



**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

## Journée scientifique

06.11.2025



# Benoît GIROUD

Directeur de la Fondation Grenoble INP

# Etienne GHEERAERT

Vice-président Stratégie, RH, DD&RS et du Conseil  
d'Administration de Grenoble INP - UGA



# Noureddine HADJSOUD

Directeur G2Elab et Chaire SmartGrids  
Président Conseil Scientifique Think Smartgrids  
Vice Président IEEE Power Energy Society



# Sébastien JUMEL

Directeur Développement, Innovation et  
Numérique et membre du COMEX d'Enedis





**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

# Travaux de la chaire Smartgrids

Marie-Cécile Alvarez-Hérault



Fondation  
**INP**

UGA  
Université  
Grenoble Alpes

CNRS

GRENOBLE  
**INP**  
UGA



# Présentations



Protection



Réseaux  
hybrides AC/DC



Résilience



Edge  
computing



Impacts du  
stockage



Micro-réseaux



Apport des données de  
réseaux sociaux pour la  
modélisation/prévision  
des charges



# Impact des installations de production d'électricité raccordées par de l'électronique de puissance sur le réglage des protections du réseau public de distribution HTA

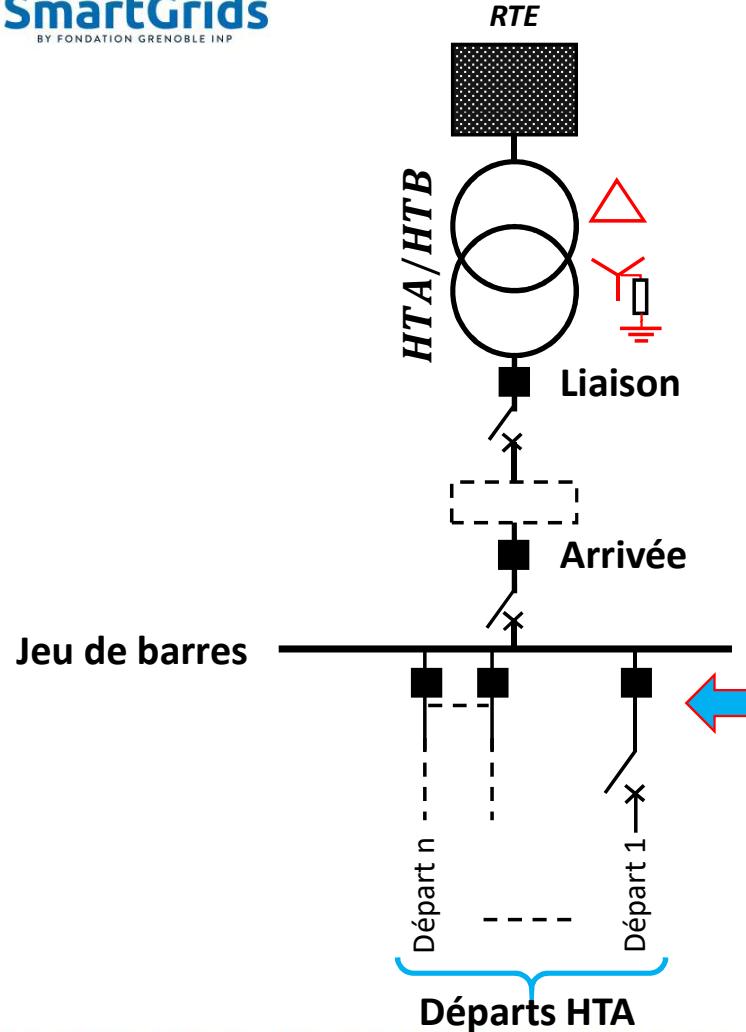
**Lainser SKLAB** – thèse soutenue le 18/09/2025

Encadrants ENEDIS : Manuel BILLAUD, Benjamin SCHULER, Mahana BERNIER  
Encadrant G2Elab : Bertrand RAISON



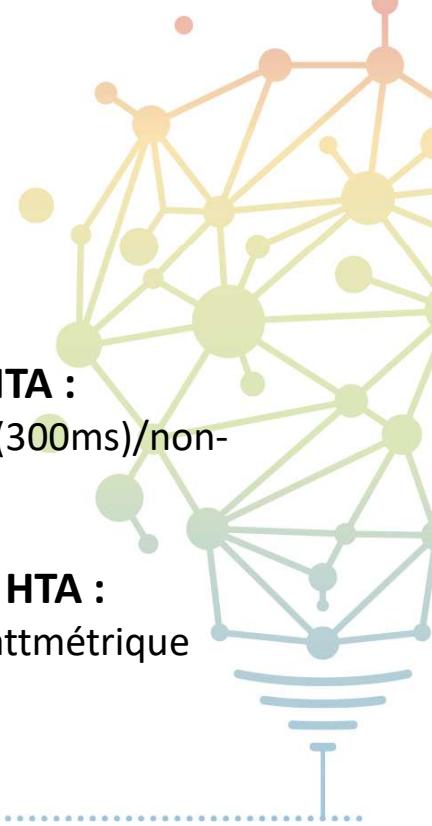


# Plan de protection du réseau de distribution d'Enedis



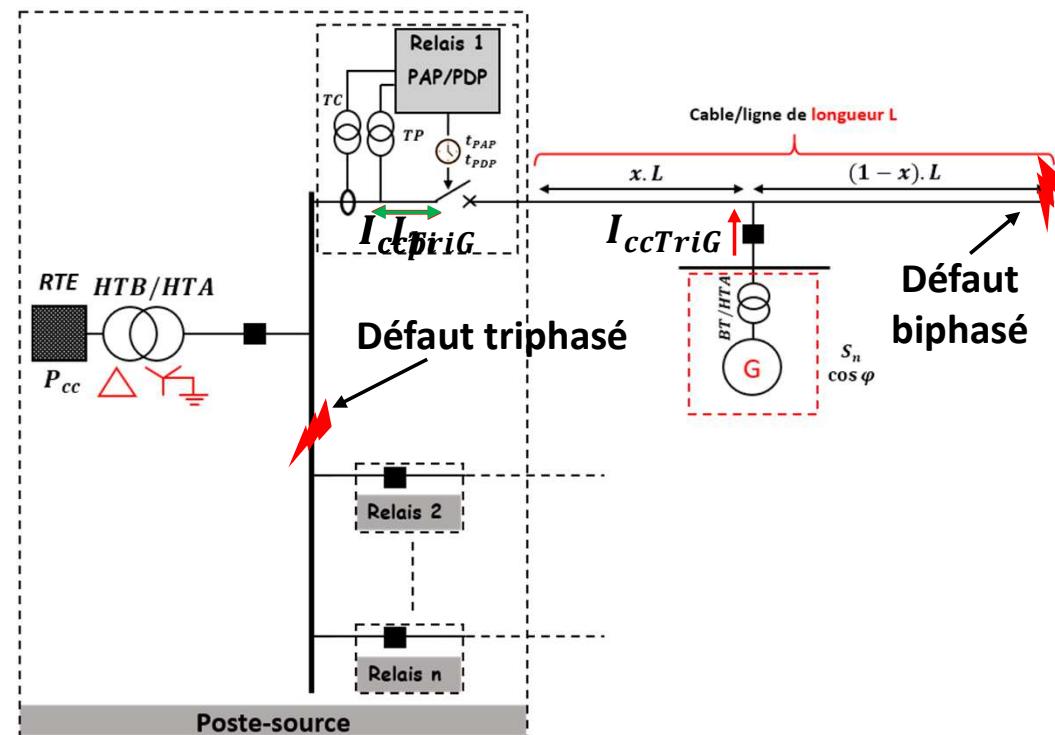
Nous nous focaliserons sur les protections des départs HTA

- Plan de protection polyphasé des départs HTA :**
  - Protection ampèremétrique directionnelle (300ms)/non-directionnelle (500ms)
- Plan de protection monophasé des départs HTA :**
  - Protections homopolaires ampèremétrique et wattmétrique





# Plan de protection polyphasé classique (pour un départ)



## □ Type de protections :

- Protection Ampèremétrique de Phase (PAP)
- Protection Directionnelle de Phase (PDP)

## □ Choix et réglage de ces protections :

$I_p$

Courant de transit maximal en régime permanent au niveau de la protection en absorption ou en refoulement de puissance.

Calculé à partir de **loadflow** sous Erable

$I_{ccbipriG}$

Courant de court-circuit minimal au niveau de la protection de départ lors d'un défaut biphasé franc sur le départ en présence de producteurs.

$I_{ccTriG}$

Courant de court-circuit maximal au niveau de la protection de départ lors d'un défaut triphasé situé immédiatement en amont de la protection de départ.

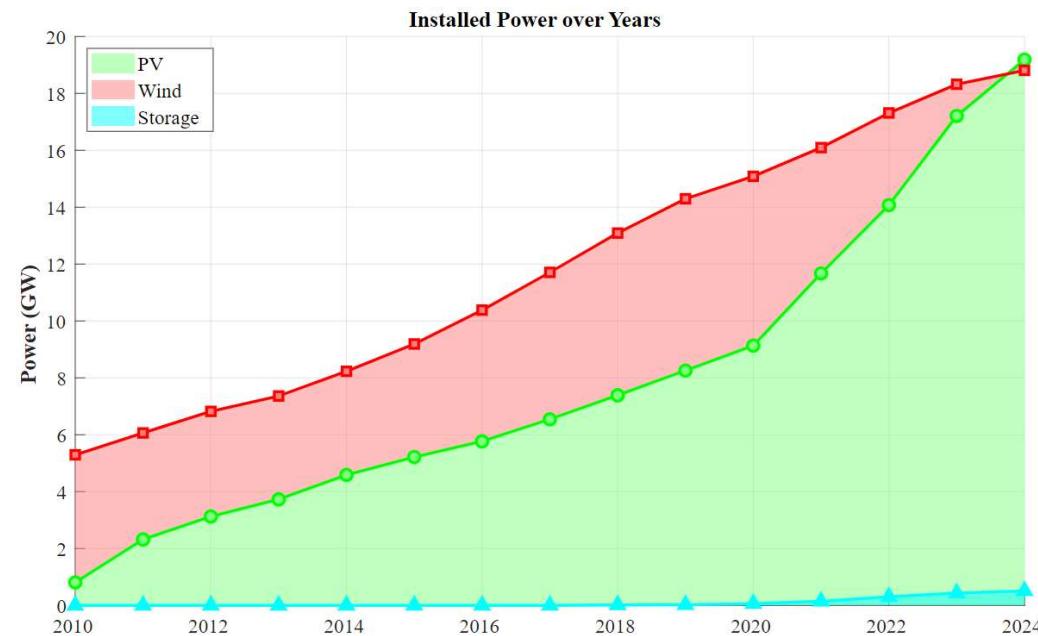
Calculés selon la norme internationale **CEI 60909** sous Erable





# Capacité des EnRs raccordés au réseau d'Enedis

- ❑ Forte pénétration des énergies renouvelables connectées au réseau à travers des convertisseurs statiques (39 GW au deuxième trimestre de 2024 sur le réseau d'Enedis)
- Risque d'aveuglement des protections si cet aspect n'est pas pris en compte, en particulier dans la modélisation de ces ouvrages dans Erable (Outils de planification d'Enedis)

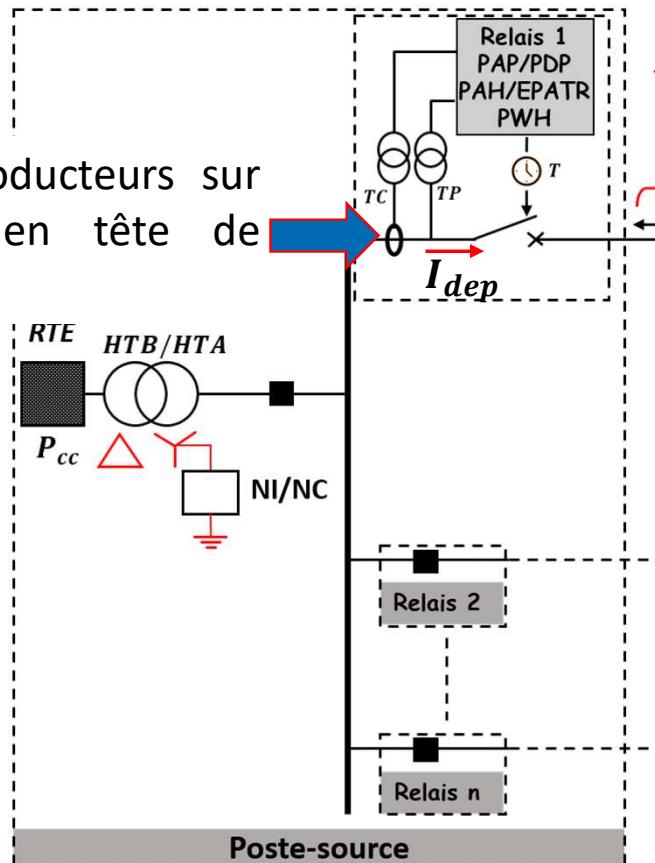


Source : Open-data Enedis



# Impact potentiel des producteurs sur le plan de protection

Impacts des producteurs sur les grandeurs en tête de départ



Conclusion sur le réglage des protections en tête de départ

Câble/ligne de longueur  $L$

$x \cdot L$        $(1 - x) \cdot L$

$S_n \cos \varphi$

Comportement réel des convertisseurs statiques lors d'un défaut





# Plan de protection polyphasé classique (pour un départ)

## □ Choix et réglage de ces protections :

$$\text{Si : } 0,8 \times I_{ccbi} > 1,2 \times I_{ccTriG}$$

- Une PAP (protection ampèremétrique de phase)  
 $\max(1,3 \times I_p; 1,2 \times I_{ccTriG}) \leq S_{PAP} \leq 0,8 \times I_{ccbi}$

$$\text{Si : } 0,8 \times I_{ccbi} \leq 1,2 \times I_{ccTriG}$$

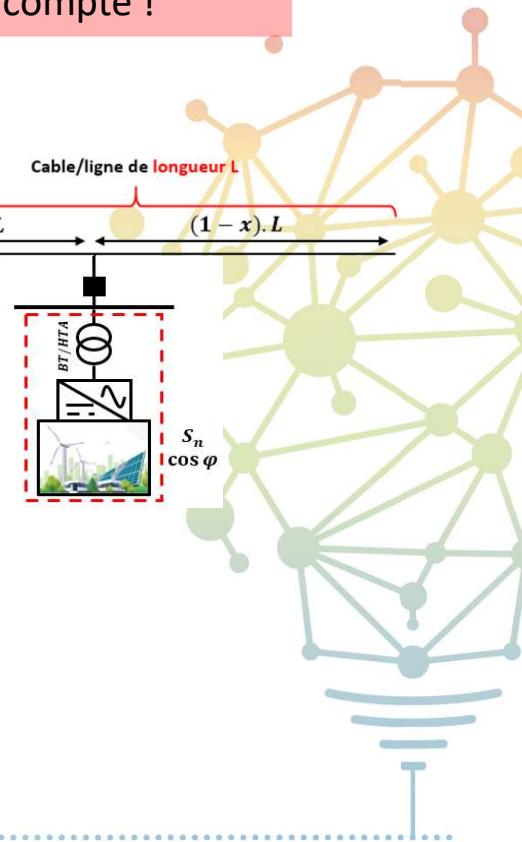
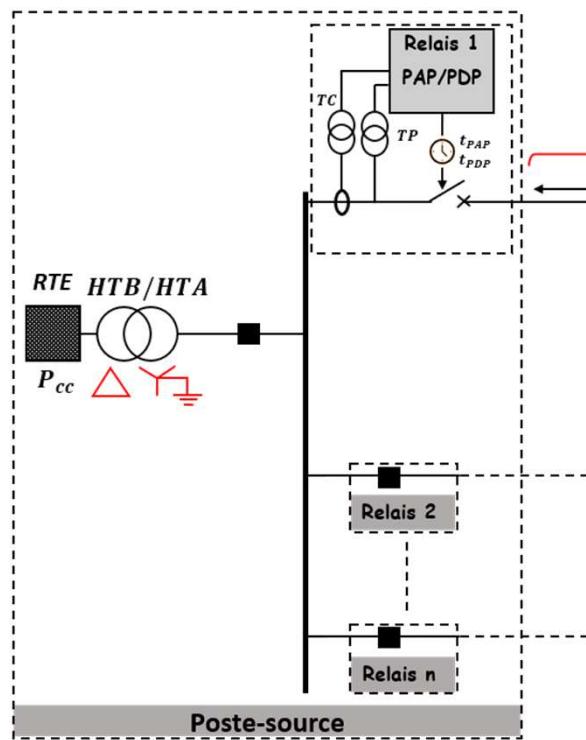
- Une PDP (Protection Directionnelle de Phase) :

$$1,3 \times I_p \leq S_{PDP} \leq 0,8 \times I_{ccbi}$$

- Une PAP : (protection de secours)

$$1,2 \times I_{ccTriG} \leq S_{PAP}$$

Le  $I_{ccbi}$  minimal, calculé selon la norme CEI 60909, est le même en présence ou en l'absence de producteurs, car leur contribution n'est pas prise en compte !





