

**Soirée des doctorants
IEEE PES 2015**



Optimisation des réseaux: «réseau actif et flexible»

Sellé TOURE

**Sous la direction: Yvon BESANGER
Raphaël CAIRE**

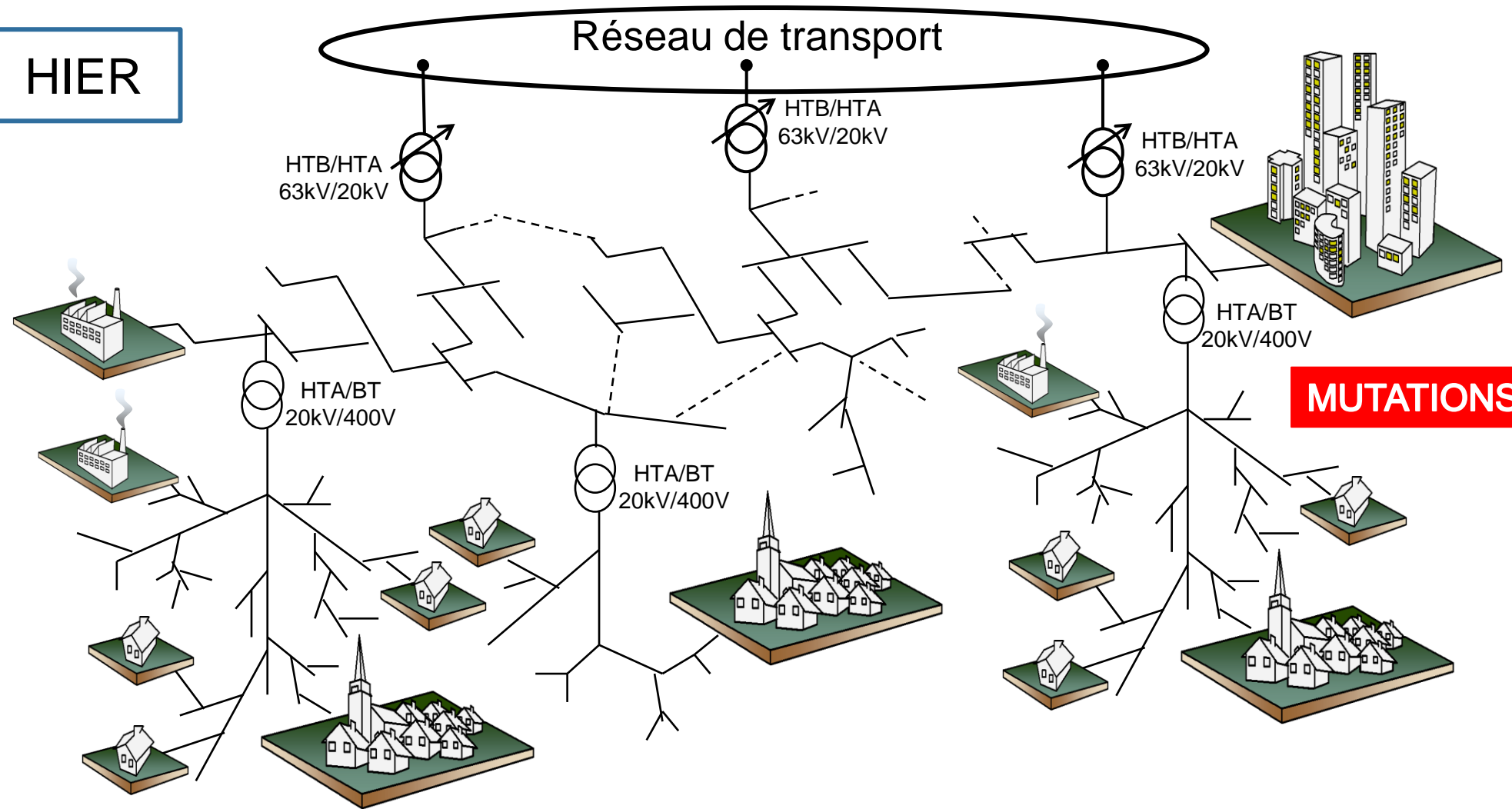
**UMR CNRS 5269 - Grenoble-INP
– Université Joseph Fourier
05/02/2015**



