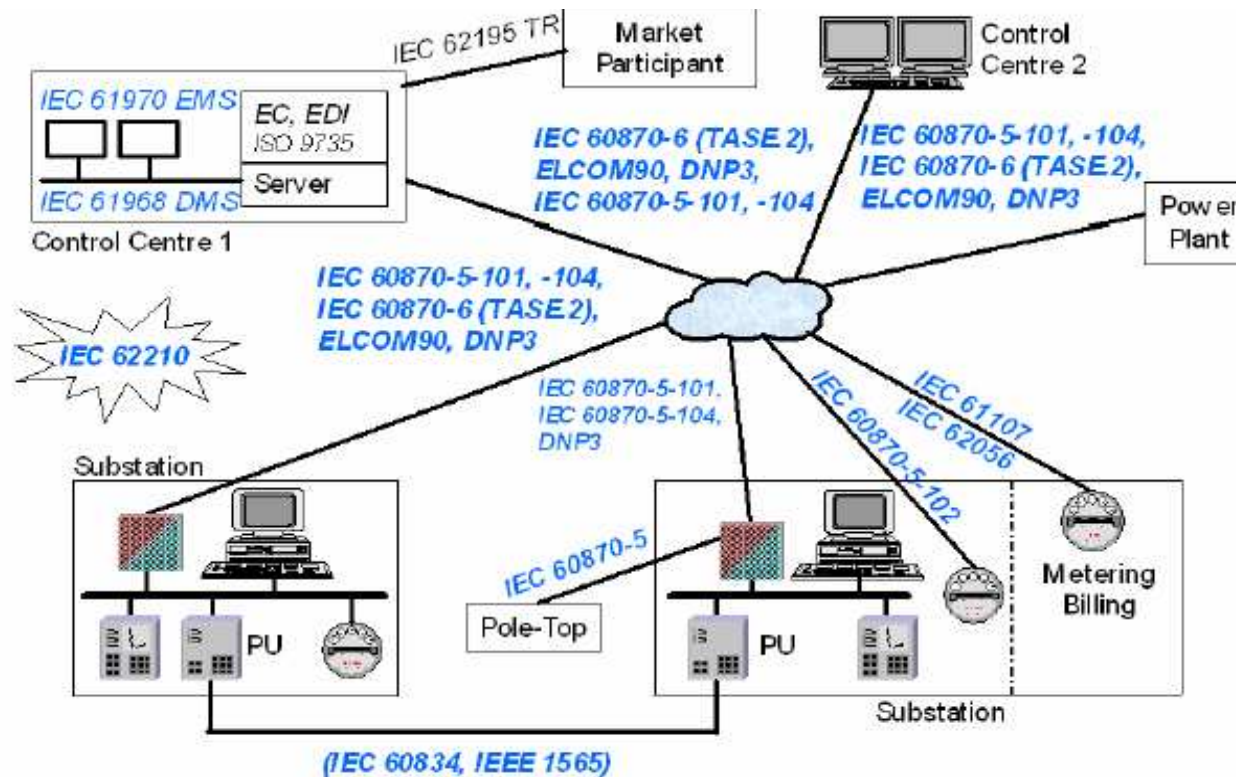
## VI.- ICTs: Distributed Intelligence



- EPS states and main operations**
- Normal operation**
  - Monitoring
  - Information analysis (EMS, Energy Management System)
  - Metering (smart-meter)
- Emergency operation**
  - Violations of security criteria
  - Need of the coordination of actors
  - Coordination of Upper SCADA levels
- Restoration operation**
  - Detection, synchronization and interconnection of existing sub-areas
  - Emergency communication links