# Conditions du cas d'étude

## Réseau

- $P_{cc}$  HTB entre 100 et 14000 MVA ;
- La tension du réseau est de 20 kV ;
- Le plan de tension du réseau en fonctionnement normal est à 1 pu  $\pm 5\%$  ;
- La charge minimale du départ est de 500 kVA et la charge maximale est de 8 MVA ;

## Producteur

- Le facteur de soutien de tension ( $k$ ) est à 2 pour le DVS (LVRT) ;
- Le courant maximum de l'onduleur est 1,25 pu ;
- Pour chacune des  $P_{cc}$ , le producteur injecte entre 2 et 12 MVA par incrément de 2 MVA.

## Quatre départs ont été traités

Départ	1		2		3		4	
$z_L(\Omega)$	17,01		10,83		5,76		3,24	
$P_{cc}(MVA)$	100	14000	100	14000	100	14000	100	14000
$I_{ccbi norme}(A)$	493	560	685	848	1008	1475	1232	2211

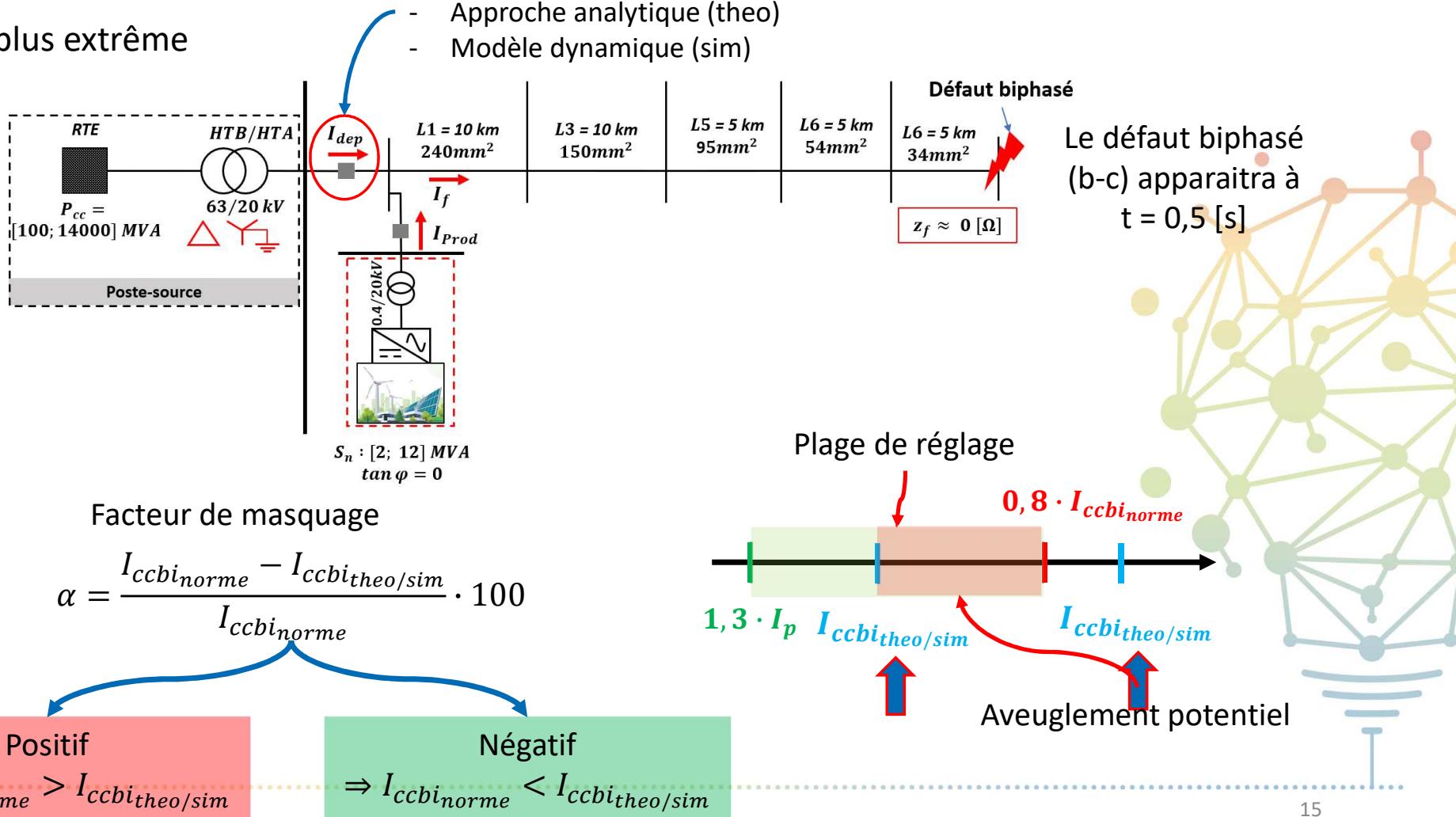
**Cas le plus contraignant**





# Cas d'étude considéré (Départ 1)

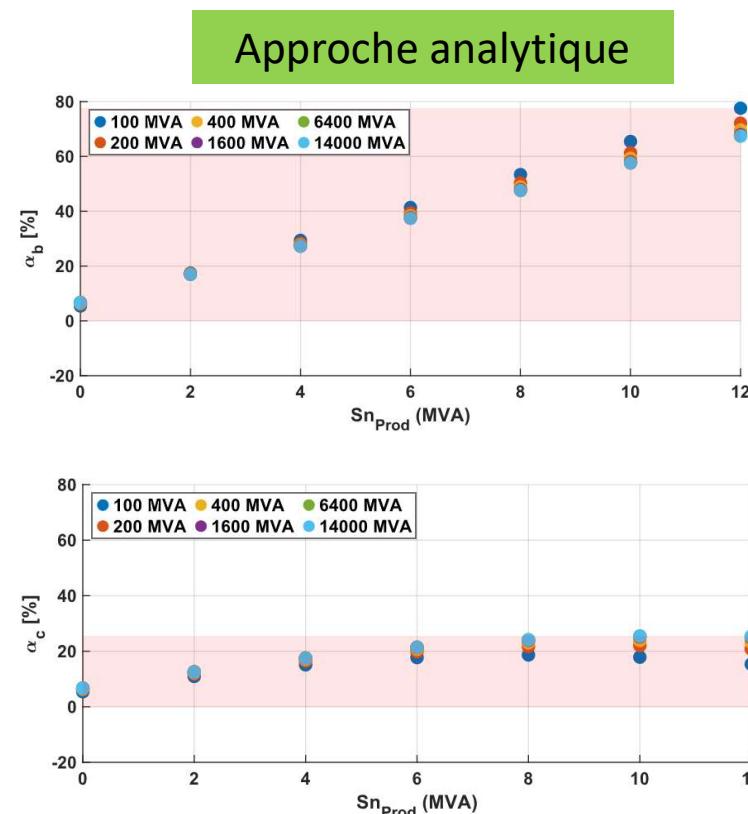
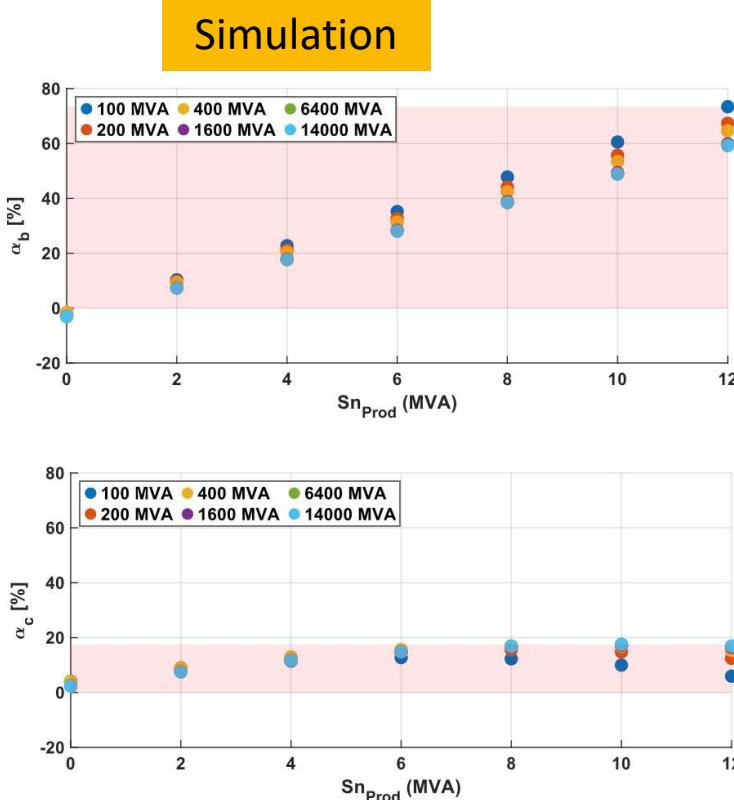
## □ Cas d'étude le plus extrême





# Impact du producteur sur la protection du départ

## □ Facteur de masquage



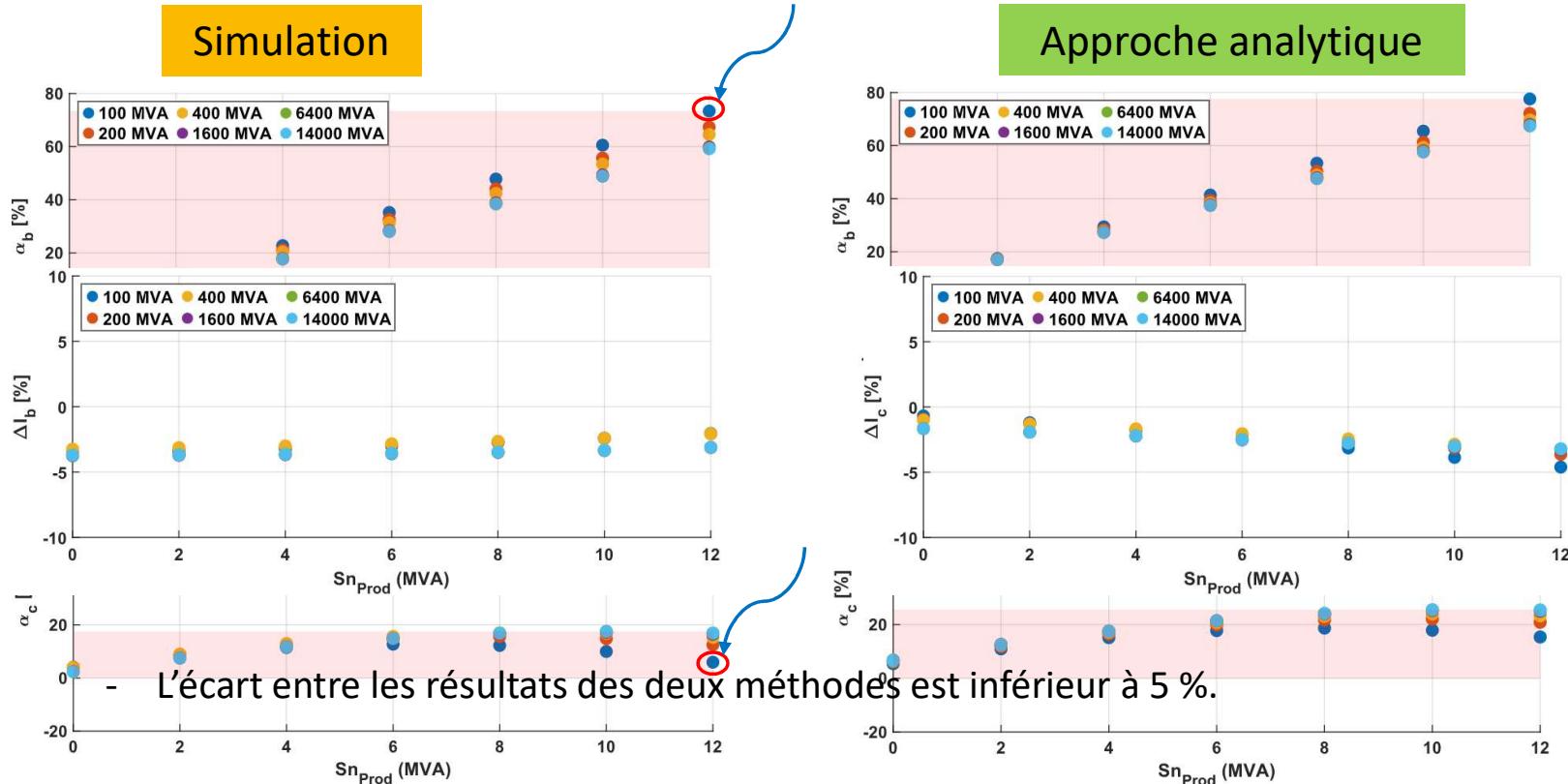
- On n'a pas le même comportement sur les deux phases en défaut (b-c).
- La phase la plus impactée est la phase b. Pour un prod de 12 MVA ( $\alpha_b = 78 \%$ ).
- Le facteur de masquage maximal est proportionnel à la puissance du producteur.





# Impact du producteur sur la protection du départ

## □ Facteur de masquage



- L'écart entre les résultats des deux méthodes est inférieur à 5 %.

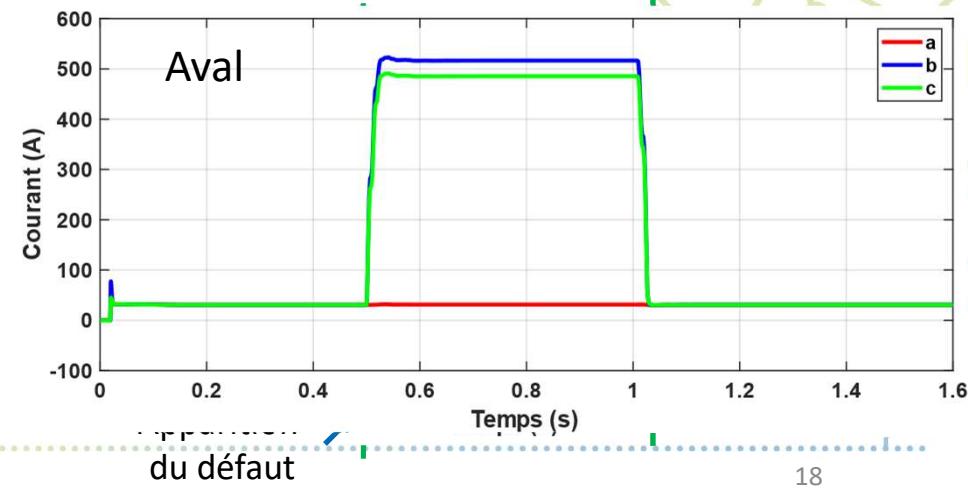
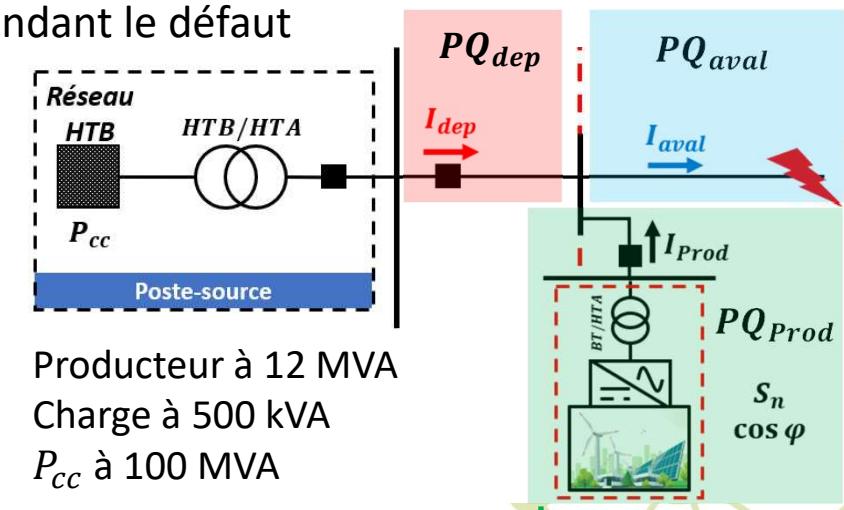
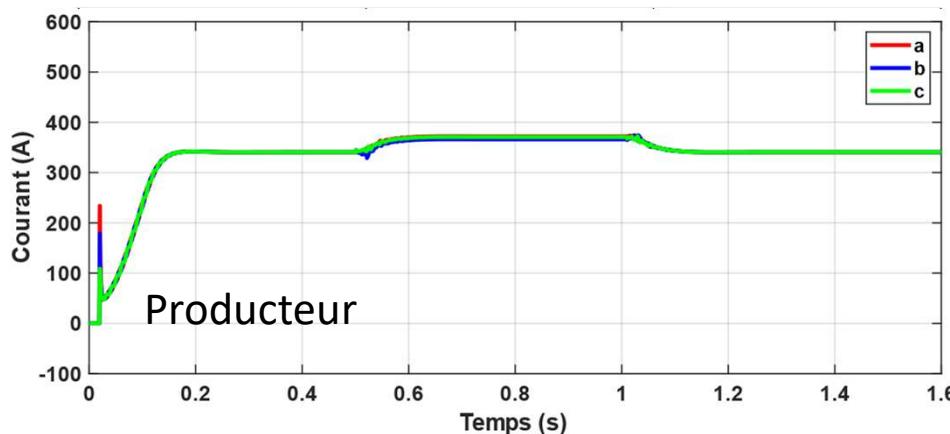
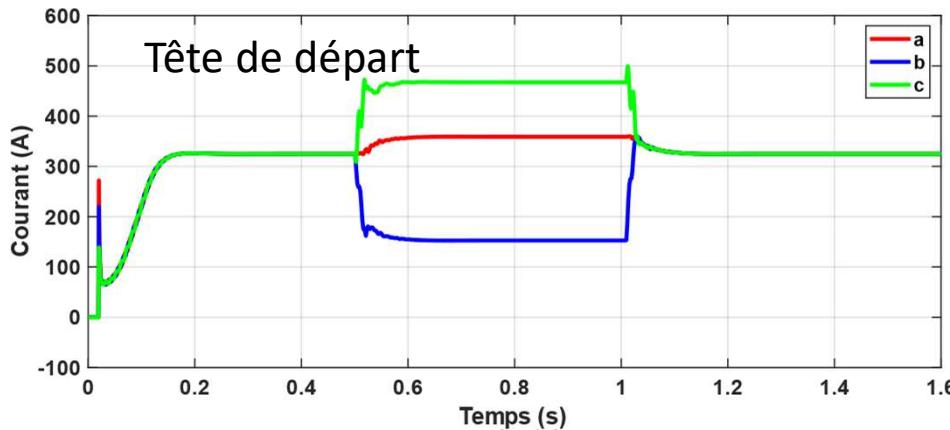
- Pourquoi avons-nous un facteur de masquage positif ?
- Pourquoi ne pas avoir le même comportement sur les deux phases en défaut ?