I. Contexte et problématique

I. Vers un réseau de distribution plus flexible et actif: le Smart Grid

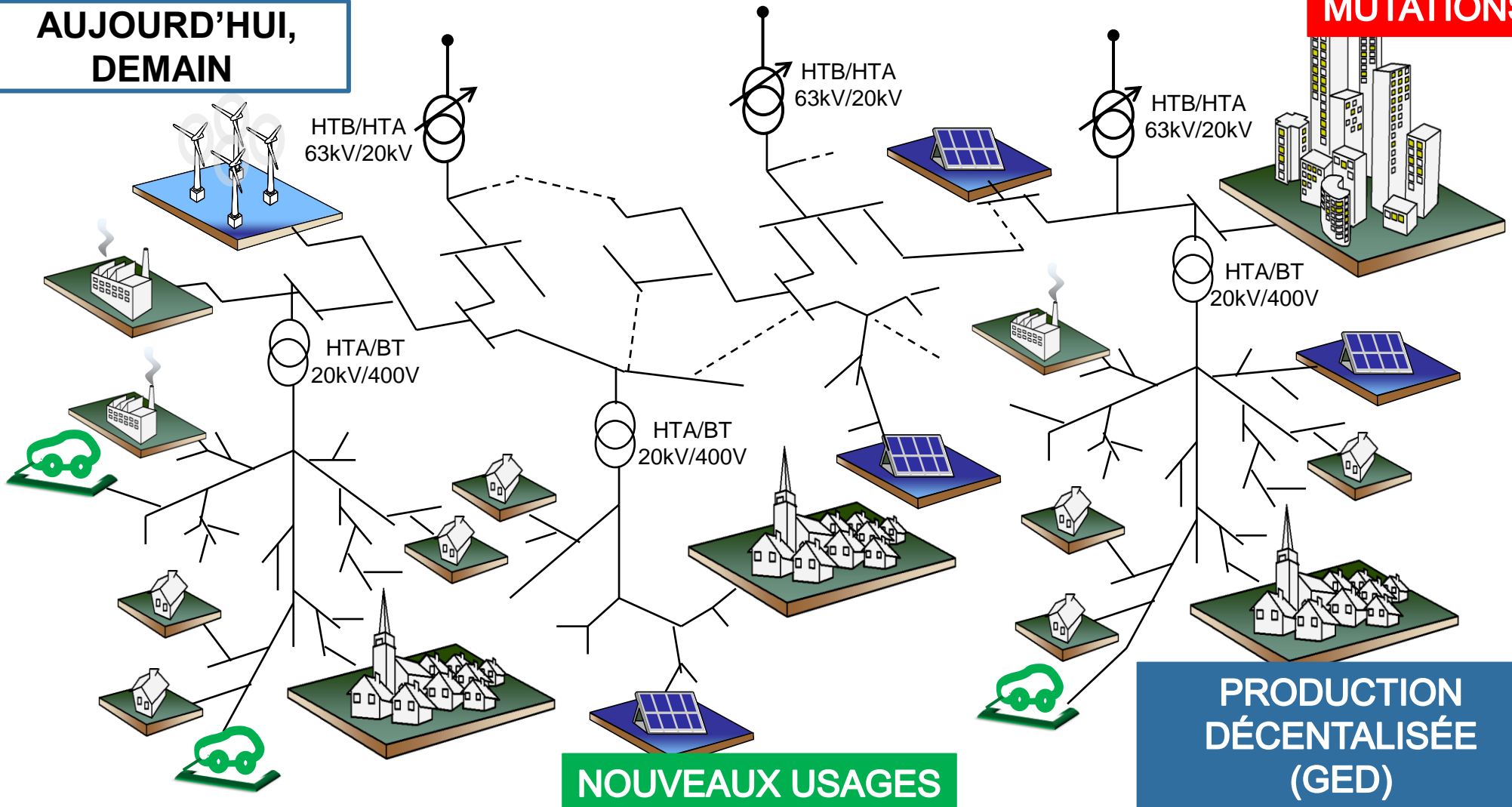
HIER



I. Contexte et problématique

I. Vers un réseau de distribution plus flexible et actif: le Smart Grid

**AUJOURD'HUI,
DEMAIN**



MUTATIONS

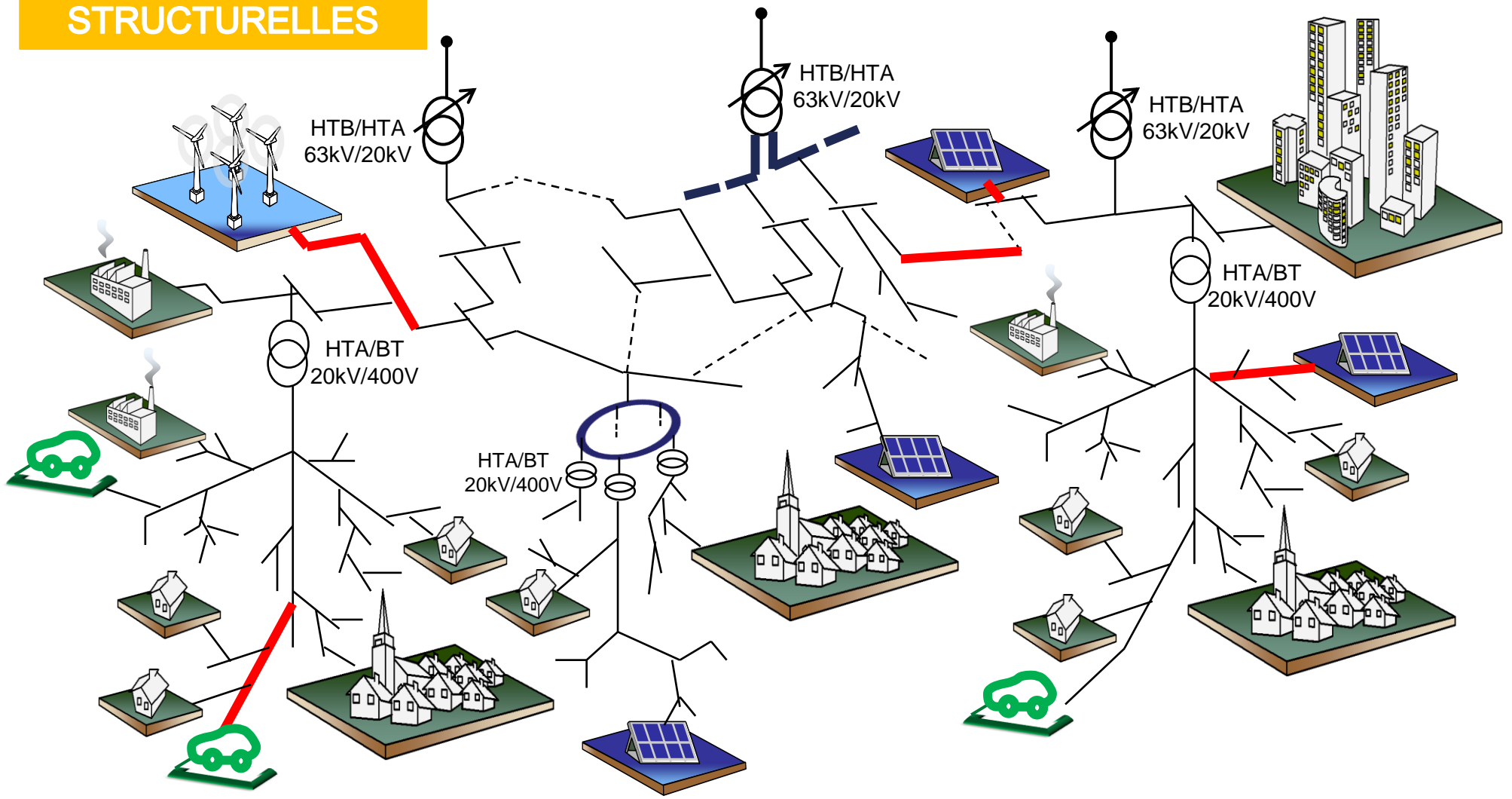
NOUVEAUX USAGES

PRODUCTION DÉCENTRALISÉE (GED)