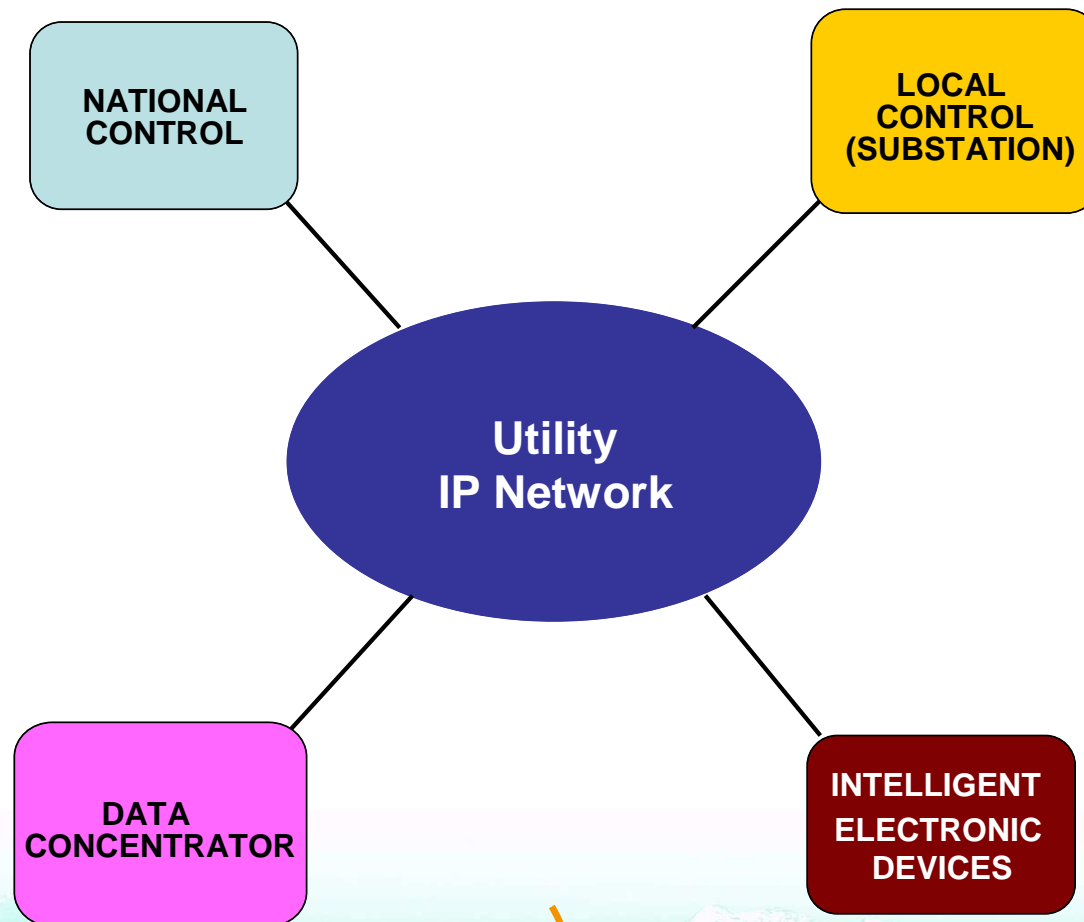
# VI.- ICTs: Distributed Intelligence

## □ Standards and recommendations depending on the task



Source: CIGRE B5.11, 2003

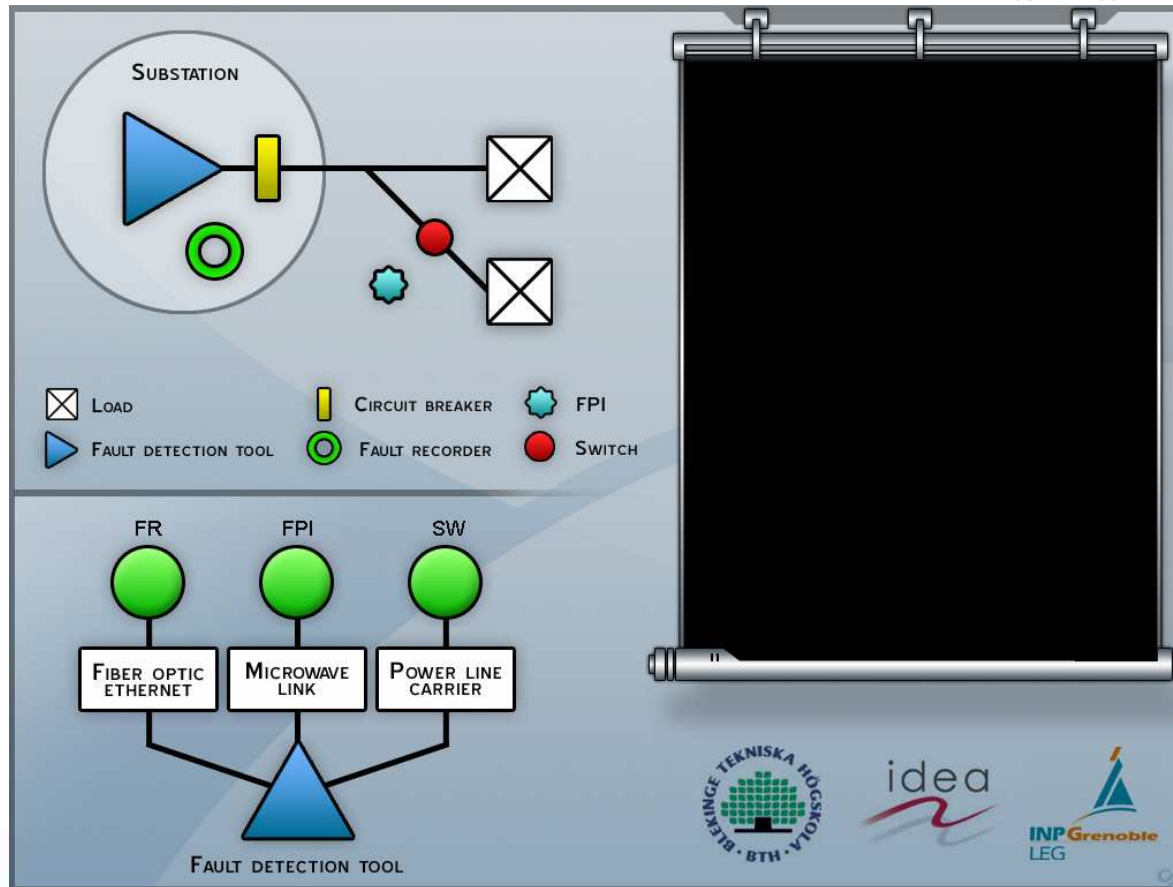
### □ CRISP project: new architecture for the utility communications



## VI.- ICTs: Distributed Intelligence

### ❑ CRISP experiments: BTH-IDEA

### ❑ Fault detection and localization tool: network properties



## VI.- ICTs: Conclusions



- ❑ Needs of new ICT components in EPS
  - ❑ To develop new operations/functions in the system
    - ✓ Observability
    - ✓ Dispatchability
    - ✓ Controllability
  - ❑ Lessons learned from last blackouts (coordination, defense and emergency strategies)
  - ❑ Cost, dependability, security and reliability: major parameters
  
- ❑ CRISP project → INTEGRAL project
  - ❑ New possibilities with ICTs
  - ❑ Self-healing operations
  - ❑ Test of new ICT components

# Plan de la Présentation

I.- Contexte du travail

II.- Réseaux de transport, prod. décentralisée et grandes pannes

III.- Robustesse : méthodologie & indices

IV.- Îlotages intentionnels : faisabilité

V.- Régulation de l'énergie avec la production décentralisée

VI.- ICTs: Intelligence Distribuée

VII.- Conclusions et perspectives