# Impact du producteur sur la protection du départ

Échange de puissances active et réactive pendant le défaut

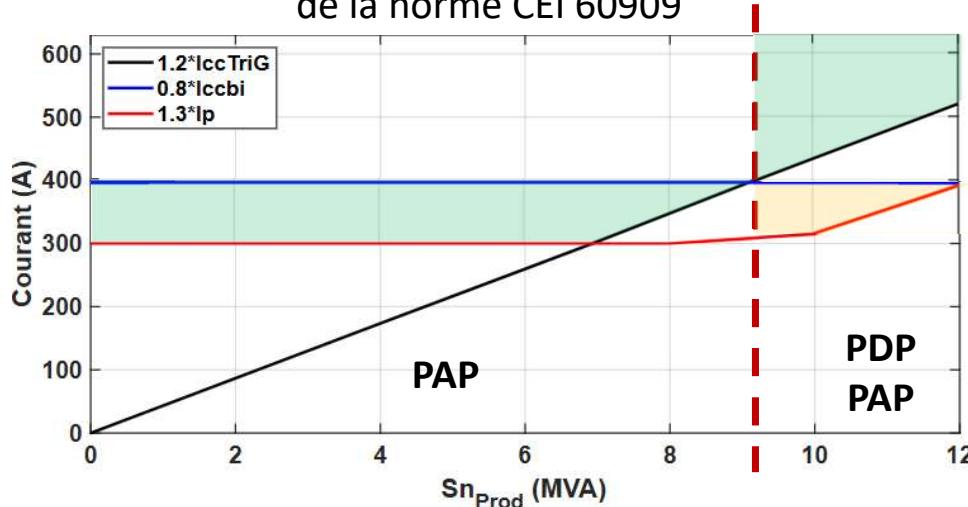




# Impact du producteur sur la protection du départ

- Impact sur le plan de protection ( $P_{cc} = 100 \text{ MVA}$ )

Réglage des protections suivant les calculs de la norme CEI 60909



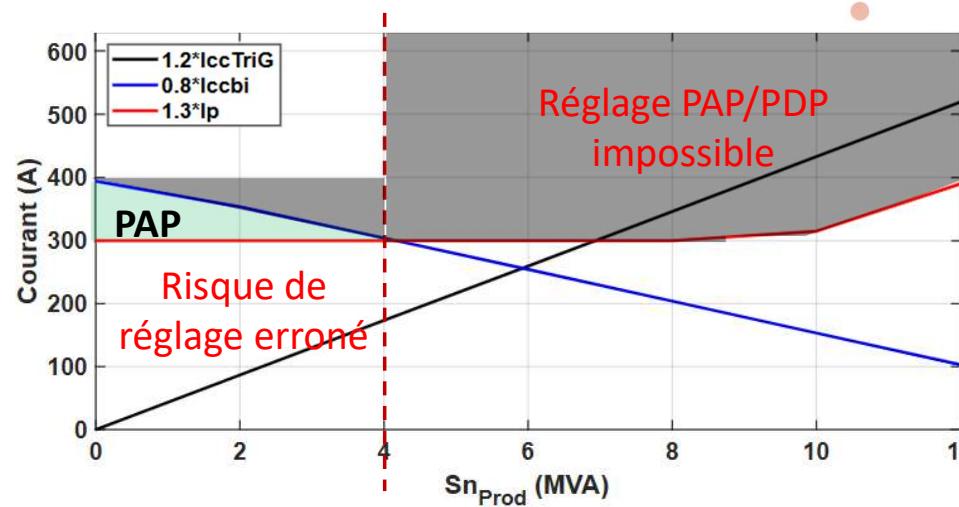
Plage de réglage de la PAP

Plage de réglage de la PDP

Aveuglement de la protection

Charge maximale du départ : **8 MVA**

Producteurs contribuent au défaut





# Solutions proposées et testées dans la thèse

Niveau producteur



- Solution 01 : limitation de la puissance des producteurs que l'on peut raccorder sur un départ (mixte)

Niveau réseau : amélioration du plan de protection



- Solution 02 : modification de l'algorithme de détection de défaut polyphasés

- Solution 03 : utilisation d'une protection fondée sur la séquence négative (SN) du courant de défaut

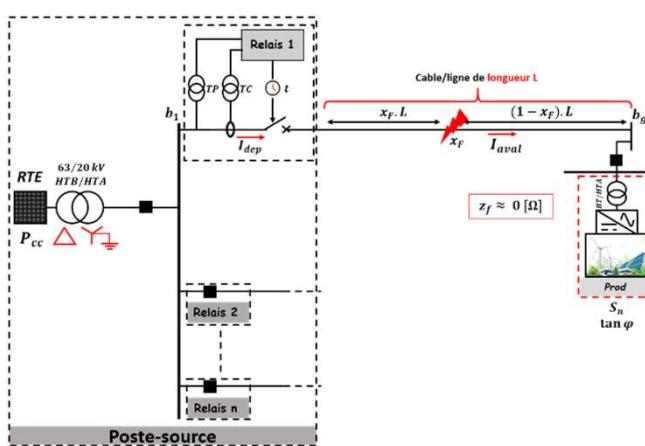




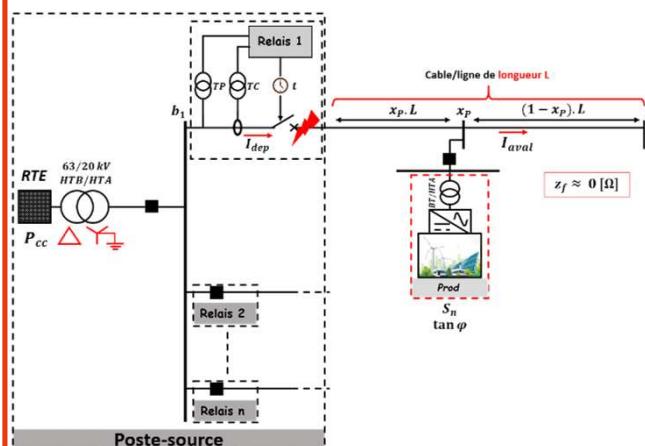
# Solutions proposées

- Utilisation d'une protection fondée sur la séquence négative du courant de défaut

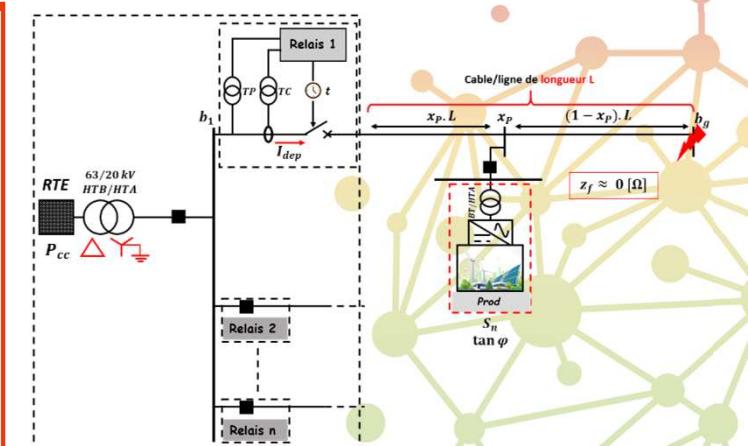
Cas 1



Cas 2



Cas 3



$$|I_{dep}^2| = |I_{dep_{SSP}}^2| \cdot \left| 1 + (z_s^1 + x_F \cdot z_L) \cdot \frac{I_{Prod}}{E_S^1} \right|$$

$$I_{dep_{SSP}}^2 = \frac{E_S^1}{2 \cdot (z_s + x_F \cdot z_L)}$$

$$|I_{dep}^2| = |I_{dep_{SSP}}^2| \cdot \left| 1 + z_s^1 \cdot \frac{I_{Prod}}{E_S^1} \right|$$

$$I_{dep_{SSP}}^2 = \frac{E_S^1}{2 \cdot z_s}$$

$$|I_{dep}^2| = |I_{dep_{SSP}}^2| \cdot \left| 1 + (z_s^1 + x_p \cdot z_L) \cdot \frac{I_{Prod}}{E_S^1} \right|$$

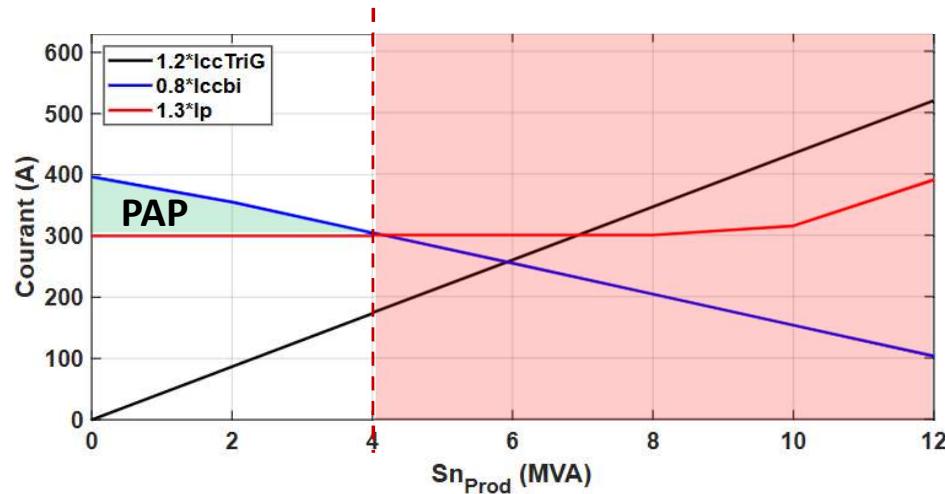
$$I_{dep_{SSP}}^2 = \frac{E_S^1}{2 \cdot (z_s + z_L)}$$



# Solutions proposées

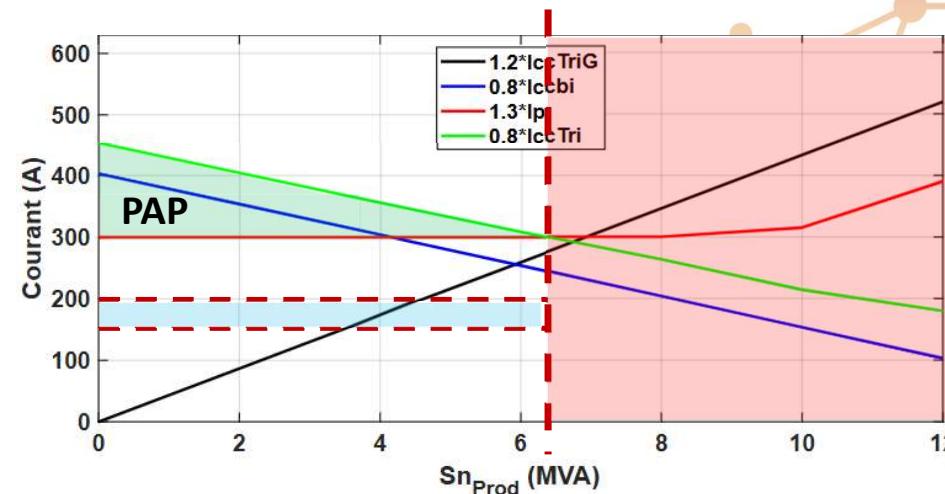
- Utilisation d'une protection fondée sur la séquence négative du courant de défaut

Limitation de la capacité de producteur



- Plage de réglage de la PAP
- Plage de réglage de la PDP
- Plage de réglage de la protection à séquence négative
- Raccordement unacceptable**

Avec l'intégration d'une protection à séquence négative





# Perspectives

## □ Défauts polyphasés

### Protection à séquence négative du courant

- Utiliser une protection à séquence négative du courant avec une caractéristique à temps dépendant pour éviter les déclenchements intempestifs.
- Faire des tests pratiques pour tester et valider la protection à séquence négative.

### Détection des défauts triphasés

- Développer un algorithme alternatif pour la détection des défauts triphasés, qui implique la surveillance des variations instantanées des courants avant et pendant le défaut.

### Généralisation

- Refaire les mêmes études pour le cas d'un microgrid.

## □ Défauts monophasés

- Trouver une solution pour éviter le problème de sélectivité entre la PAH et la PWH en cas d'un régime NC avec un grand désaccord en courant et une impédance de défaut nulle.



# Impact des installations de production d'électricité raccordées par de l'électronique de puissance sur le réglage des protections du réseau public de distribution HTA

**Lainser SKLAB** – thèse soutenue le 18/09/2025

Encadrants ENEDIS : Manuel BILLAUD, Benjamin SCHULER, Mahana BERNIER  
Encadrant G2Elab : Bertrand RAISON



# Contrôle et simulation d'un SOP avec différents types de défauts

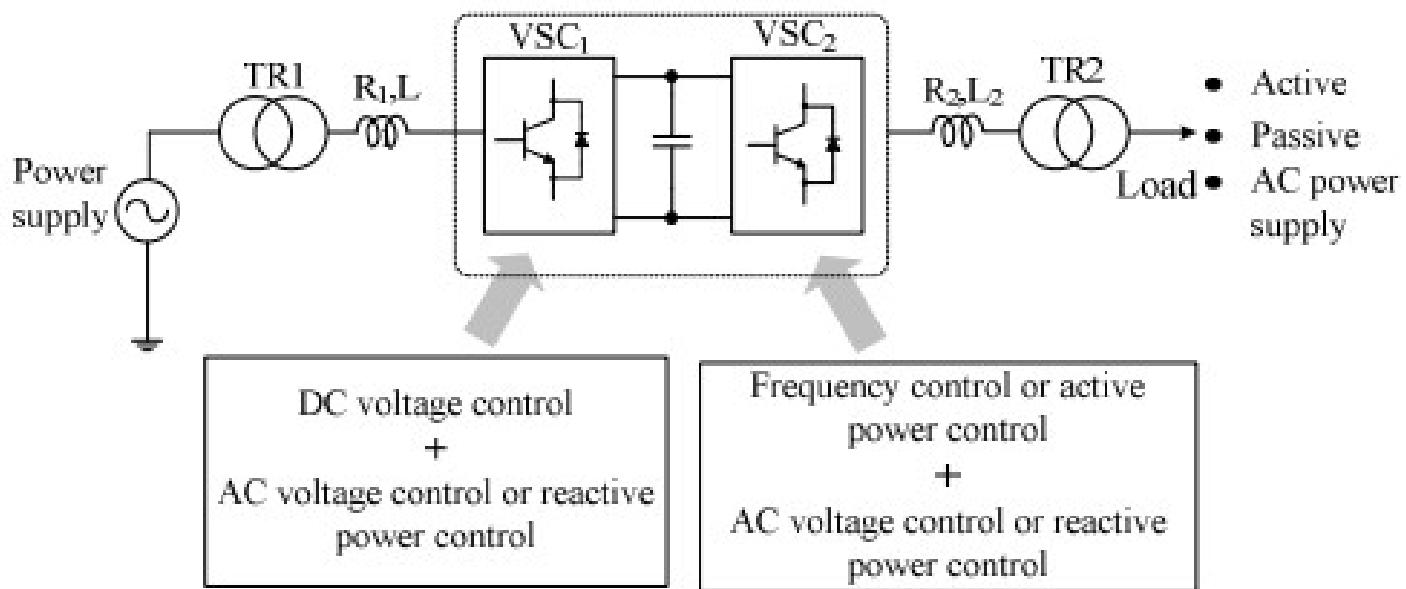
Travaux effectués par **Mohammed Kharrich**

Correspondants ENEDIS : Maria-Victoria ZAMUNER, Kamel SAHNOUNI, Arnaud TSCHIRRET  
Encadrant G2Elab : Bertrand RAISON





## SOP = Soft Open Point (par exemple B2B-VSC)





## Choix techniques des SOP-2T

- SOP : Une Technologie Prometteuse pour Optimiser la Flexibilité des Réseaux MT.
- Un Déploiement Mondial Encore Limité
- Liens d'Alimentation : Une Technologie Rare mais Stratégiquement Importante
- Projets Utilitaires à Échelle MV : Un Focus sur les Topologies B2B-VSC et MT-VSC

Autres appellations de SOP fondées sur B2B-VSC

- Soft Normally Open Point (SNOP),
- Looped Power Flow Controllers (LPFC),
- Loop Balance Controller (LBC),
- Flexible Power Link (FPL).