I. Contexte et problématique

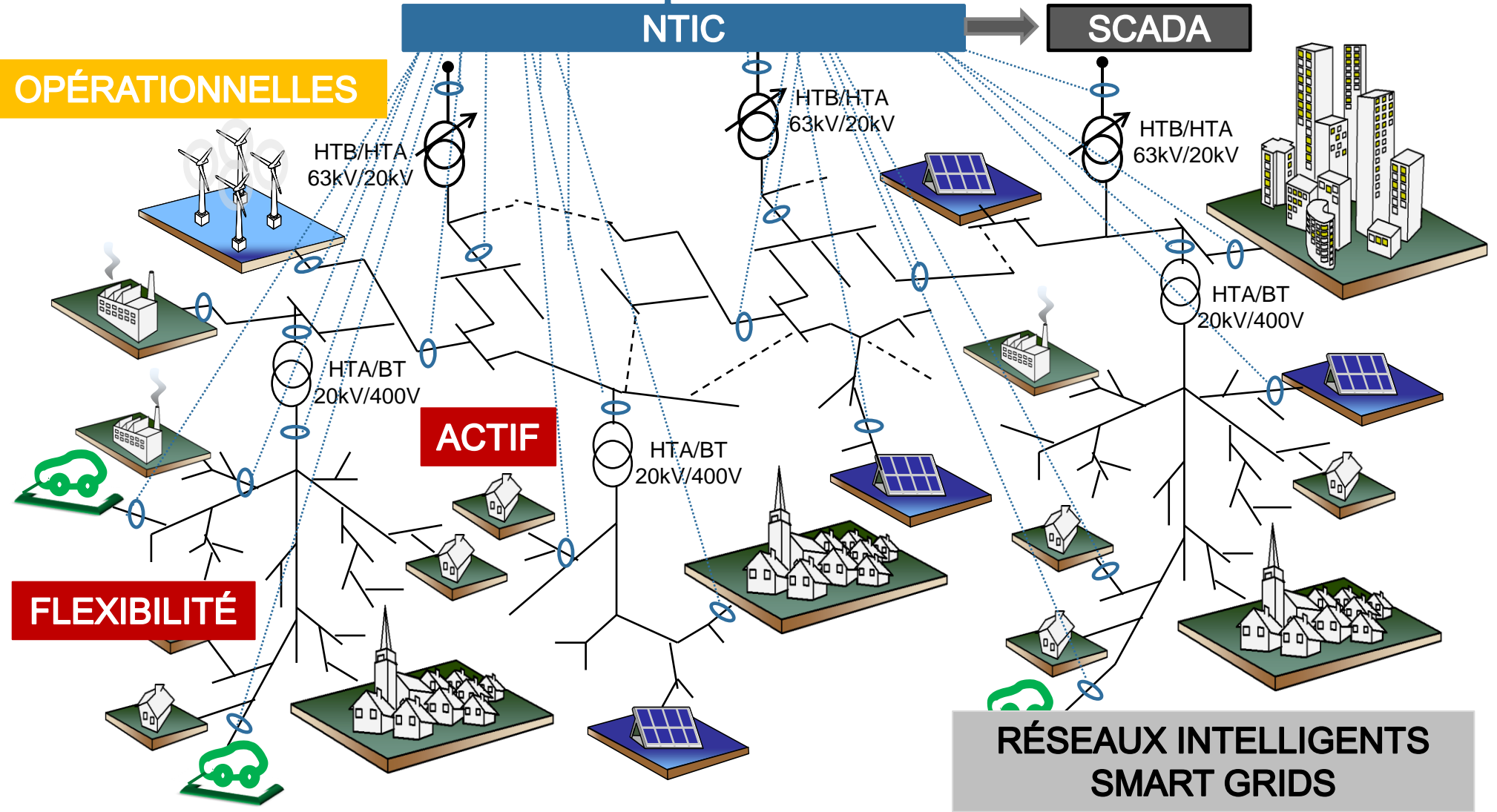
A. Vers un réseau de distribution plus flexible et actif: le Smart Grid

STRUCTURELLES



I. Contexte et problématique

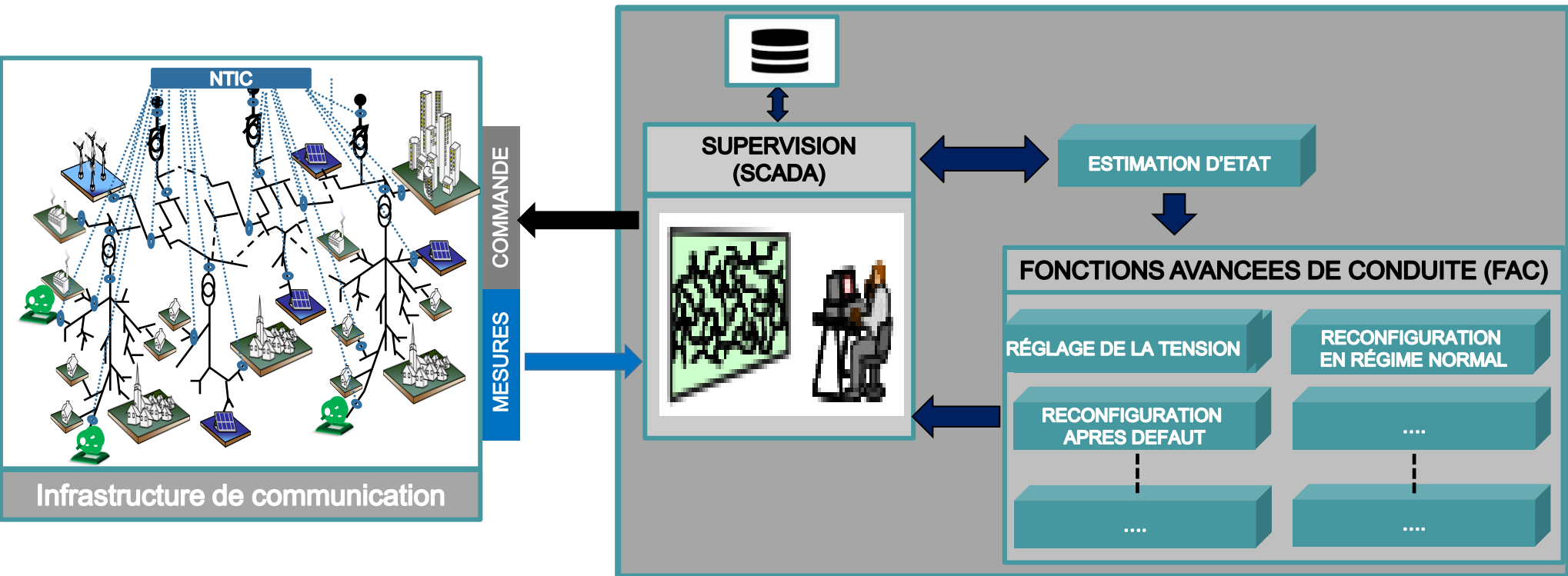
A. Vers un réseau de distribution plus flexible et actif: le Smart Grid