## VII.- Conclusions

- ❑ **Interactions et Couplages forts entre le T&D**
  - >> **Dynamiques spécifiques à prendre en compte**
  - >> **Découplages T&D difficiles si incident majeur**
- ❑ **Robustesse : indices RI et FD**
  - >> **Indices de performances flexibles & adaptables**
  - >> **Réelle attente des TSOs/DNOs**
- ❑ **Exigences en terme de Réserves Primaires**
  - >> **Amélioration de la Robustesse**
  - >> **Pourquoi pas un marché de réserves primaires : rachats ?**
- ❑ **Identification des ICTs pour la Prod. Décentralisée**
  - >> **Nouvelles stratégies non applicables autrement**

## VII.- Perspectives

- ❑ **Approfondir les indices pour image en Temps Réel**
  - >> **Vecteurs majeurs sans passer par l'analyse des incidences**
  
- ❑ **Définir un indice de robustesse multidisciplinaire**
  - >> **ICT + Technique: prise en compte des vulnérabilités**
  - >> **Fausses alertes pas prises en compte**
  
- ❑ **Analyser les indices de Robustesse : continus & discrets ?**
  - >> **Pentes critiques de variation & notion de distances**
  
- ❑ **Utiliser les ICTs pour l'îlotage intentionnel**
  - >> **Développement des agents & outils de contrôle**
  - >> **Automatisations envisageables**
  - >> **Coordination entre TSOs/DNOs**



# QUESTIONS ?



# QUESTIONS ?