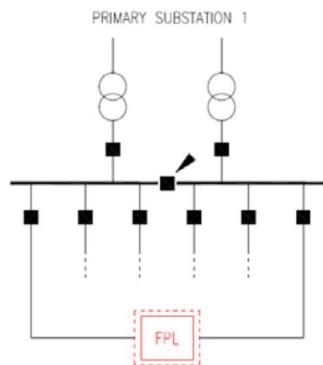
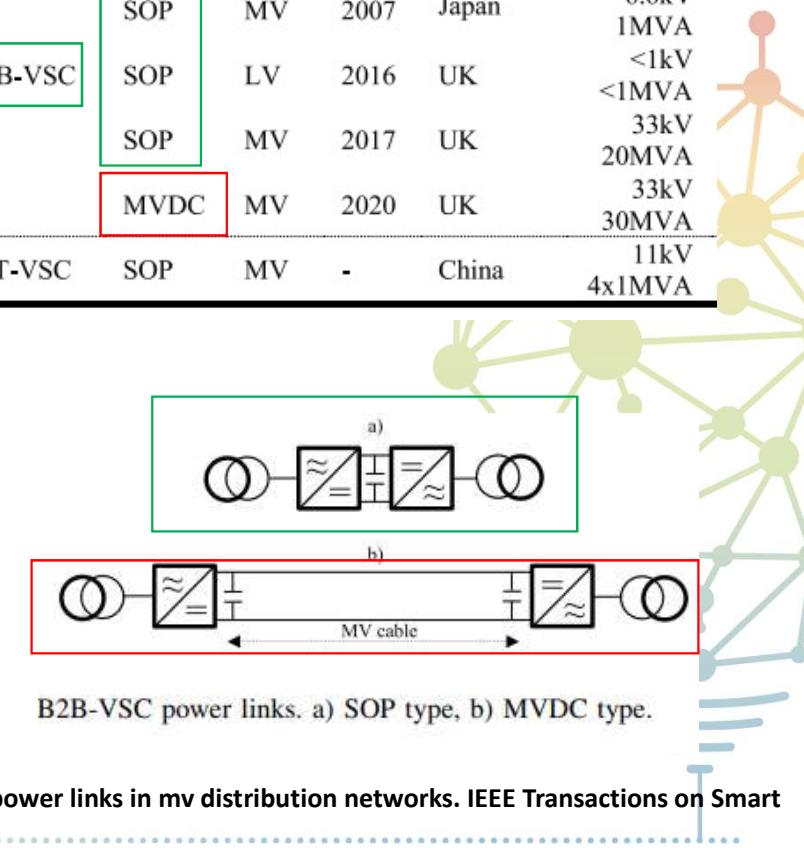


Fig. Flexible Power Link (FPL)

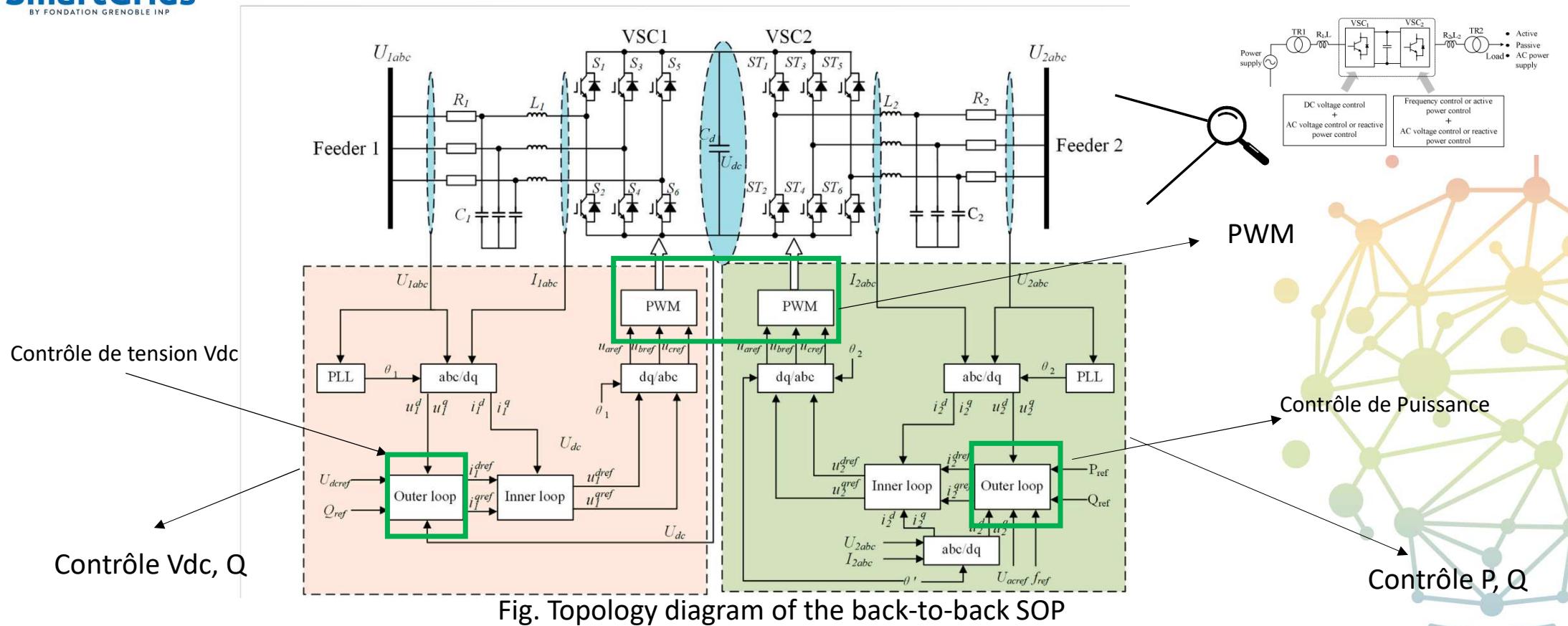
	Type	MV/LV	Year	Location	Volt. Power
B2B-VSC	SOP	MV	2003	Germany	10kV 2MVA
	SOP	MV	2007	Japan	6.6kV 1MVA
	SOP	LV	2016	UK	<1kV <1MVA
	SOP	MV	2017	UK	33kV 20MVA
MVDC	MVDC	MV	2020	UK	33kV 30MVA
	MT-VSC	SOP	MV	-	11kV 4x1MVA
MT-VSC	SOP	MV	-	China	11kV 4x1MVA



B2B-VSC power links. a) SOP type, b) MVDC type.



## Schéma topologique du système Soft Open Point (B2B-VSC)



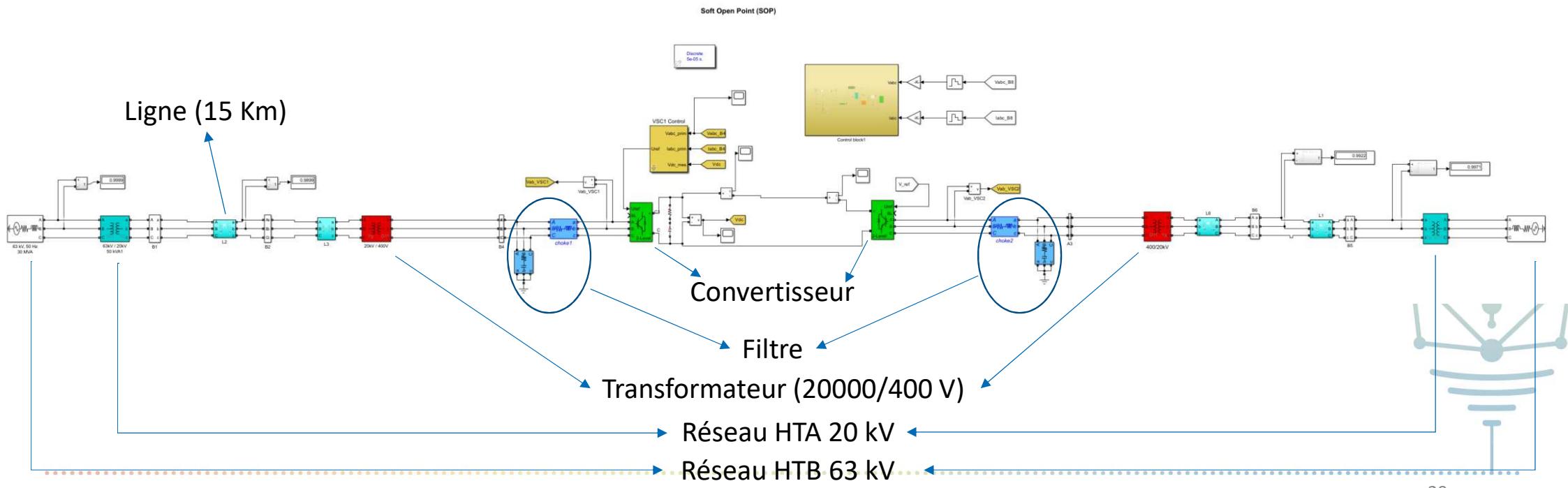
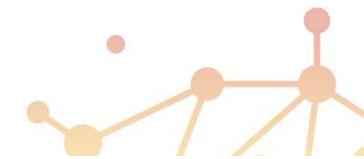
Cai, Z., Han, J., Chen, J., Gan, D., Zhang, H., & Wang, X. (2023). Analysis of DQ small-signal impedance of back-to-back frequency converter. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1288847.

Cao, W., Wu, J., Jenkins, N., Wang, C., & Green, T. (2016). Operating principle of soft open points for electrical distribution network operation. *Applied Energy*, 164, 245-257.



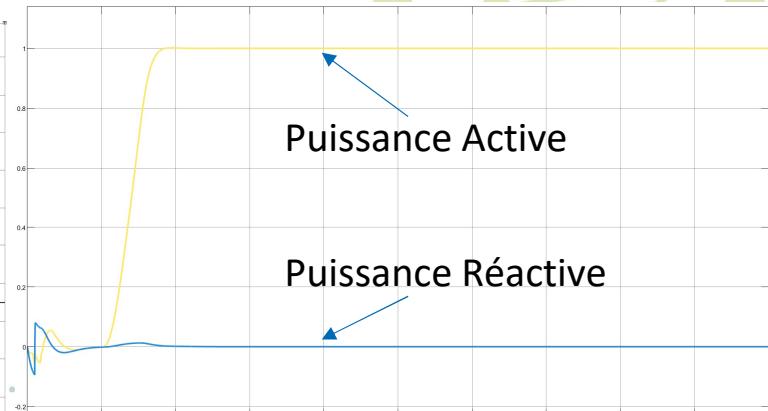
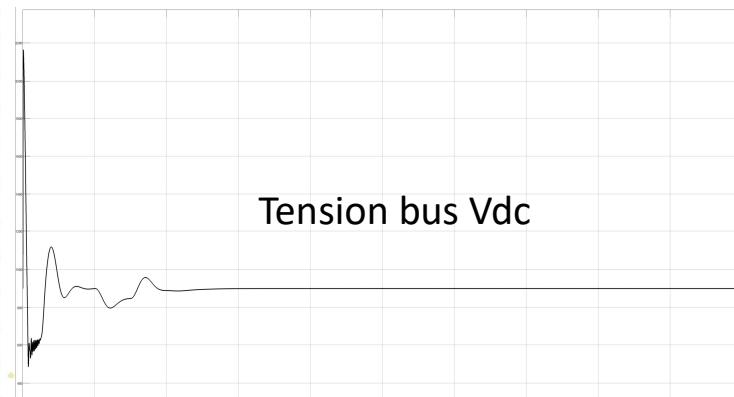
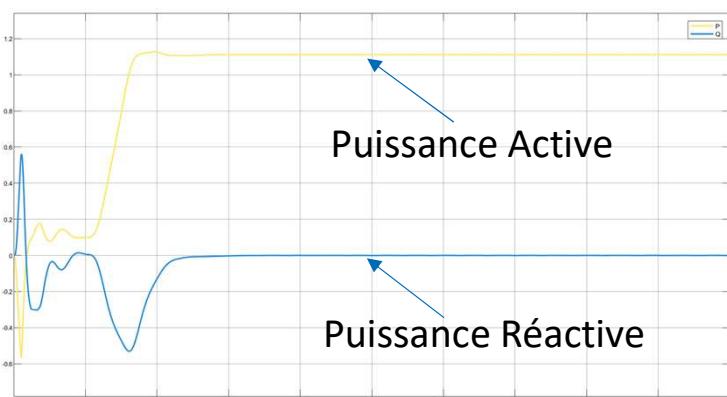
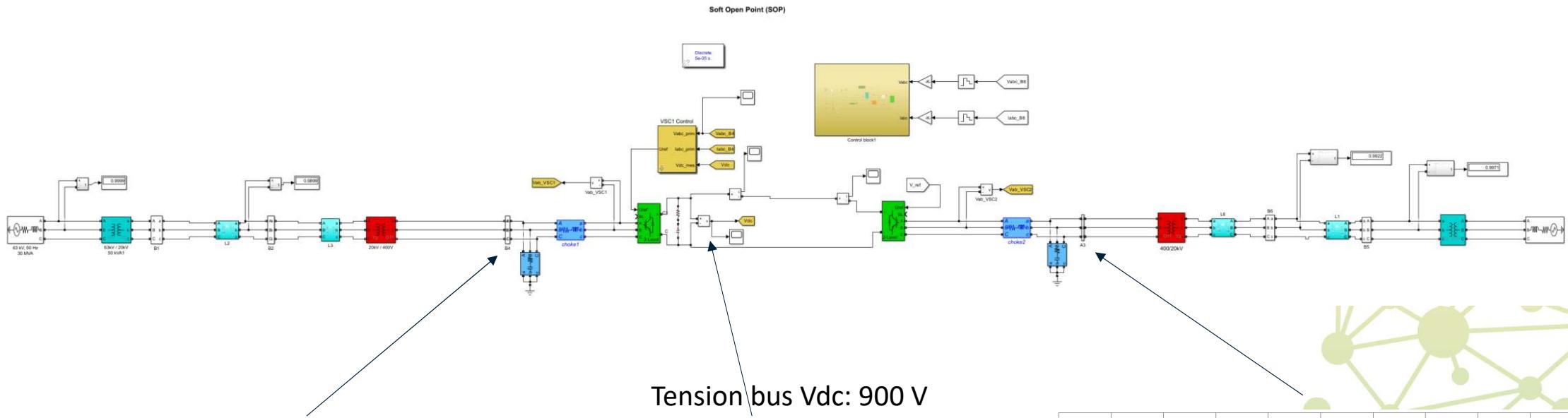
## Modèle de Soft Open Point utilisé

- Le Soft Open Point (SOP) connecte dynamiquement deux points du réseau, espacés de 30 km chacun, pour équilibrer les flux d'énergie sur deux lignes de 15 km.
- Il utilise un convertisseur bidirectionnel pour gérer la puissance active et réactive entre les lignes.
- Des transformateurs assurent l'adaptation de tension entre le réseau et les composants du SOP.
- Des filtres sont intégrés pour réduire les harmoniques et améliorer la qualité de l'onde électrique.