I. Contexte et problématique

B. La conduite dans le contexte des Smart Grids

Nouvelle Vision de la Conduite



I. Contexte et problématique

C. Verrous scientifiques

1. Reconfiguration de Réseau Régime Normal (RRN) ou Volt Var Control (VVC)

• Leviers de réglage

Transformateurs avec Régleurs en charge
DISCRETS

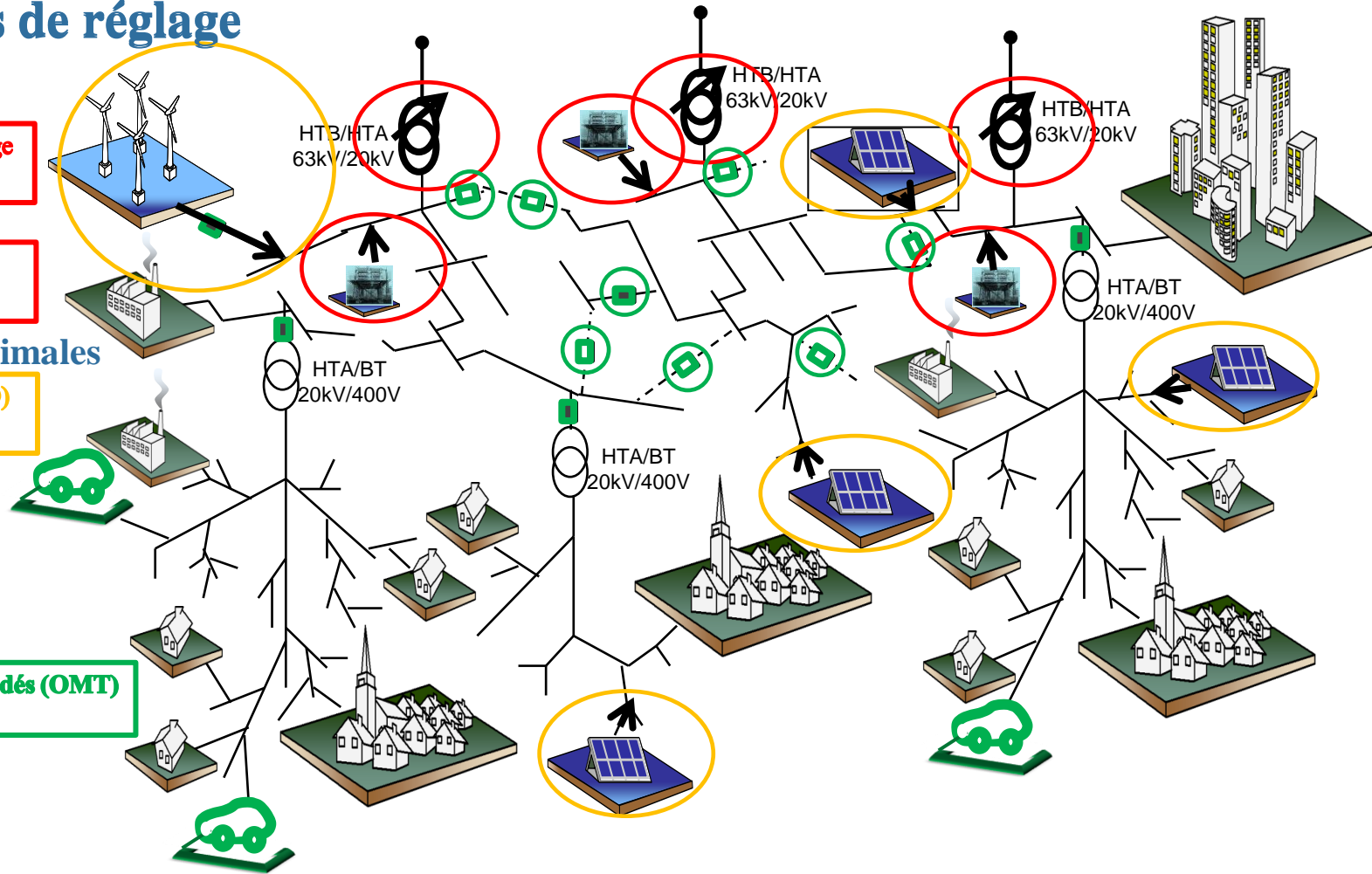
Problème

Gradins de Condensateurs
DISCRETS

Solutions sous-optimales

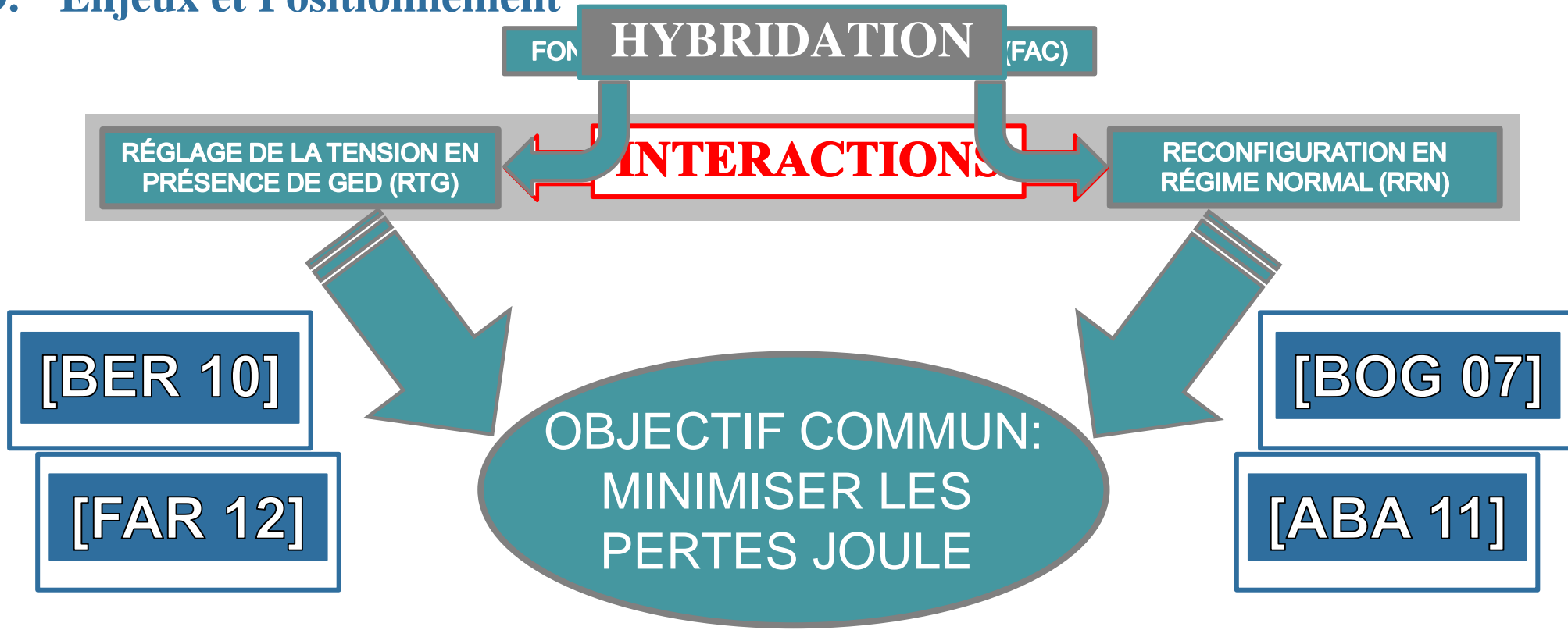
Générateurs d'Energie Dispersés (GED)
CONTINUES

Organes de Manœuvres Télécommandés (OMT)
BINAIRES



I. Contexte et problématique

D. Enjeux et Positionnement



[BER 10], B. Berseneff, «Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur,» Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2010

[FAR 12], M. Farivar et S. H. Low, «Branch Flow Model: Relaxations and Convexification,» 51 IEEE Conference on Decision and Control, December 2012.

[BOG 07], F. B. Enacheanu, «Outils d'aide à la conduite pour les opérateurs des réseaux de distribution,» Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2007

[ABA 11], C. Ababei et R. Kavasseri, «Efficient Network Reconfiguration Using Minimum Cost Maximum Flow-Based Branch Exchanges and Random Walks-Based Loss Estimations,» IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 26, N° .1,, pp. 30-37, February 2011

I. Contexte et problématique

E. Démarche scientifique

Réseau physique

Données réels

Modélisation des composants

Représentation mathématique

Coordonnées

Définition d'une base

Polaires (Θ) Cartésiennes(C) Projection (P)