## Contrôle du modèle de Soft Open Point utilisé





**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

**G2E Lab**  
Grenoble Génie Électrique  
Grenoble Electrical Engineering  
Grenoble INP - UGA - CNRS

# Défaut côté convertisseur contrôlé P-Q

## Défaut triphasé



Fondation  
**INP**

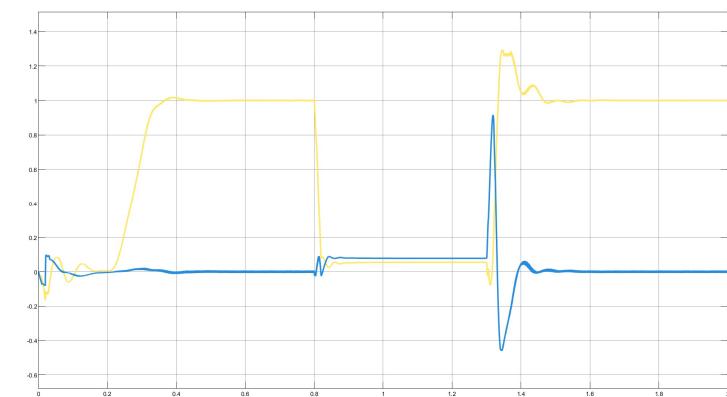
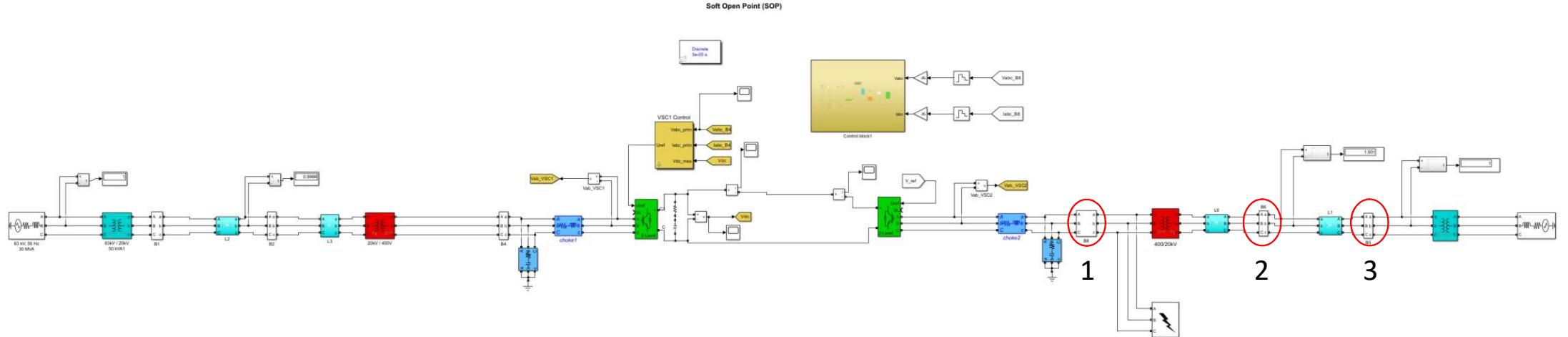
UGA  
Université  
Grenoble Alpes

CNRS

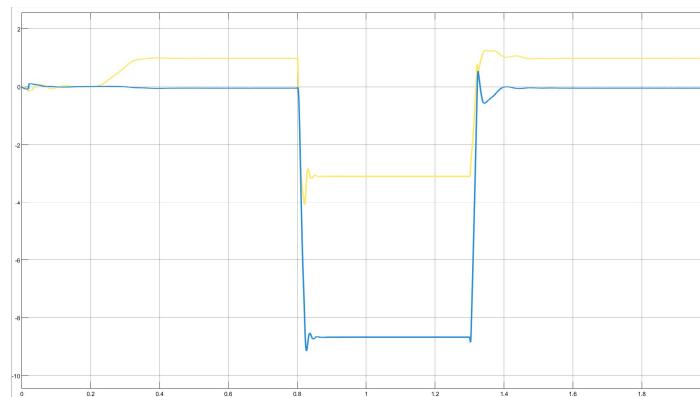
**GRENOBLE**  
INP  
UGA



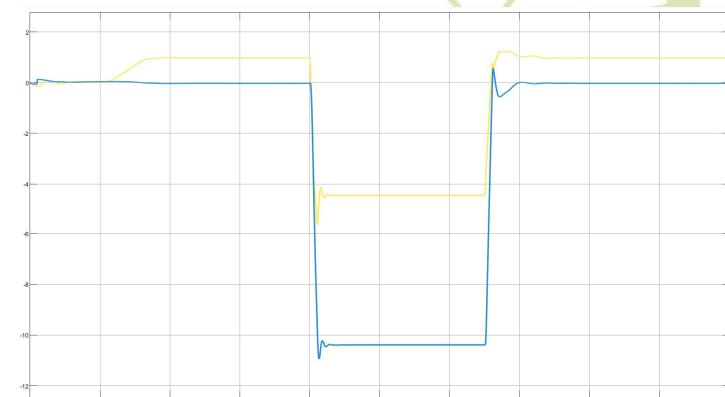
## Mesures côté réseau en défaut



PQ dans le point de mesure 1.



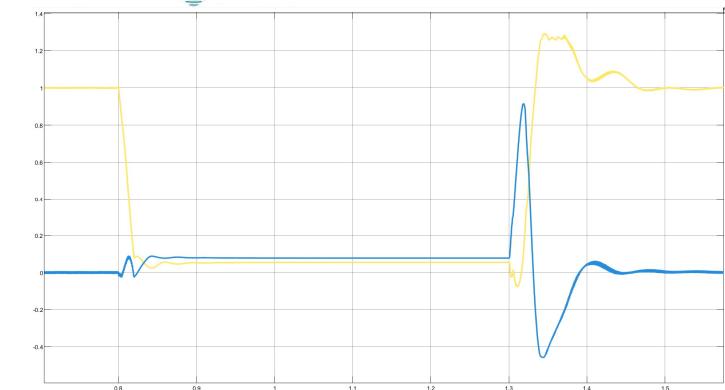
PQ dans le point de mesure 2.



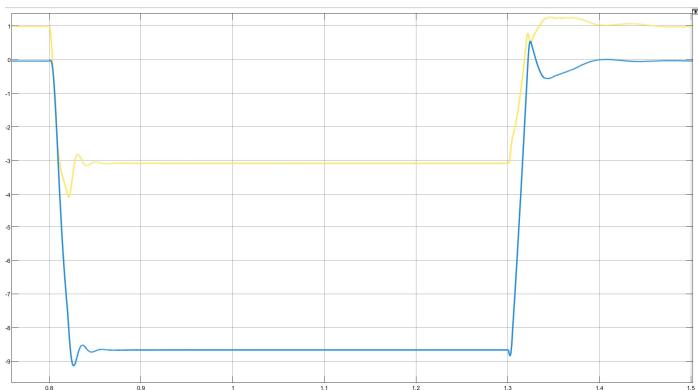
PQ dans le point de mesure 3.



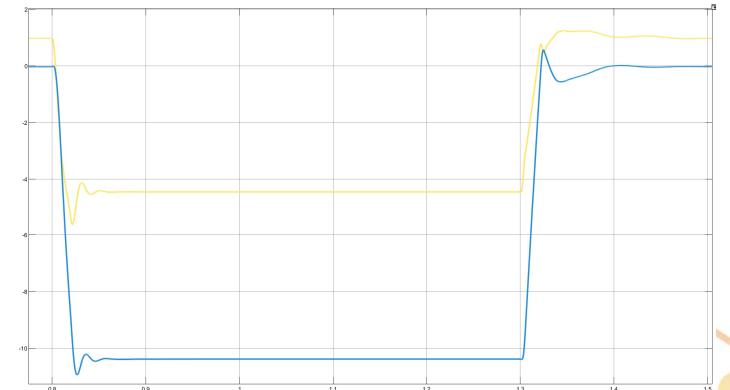
## PQ durant le défaut triphasé



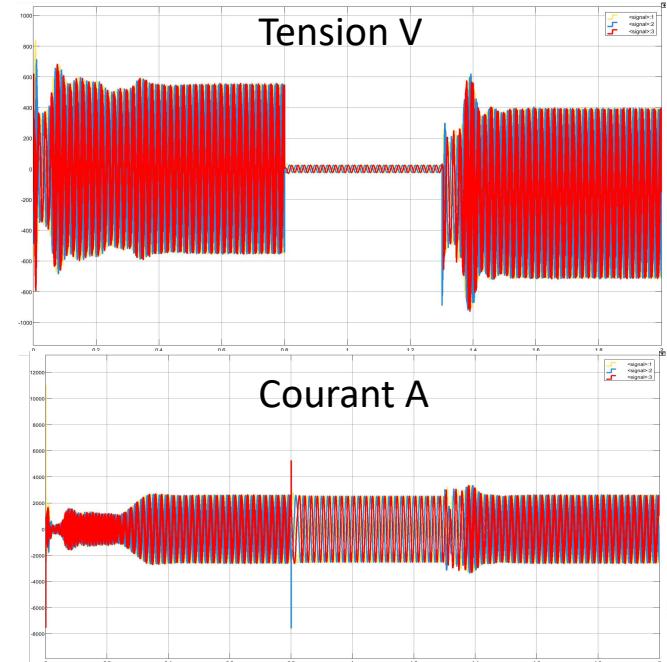
PQ dans le point de mesure 1.



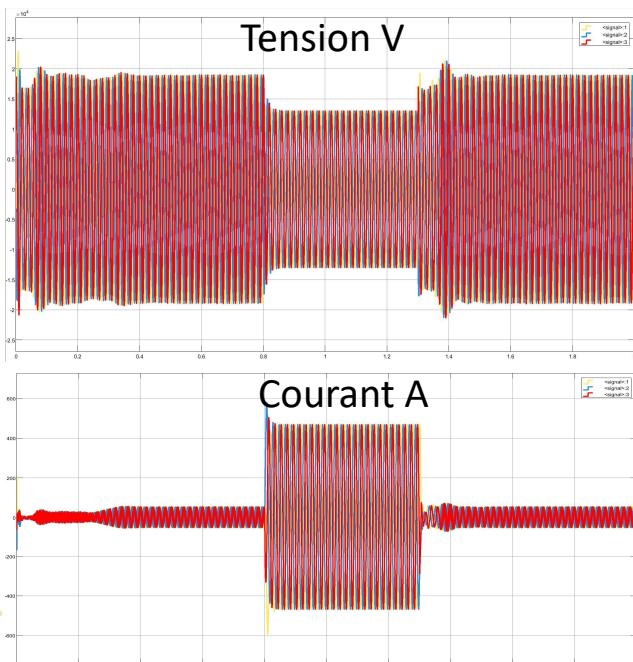
PQ dans le point de mesure 2.



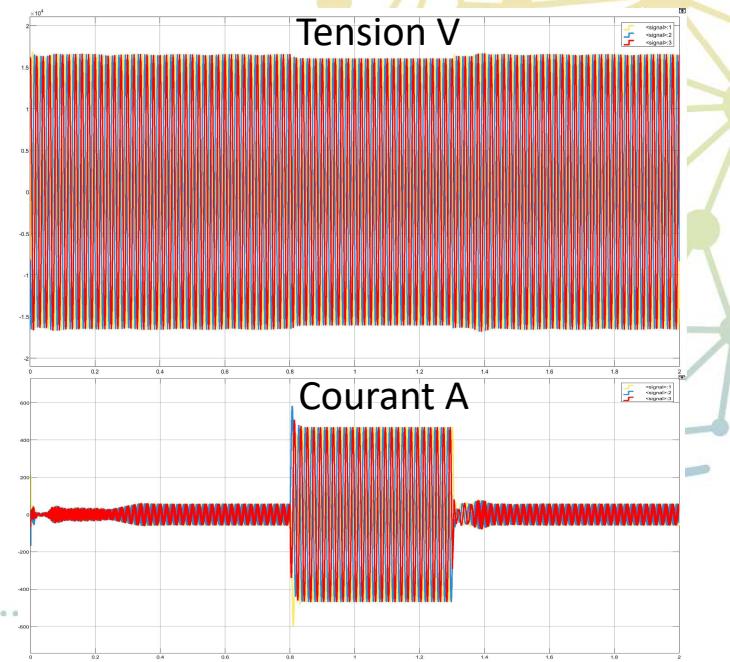
PQ dans le point de mesure 3.



Courant A



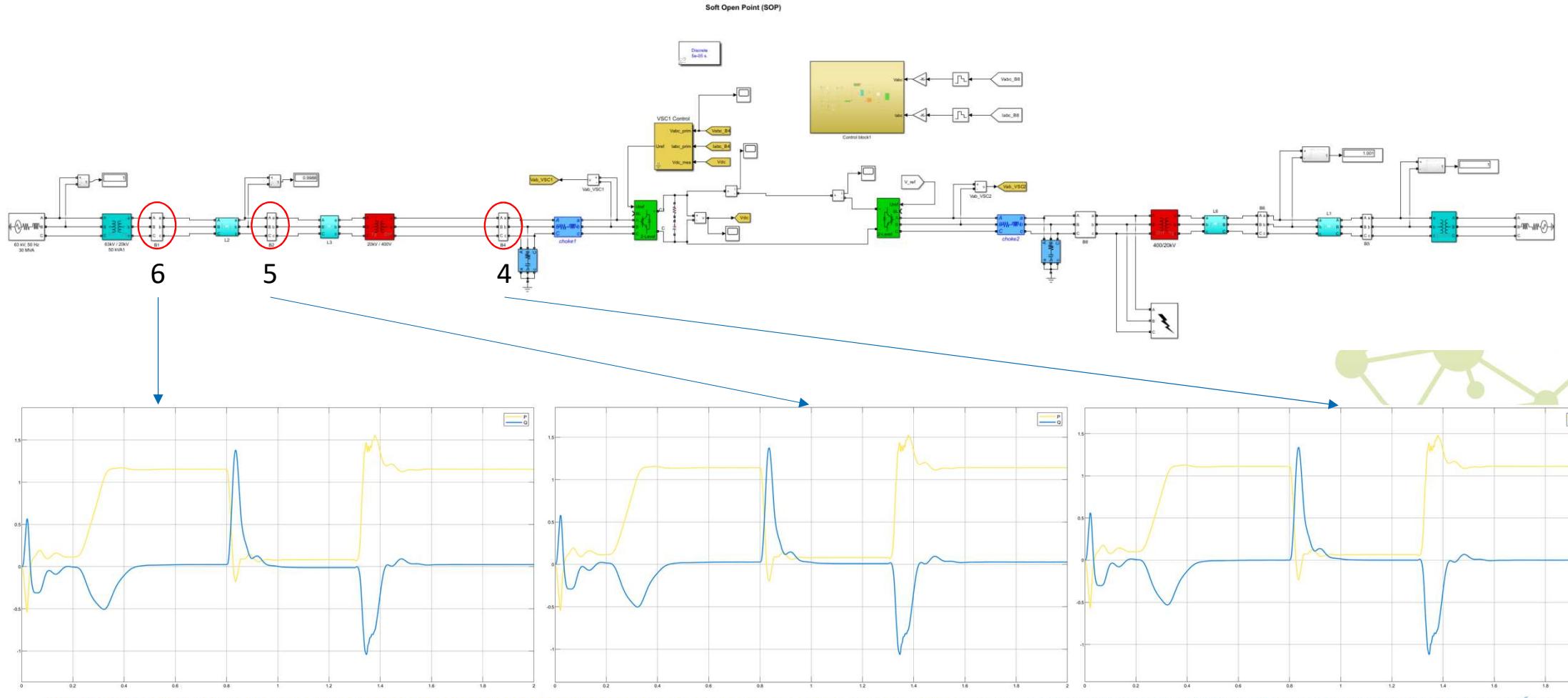
Courant A



Courant A

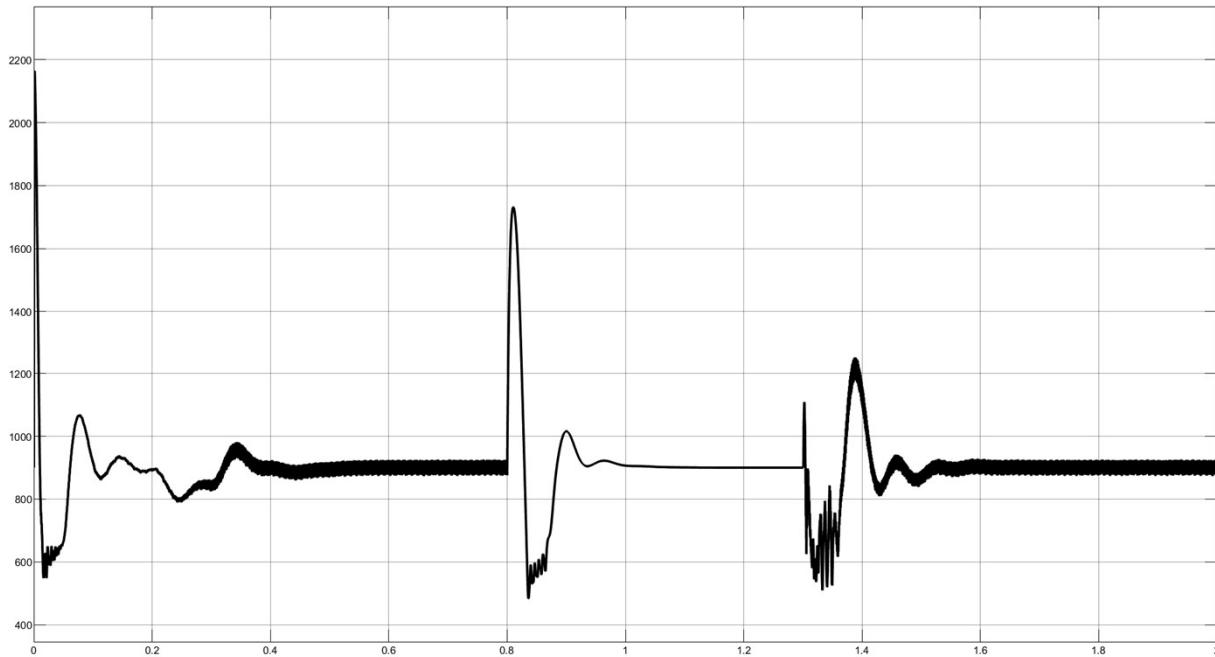


## Que se passe-t-il de l'autre côté du SOP ?





## Tension du bus DC





**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

**G2E Lab**  
Grenoble Génie Électrique  
Grenoble Electrical Engineering  
Grenoble INP - UGA - CNRS

# Défaut côté convertisseur contrôlé Vbus-Q

## Défaut triphasé



Fondation  
**INP**

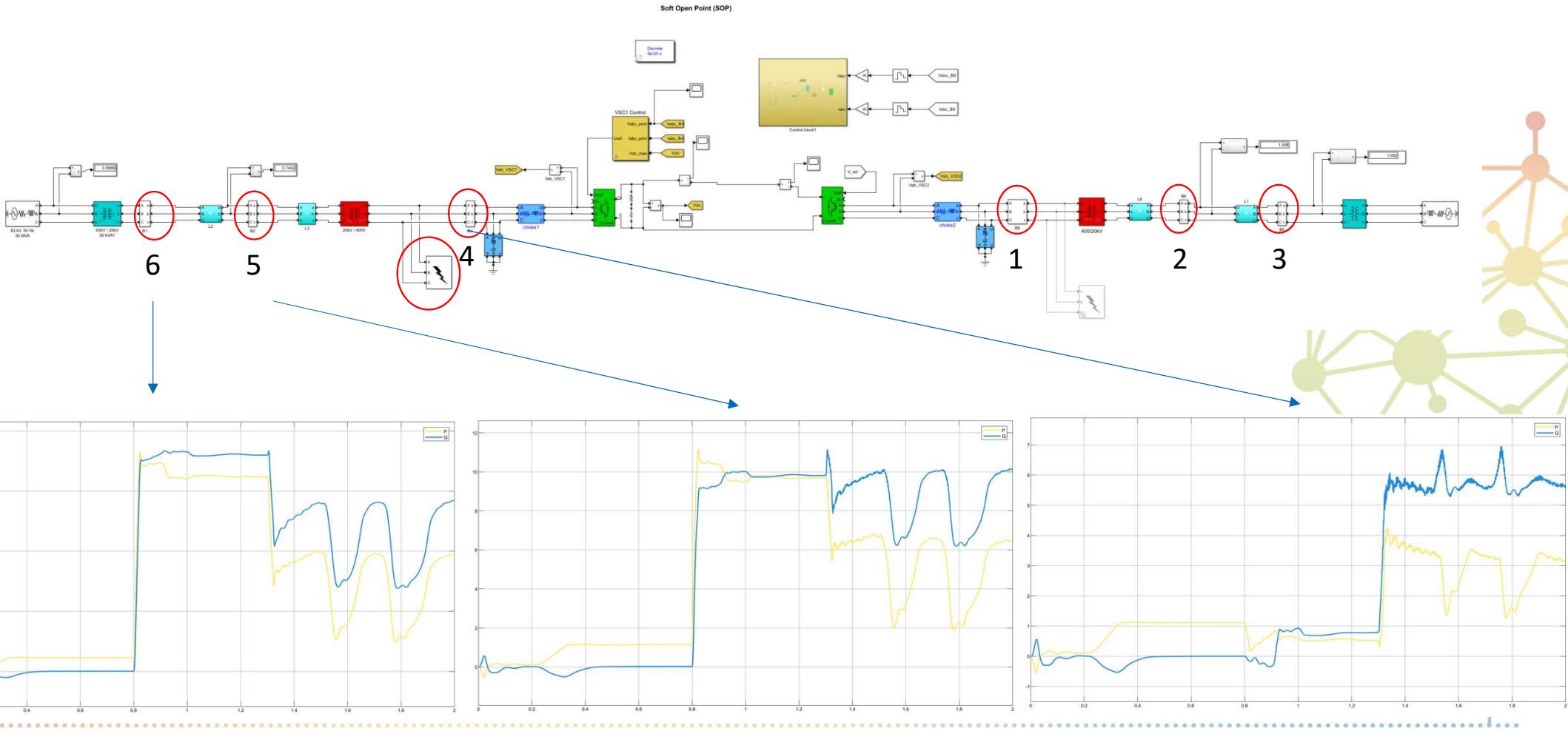
UGA  
Université  
Grenoble Alpes

CNRS

**GRENOBLE**  
INP  
UGA

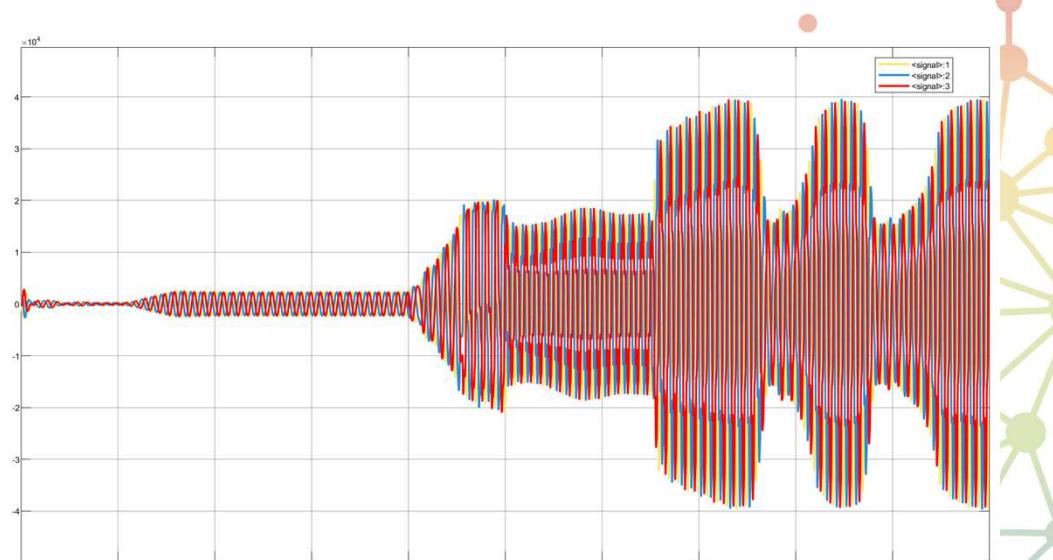
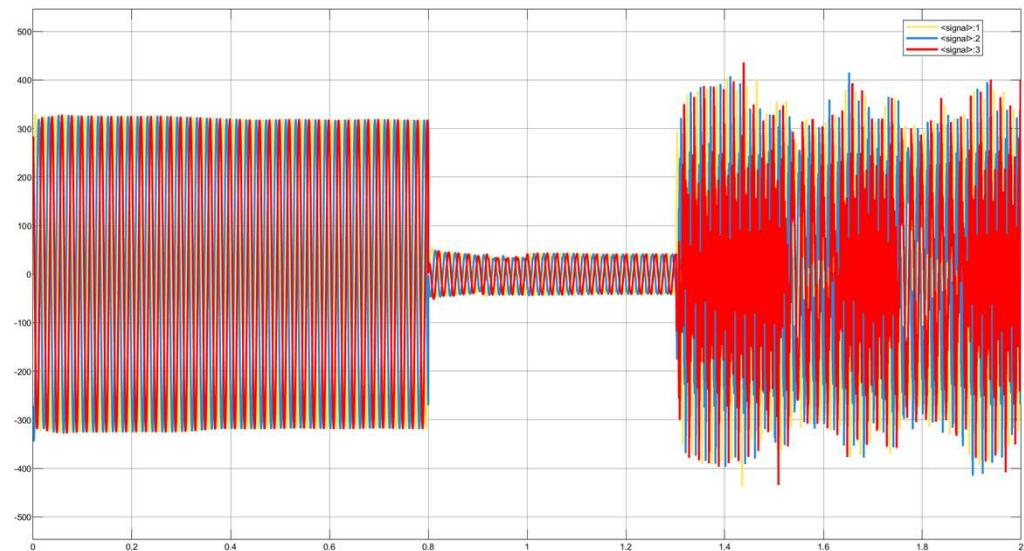


## Mesures côté réseau en défaut



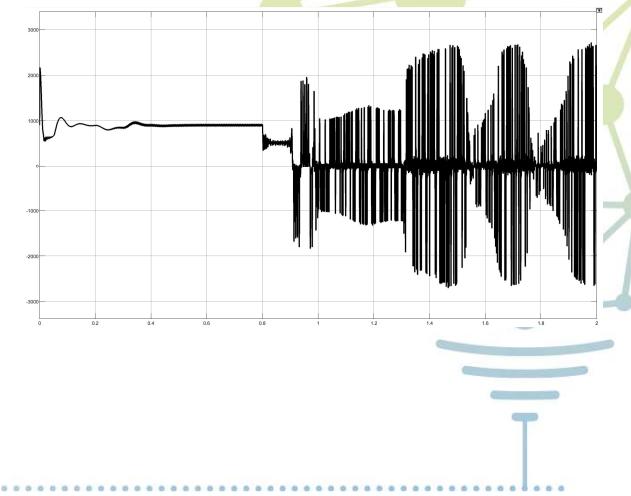
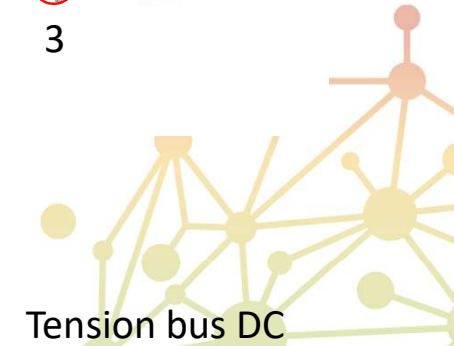
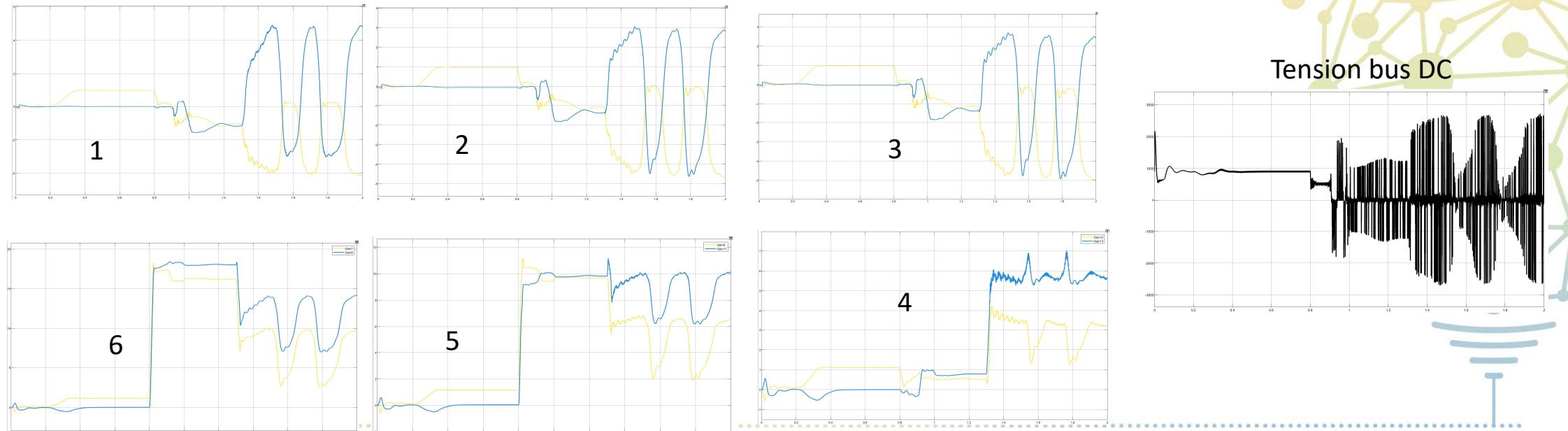
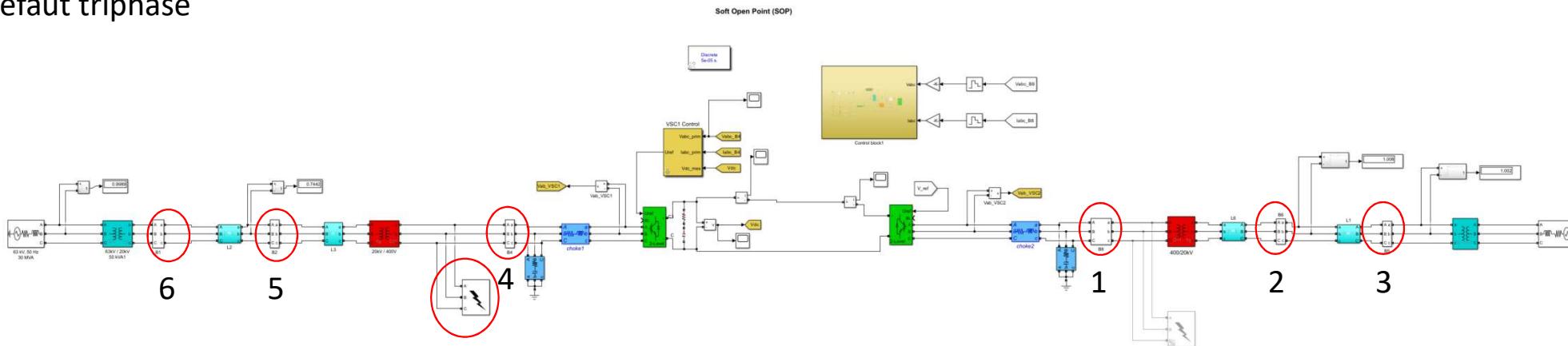


## Tensions et courants côté convertisseur



## Défaut triphasé

**Sn**  
BY



# Que se passe-t-il si on met des protections en tête de départ?

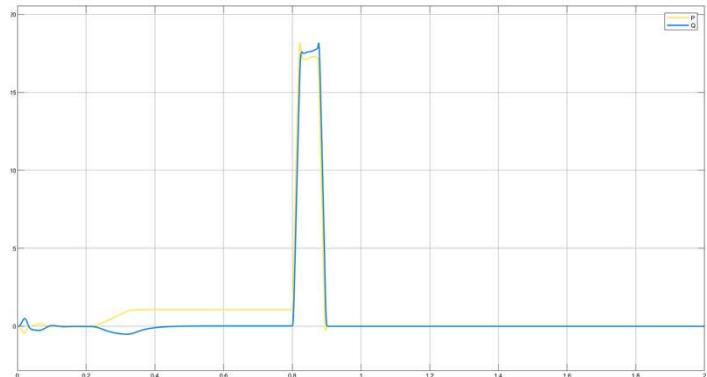


.....