Conceptualisation

Reformulation

Développements

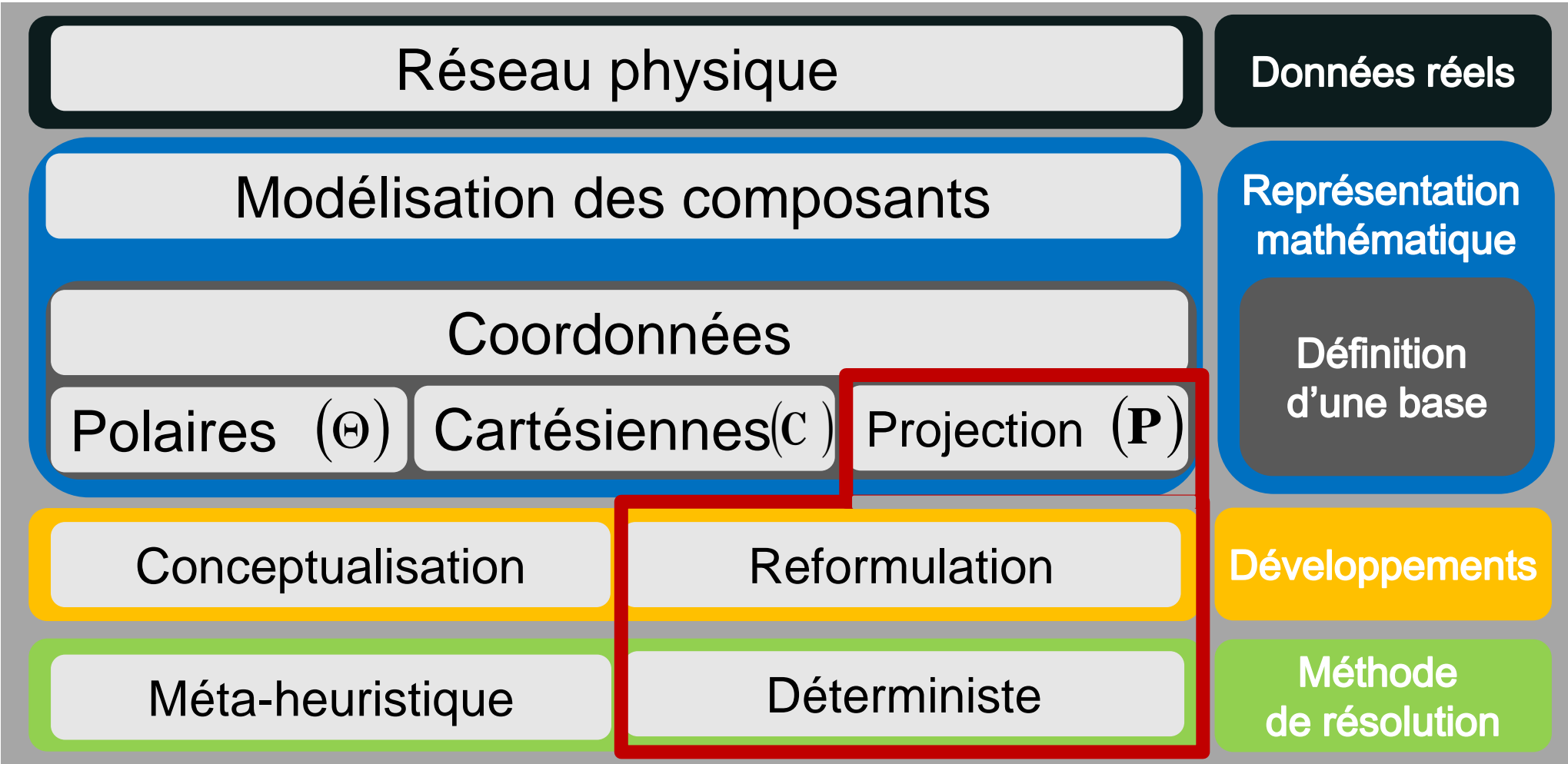
Méta-heuristique

Déterministe

Méthode de résolution

I. Contexte et problématique

E. Démarche scientifique



Plan



I. Contexte et Problématique

**II. Nouvelle approche, Déterministe
(Re) Formulation**

III. Conclusions et perspectives

II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (Π_{RTT})

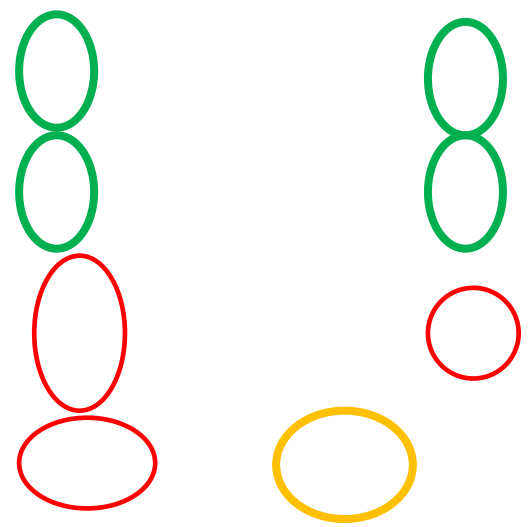
1. Fonction Objectif

$$\min_{e_{ij}, k_{ij}, n_i^{grad}, Q_i^{ged}} \text{Pertes Joule} = \sum_{(i,j) \in \Omega} r_{ij} \cdot |\bar{I}_{ij}|^2 \quad (\text{valeur réduite})$$

2. Variables décisionnelles (puissance réactive des gradins de condensateurs & GED – états des OMT– prises des transformateurs à régleurs en charge)

$$e_{ij}, k_{ij}, n_i^{grad}, Q_i^{ged}$$

Problème difficile



Organes de Manœuvres Télécommandés (OMT)

Puissance réactive des GED

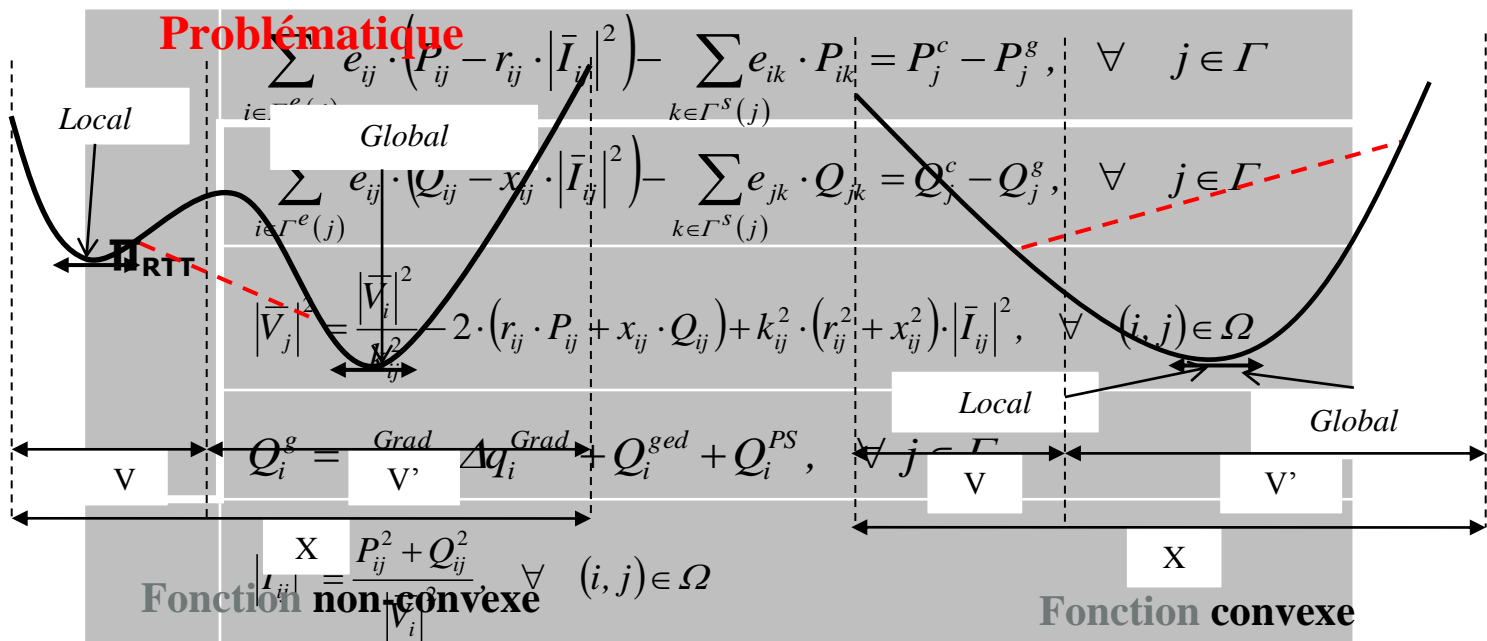
Transformateurs avec Gradins de régleur en charge condensateurs