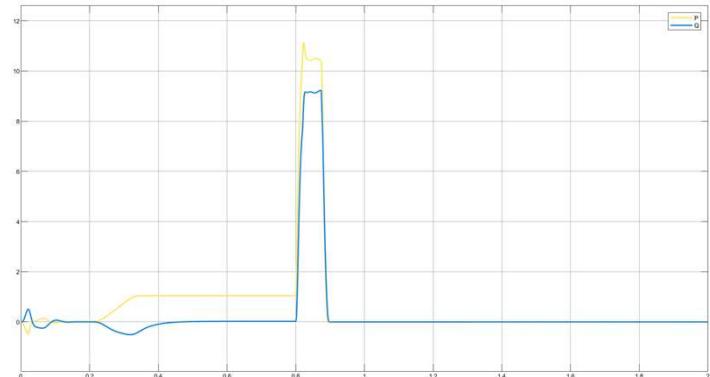


## Puissances côté convertisseur contrôlé Vbus-Q

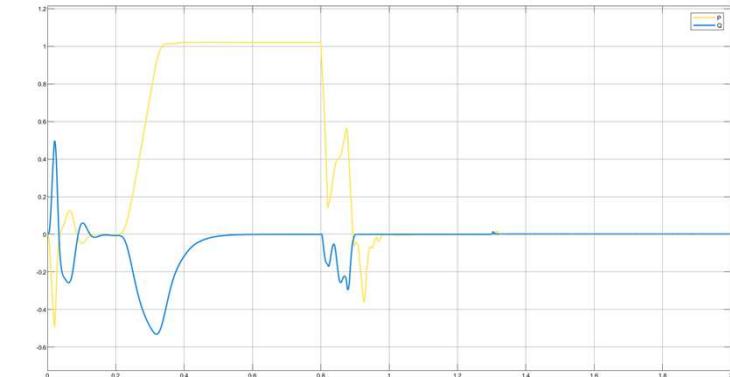
6



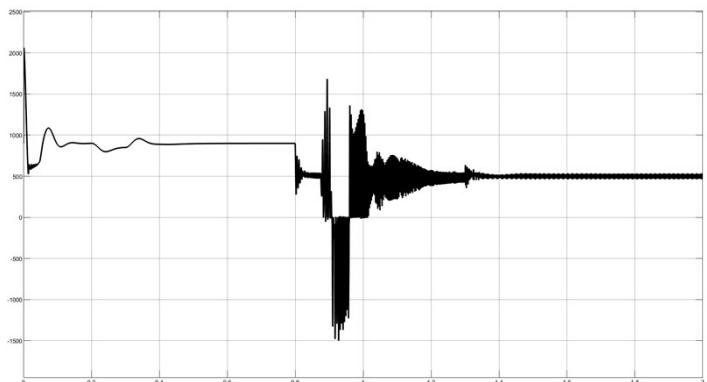
5



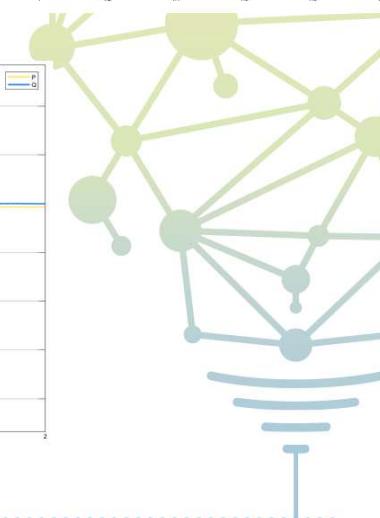
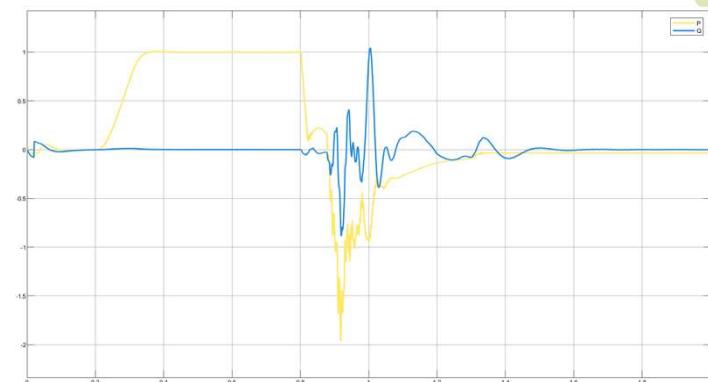
4



Tension bus DC



1





## Conclusions et perspectives

- Il existe une forte influence de la localisation du défaut par rapport au mode de contrôle des convertisseurs.
- Lorsque le défaut est proche du convertisseur pilotant la tension du bus DC, le défaut se transmet de l'autre côté du SOP (problème sur la stabilité du contrôle ?) et n'arrive pas à rétablir la tension proche de sa valeur nominale une fois le défaut supprimé
- Des hypothèses ont été considérées et nécessitent d'être analysées dans des études futures :
  - Couplage du transformateur de raccordement au réseau
  - Type de convertisseur (2 niveaux)
  - Bus DC à potentiel flottant (pas de mise à la terre via un point milieu)
  - Structure de contrôle basique fonctionnant en régulation et pas forcément en asservissement



# Contrôle et simulation d'un SOP avec différents types de défauts

Travaux effectués par **Mohammed Kharrich**

Correspondants ENEDIS : Maria-Victoria ZAMUNER, Kamel SAHNOUNI, Arnaud TSCHIRRET  
Encadrant G2Elab : Bertrand RAISON



# Impact de stockeurs participant aux marchés/services système sur les réseaux de distribution

Lucas LAFAYE

Encadrants G2Elab

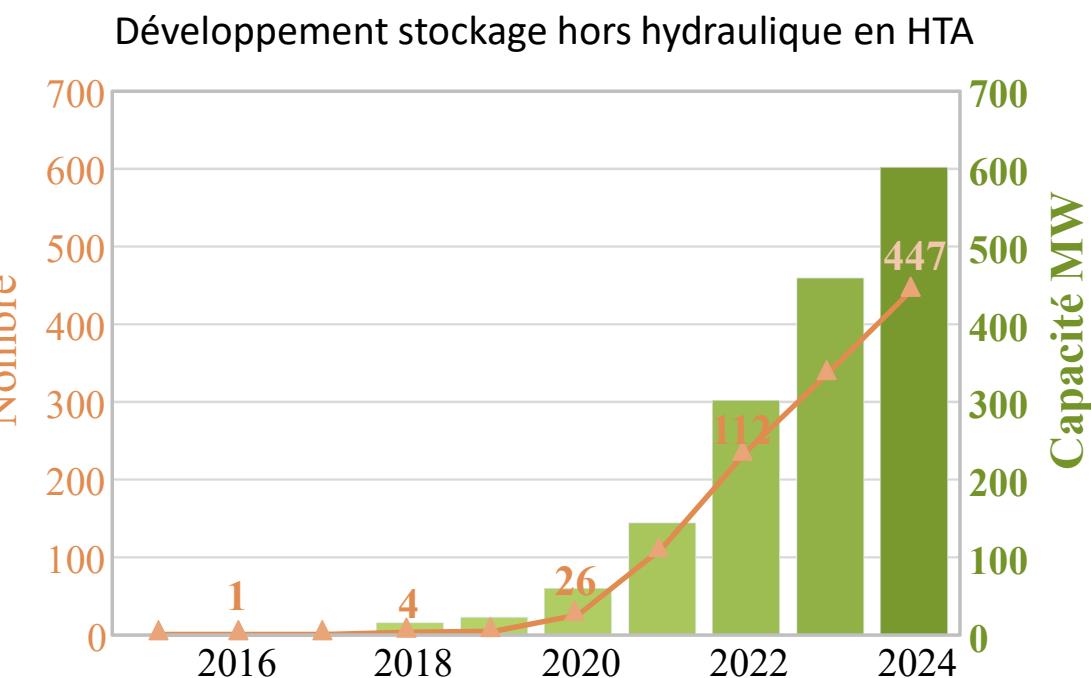
Marie-Cécile ALVAREZ-HERAULT  
Vincent DEBUSSCHERE  
Rémy RIGO-MARIANI



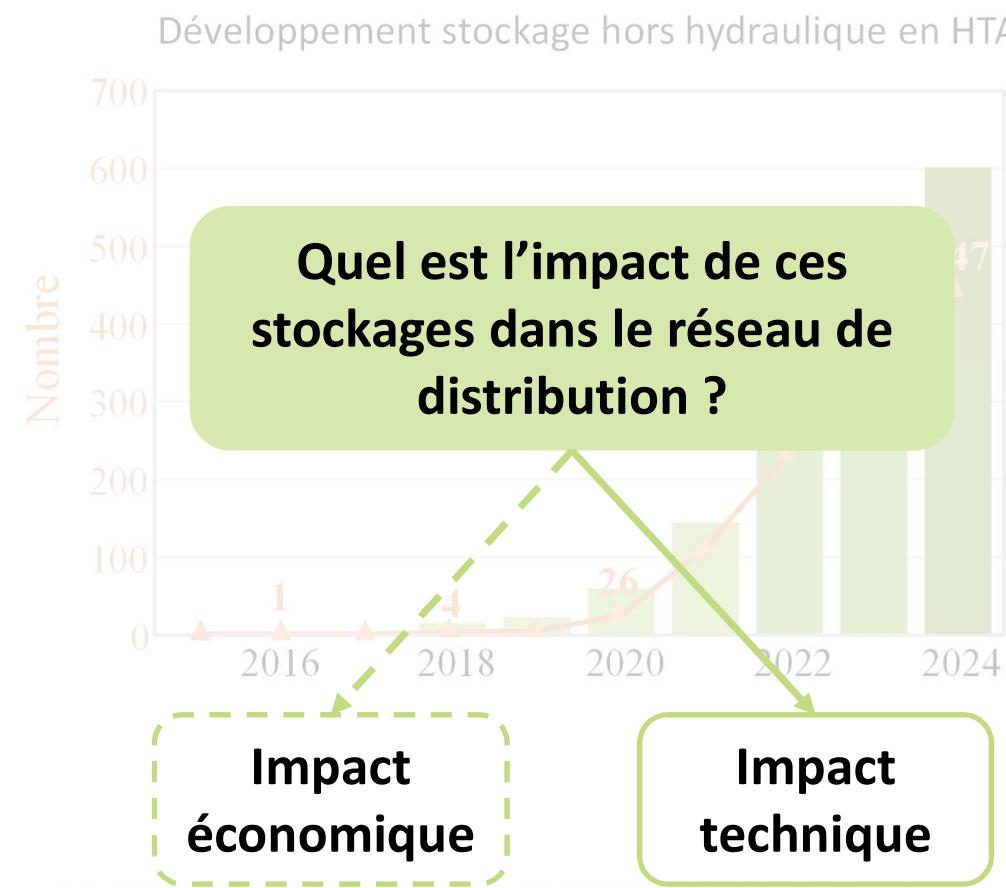
Encadrants ENEDIS

Philippe CROS  
Jérémie HIRSCH  
Bastien GAUTHIER  
Léonard BACAUD

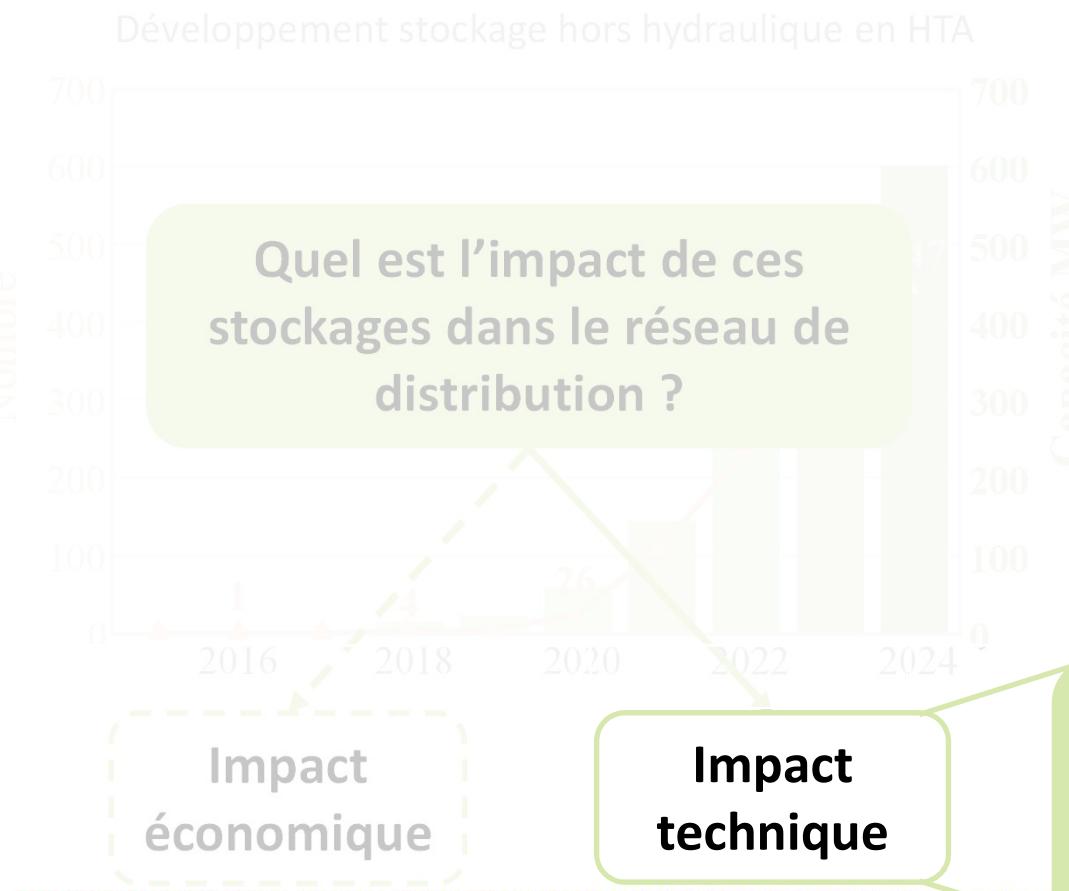




- **Nombre important de stockage dans le réseau HTA** (puissance moyenne 1,3 MW par élément en 2024)
- Hausse de **l'intérêt des stockeurs** dans la participation aux **marchés de l'énergie / services système**
- Utilisation du stockage **sans considération des impacts locaux**



- **Nombre important de stockage** dans le réseau HTA (puissance moyenne 1,3 MW par élément en 2024)
- Hausse de **l'intérêt des stockeurs** dans la participation aux marchés de l'énergie / services système
- Utilisation du stockage **sans considération des impacts locaux**

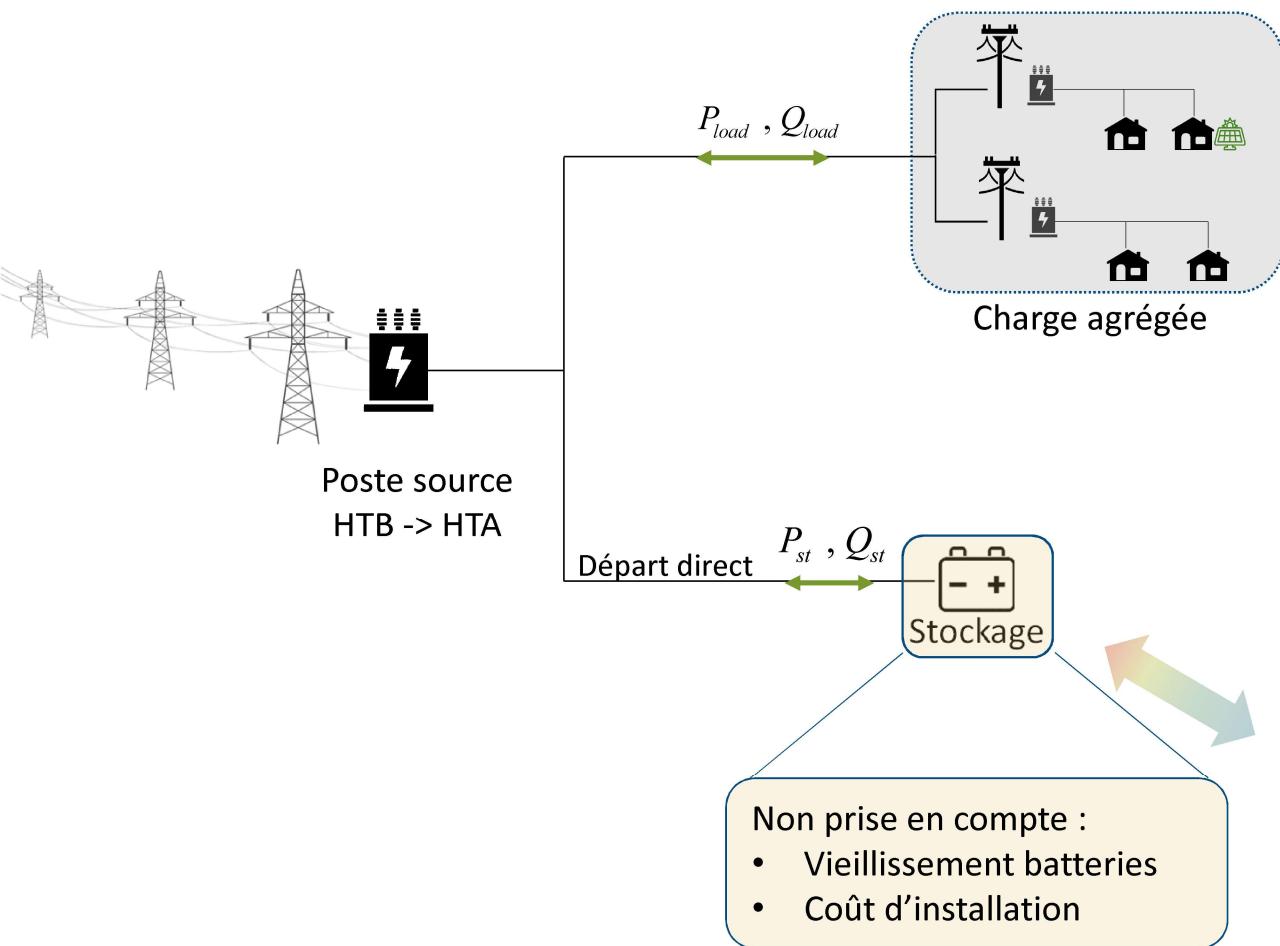


- Nombre important de stockage dans le réseau HTA (puissance moyenne 1,3 MW par élément en 2024)
- Hausse de l'intérêt des stockeurs dans la participation aux marchés de l'énergie / services système
- Utilisation du stockage sans considération des impacts locaux

Quel est l'impact du stockage sur la sollicitation du matériel ?