II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (Π_{RTT})

3. Reformulation exacte

- i. Changement de variables => Projection
- ii. Relaxation conique => Cône de second degré
- iii. Equation non convexe => inéquation et équation convexes
- iv. Contraintes disjointes ou complémentaires
- v. Représentation binaire
- vi. Produit entre variables binaire et continue



II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (Π_{RTT})

3. Reformulation exacte

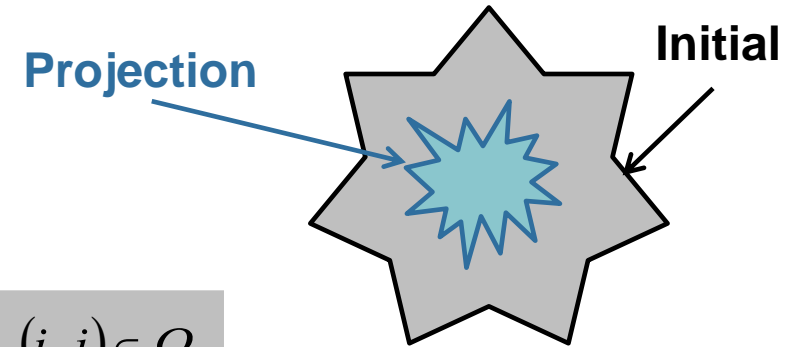
i. Changement de variables

– Projection

$$v_i = |\bar{V}_i|^2, \quad \forall i \in \Gamma$$

et

$$l_{ij} = |\bar{I}_{ij}|^2, \quad \forall (i, j) \in \Omega$$



II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (Π_{RTT})

3. Reformulation exacte

ii. Relaxation conique, SOCP: Cône de second degré

$$l_{ij} = \frac{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2}{v_i}$$

\Rightarrow

$$l_{ij} \geq \frac{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2}{v_i}$$

\Rightarrow

$$\begin{bmatrix} 2 \cdot P_{ij} \\ 2 \cdot Q_{ij} \\ l_{ij} - v_i \end{bmatrix}_2 \leq l_{ij} + v_i$$

• Propriétés

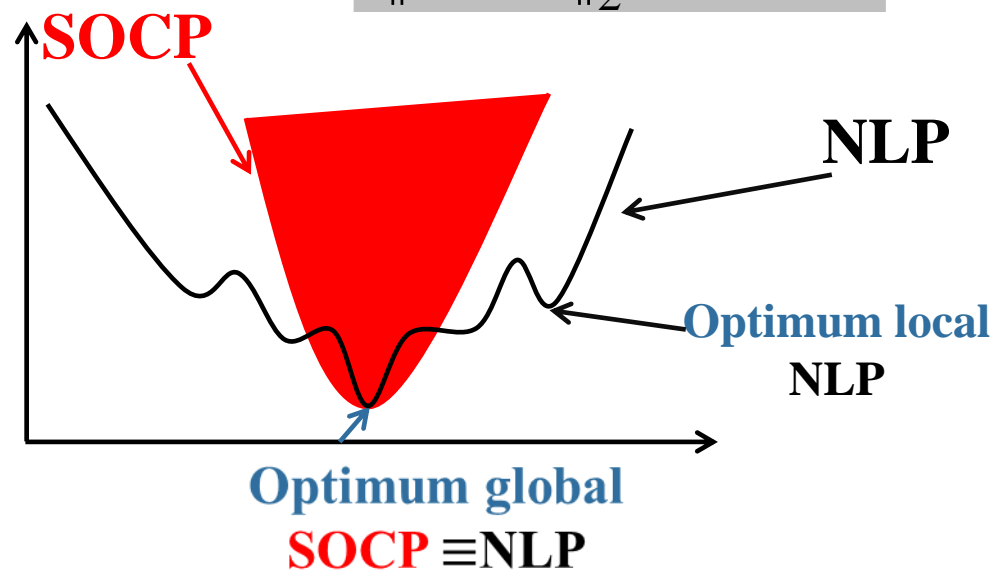
➤ Borne inférieure

✓ SOCP \subset NLP

➤ Fonction Objectif [FAR 12]

✓ Convexe et monotonie stricte

✓ Equivalence entre SOCP et NLP



[FAR 12], M. Farivar et S. H. Low, «Branch Flow Model: Relaxations and Convexification,» 51 IEEE Conference on Decision and Control, December 2012

B. Hybridation (Π_{RTT})

3. Reformulation exacte

iii. Equation non convexe \Rightarrow inéquations et équation convexes

$$\sum_{i \in \Gamma^e(j)} e_{ij} \cdot (P_{ij} - r_{ij} \cdot l_{ij}) - \sum_{k \in \Gamma^s(j)} e_{ik} \cdot P_{ik} = P_j^c - P_j^g, \quad \forall j \in \Gamma$$

II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (Π_{RTT})

3. Reformulation exacte

iv. Contraintes disjointes ou complémentaires

– Composant ouvert

$$\left. \begin{array}{l} -e_{ij} \cdot P_{ij}^{max} \leq P_{ij} \leq e_{ij} \cdot P_{ij}^{max} \\ 0 \leq l_{ij} \leq e_{ij} \cdot l_{ij}^{max} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{ij} = 0, \quad Q_{ij} = 0 \quad \text{et} \quad l_{ij} = 0$$

– Contradictions

$$v_j = \frac{v_i}{k_{ij}^2} - 2 \cdot (r_{ij} \cdot P_{ij} + x_{ij} \cdot Q_{ij}) + k_{ij}^2 \cdot (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) \cdot l_{ij}, \quad \forall (i, j) \in \Omega \Rightarrow v_j = \frac{v_i}{k_{ij}^2} \quad \text{ou} \quad v_j = v_i$$

$$\left. \begin{array}{l} v_j \geq \frac{v_i}{k_{ij}^2} - 2 \cdot (r_{ij} \cdot P_{ij} + x_{ij} \cdot Q_{ij}) + k_{ij}^2 \cdot (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) \cdot l_{ij} - (1 - e_{ij}) \cdot M, \quad \forall (i, j) \in \Omega \\ v_j \leq \frac{v_i}{k_{ij}^2} - 2 \cdot (r_{ij} \cdot P_{ij} + x_{ij} \cdot Q_{ij}) + k_{ij}^2 \cdot (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) \cdot l_{ij} + (1 - e_{ij}) \cdot M, \quad \forall (i, j) \in \Omega \end{array} \right\} \text{Contraintes Disjointes}$$

B. Hybridation (Π_{RTT})

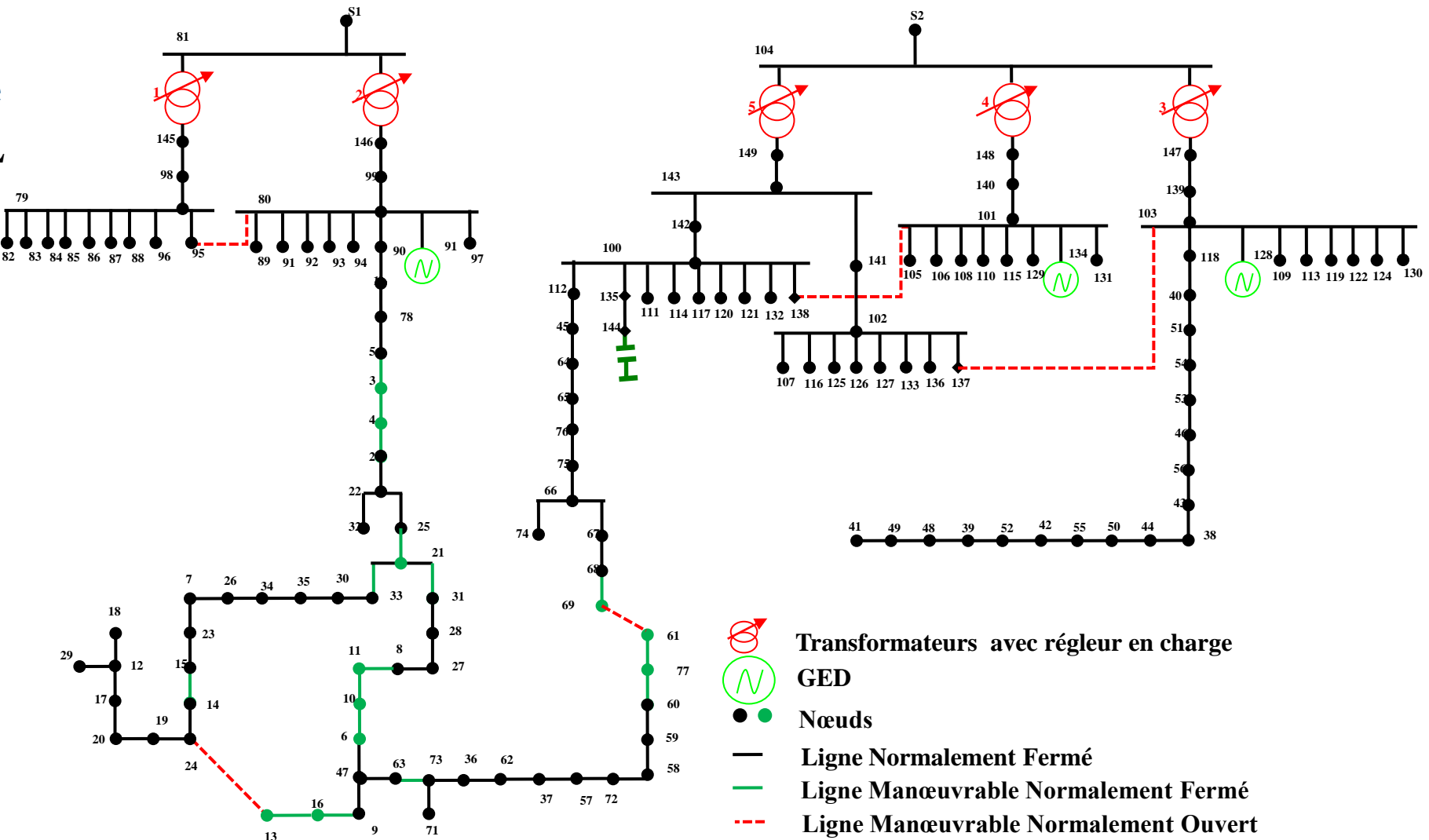
3. Reformulation exacte

- i. Changement de variables \Rightarrow Projection
- ii. Relaxation conique \Rightarrow Cône de second degré
- iii. Equation non convexe \Rightarrow inéquation et équation convexes
- iv. Contraintes disjointes ou complémentaires
- v. Représentation binaire
- vi. Produit entre variables binaire et continue

4. Conclusion partielle

- i. Aucune non-linéarité
- ii. Optimisation convexe
- iii. Problème NP-Difficile
- iv. Optimalité garantie

II. Nouvelle approche, Déterministe



B. Hybridation (Π_{RTT})

5. Résultats

- Différents types de charge
- Sans les pertes à vide des transformateurs HTA/BT
- Avec les pertes à vide des transformateurs HTA/BT

Cas	1	2	3
GED / Gradins	Sans GED ni Gradins	Avec GED	
Gestion puissance réactive des GED		Sans	Avec
Réglage de la tension	k_{ij}	k_{ij}	k_{ij}, Q_i^{ged}
Reconfiguration	e_{ij}	e_{ij}	e_{ij}, Q_i^{ged}
Hybridation	e_{ij}, k_{ij}	e_{ij}, k_{ij}	$e_{ij}, k_{ij}, Q_i^{ged}$

II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (Π_{RTT})

5. Résultats

- **RURAL**

- **Charge PQ constant**

Cas	Sans GED					Sans réactif GED					Avec réactif GED				
Configuration	[43 74 19 97 117]														
Prises des transformateurs	16	16	15	15	16	16	16	15	15	16	16	16	15	14	16
Puissance réactive (kVAr)	-					Q_1					158	4957	5570		
Pertes Joule (kW)	702.49					584.57					580.38				
Pourcentage des pertes (%)	0.525					0.437					0.434				

$Q_1 \Rightarrow$ Tangente 0.4

II. Nouvelle approche, Déterministe

B. Hybridation (PRTT)

5. Résultats

- RURAL

- Comparaison des différents types de charge

Type de charge	Cas	Sans GED					Sans réactif GED					Avec réactif GED				
PQ constant	Configuration	[43 74 19 97 117]														
	Prises des transformateurs	16	16	15	15	16	16	16	15	15	16	16	16	15	14	16
I constant	Configuration	[43 74 19 97 117]					[31 44 19 97 117]					[37 31 19 97 117]				
	Prises des transformateurs	12	13	12	11	13	12	12	11	10	13	12	12	11	10	13
Z constante	Configuration	[43 74 19 97 117]														
	Prises des transformateurs	12	12	12	11	13	12	12	11	10	13	12	12	11	10	13
ZIP constant	Configuration	[43 74 19 97 117]					31 44 19 97 117]					[31 43 19 97 117]				
	Prises des transformateurs	12	13	12	11	13	12	12	11	10	13	12	12	11	10	13

II. Nouvelle approche, Déterministe

C. Reconfiguration (Π_{Rrn})

5. Résultats

- RURAL

- Charge PQ constant

Cas	Sans GED	Sans réactif GED	Avec réactif GED		
Configuration	[44 72 19 97 117]		[37 72 19 97 117]		
Puissance réactive (kVAr)	-	Q_1	158	4958	5570
Pertes Joule (kW)	811.44	681.25	675.62		
Pourcentage des pertes (%)	0.607	0.509	0.505		

- Comparaison des différents types de charge

Type de charge	Sans GED	Sans réactif GED	Avec réactif GED		
PQ constants	[44 72 19 97 117]		[37 72 19 97 117]		
I constant	[43 74 19 97 117]				
Z constant					
ZIP					

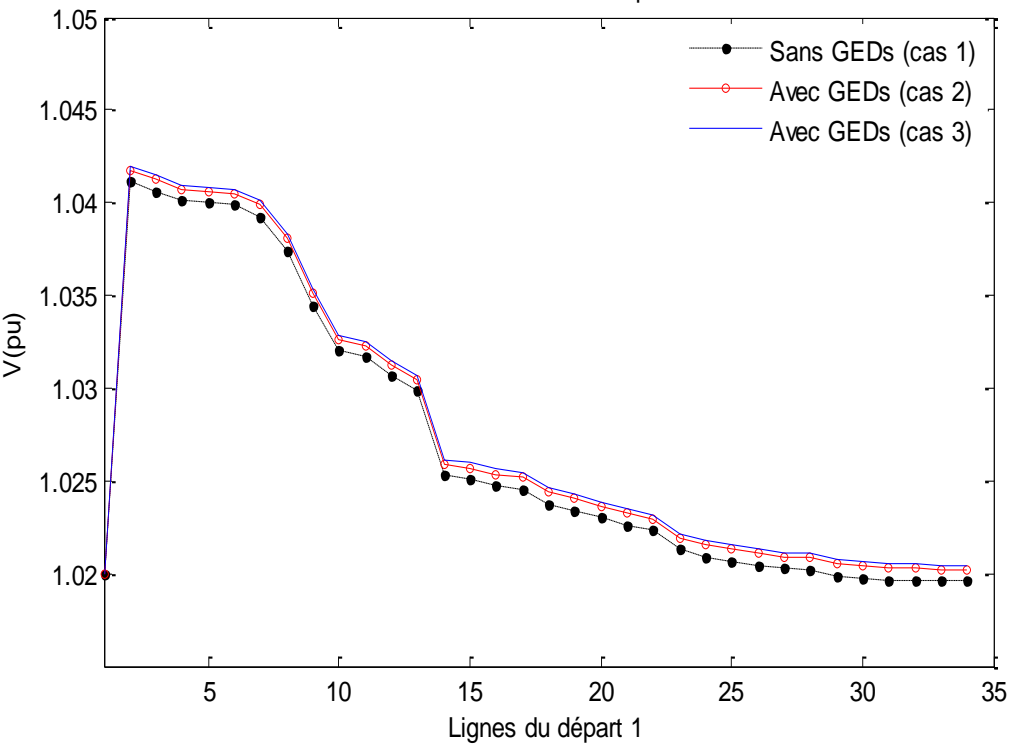
D. Réglage de la Tension (Π_{RTG})

5. Résultats

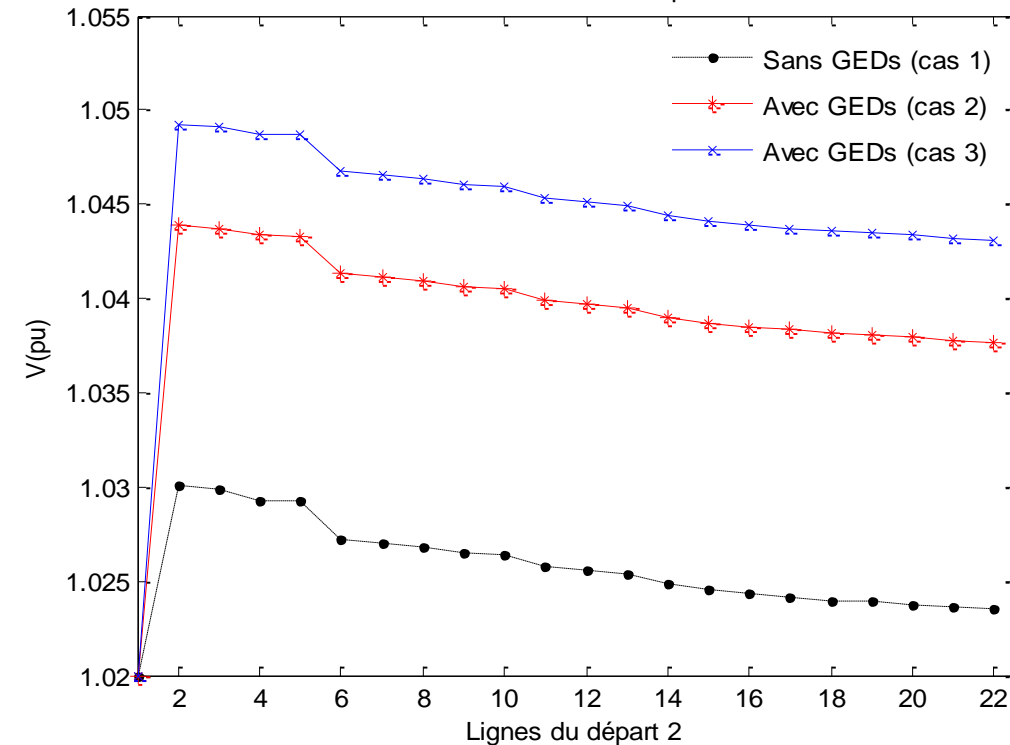
- RURAL

- Charge PQ constant

Profil de tension du départ 1



Profil de tension du départ 2



D. Réglage de la Tension (Π_{RTG})

5. Résultats

- RURAL
 - Comparaison entre les fonctions

	Pertes sans GED (kW)	Pertes sans GED (kW)	Pertes avec GED (kW)
Configuration Initiale	822	692	687
	Gain (kW)		
Reconfiguration Π_{RRN}	11	10	12
Réglage de la Tension Π_{RTG}	101	84	88
Hybridation Π_{RRT}	120	107	107

Plan



I. Contexte et Problématique

**II. Nouvelle approche, Déterministe
(Re) Formulation**

III. Conclusions et perspectives

A. Conclusions

- Cadre unifié pour l'optimisation des réseaux de distribution
- Interactions des fonctions
 - Modèle de charge intégré
 - Pertes réelles du réseau
 - Transformateurs HTA/BT
- Hybridation parfaite
 - Gestion des flux de puissance
- Meilleure coordination des moyens de réglage
- Importance de la méthode de résolution
- Intérêts de la reformulation
- Optimalité garantie

B. Perspectives

- Extensions
 - Techniques
 - Schémas de protection
 - Mathématiques
 - Optimisation sous incertitude
 - Profil de charge
- Application sur la Basse Tension
- La décentralisation de l'intelligence
 - Aspect multi-échelles de l'exploitation des Smart Grids en présence de GED

Merci de votre attention