# Travaux de la thèse



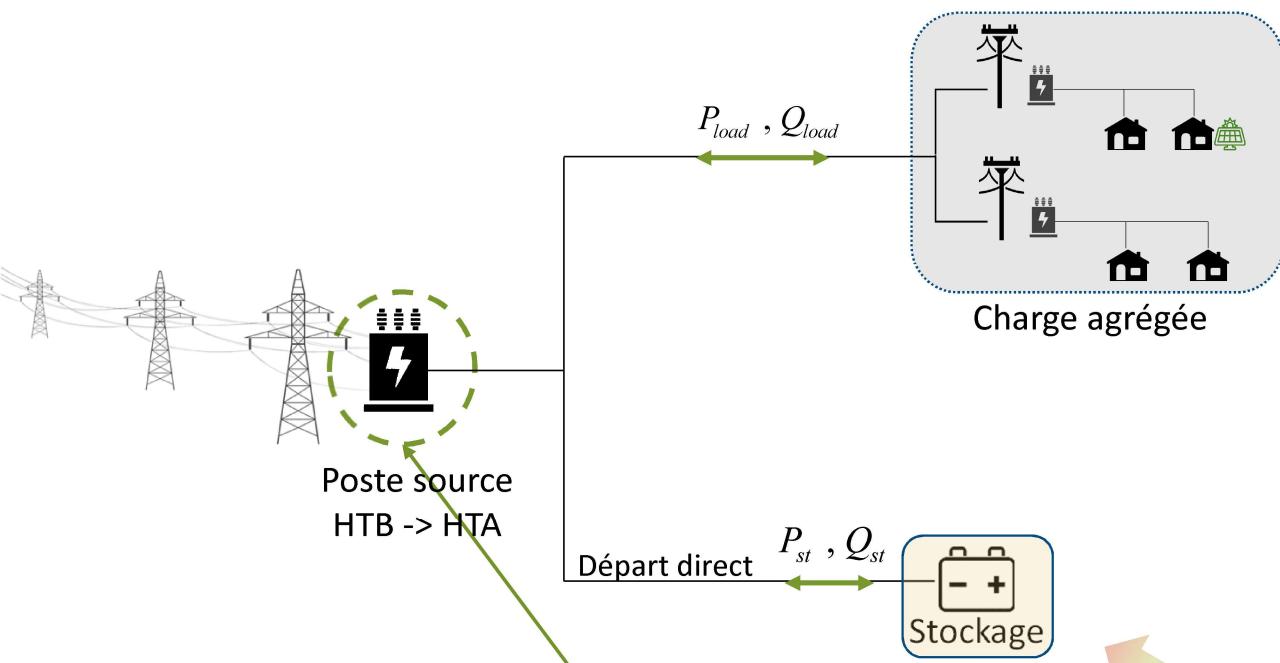
Marché de l'énergie :

- Day-Ahead
- Intraday

Service système :

- Réserve primaire FCR

# Travaux de la thèse



## Impact du stockage sur le poste source :

- Monotone des puissances
- Vieillissement transformateur
- Energie transitant par le transformateur
- Nombre de changements de prise du régulateur en charge

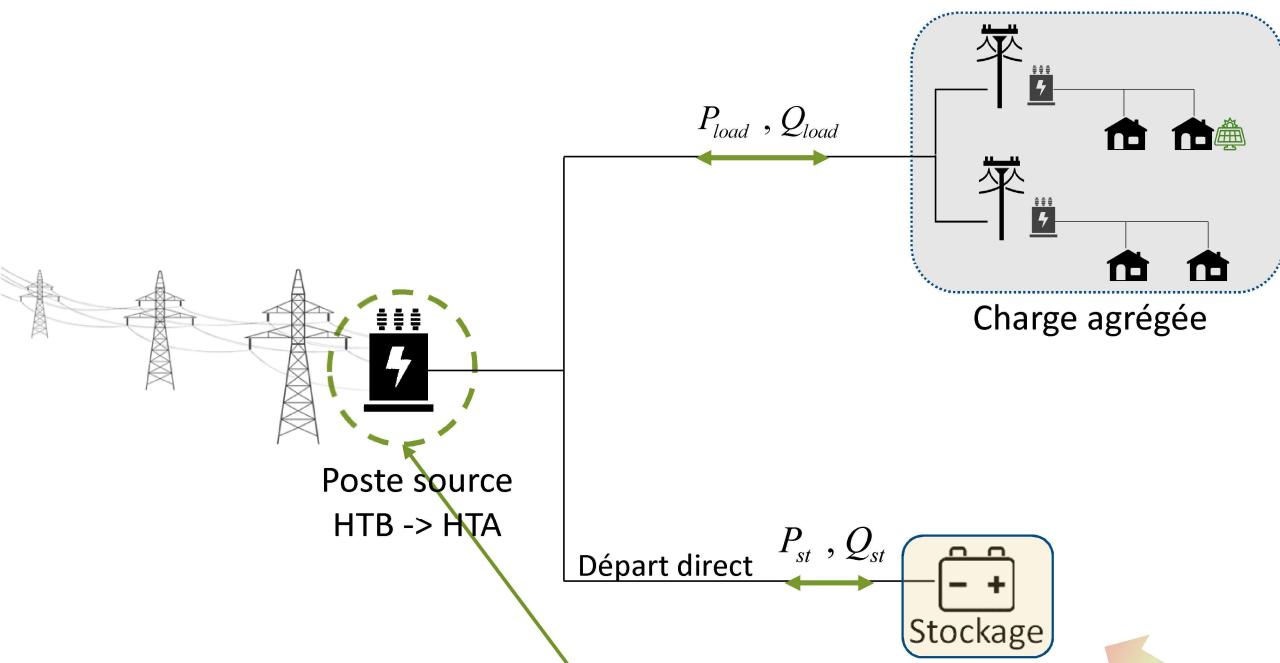
Marché de l'énergie :

- Day-Ahead
- Intraday

Service système :

- Réserve primaire FCR

# Travaux de la thèse



## Impact du stockage sur le poste source :

- Monotone des puissances
- Vieillissement transformateur
- Energie transitant par le transformateur
- Nombre de changements de prise du régulateur en charge

Marché de l'énergie :

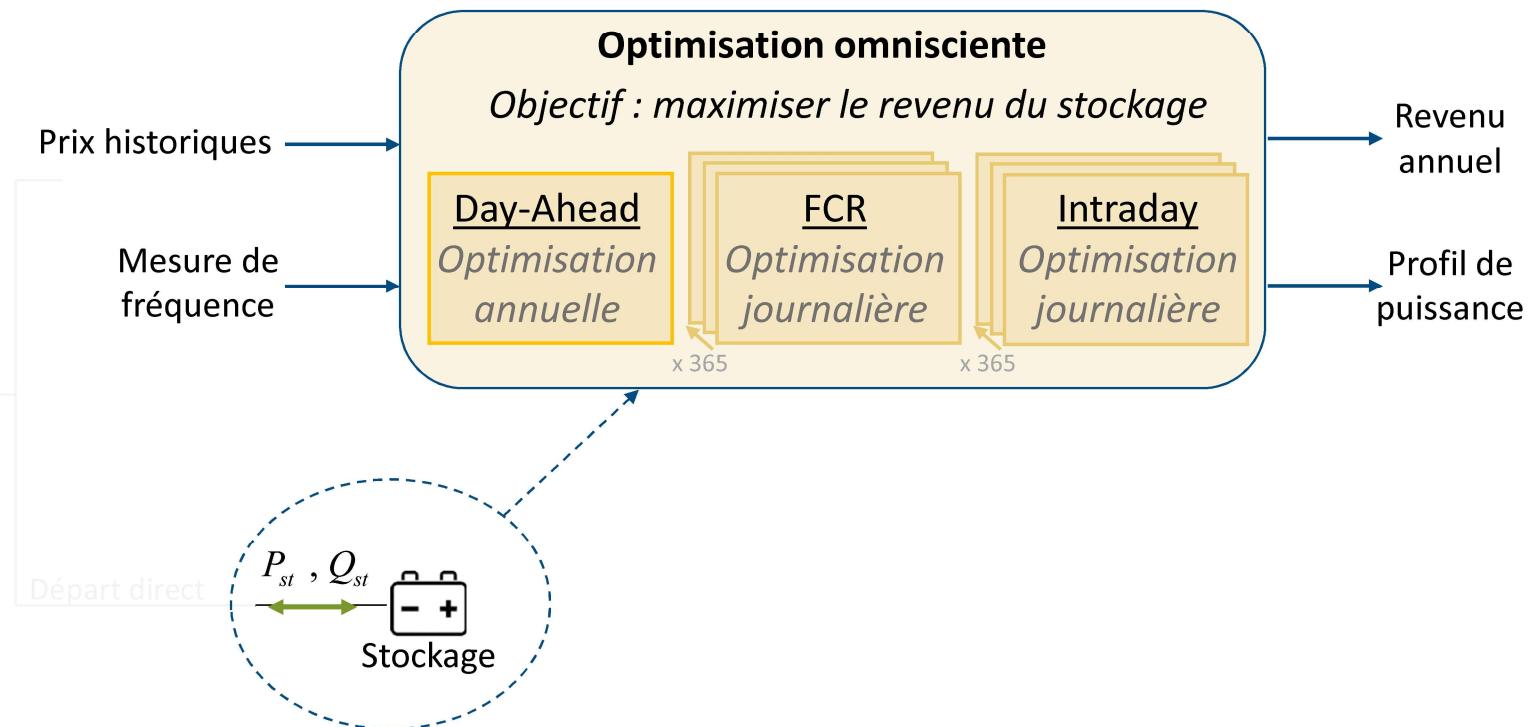
- Day-Ahead
- Intraday

Service système :

- Réserve primaire FCR

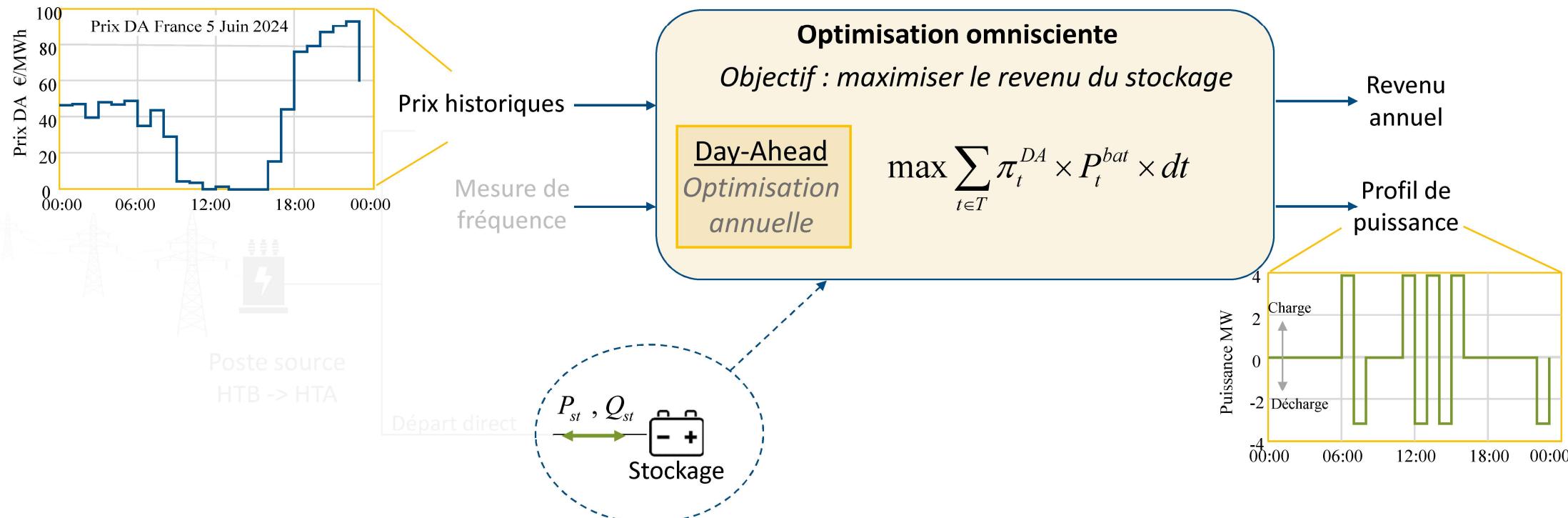


# Méthodologie

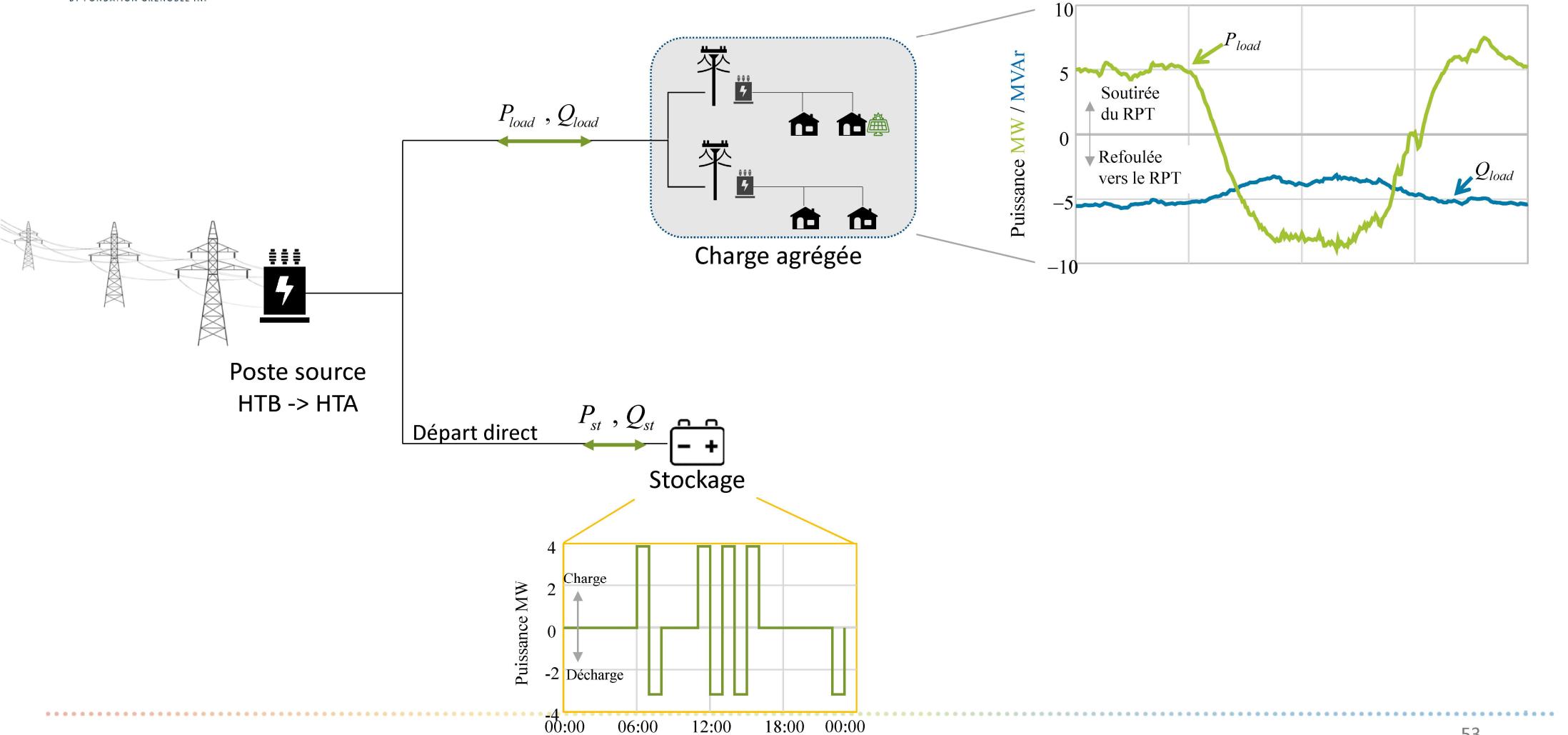




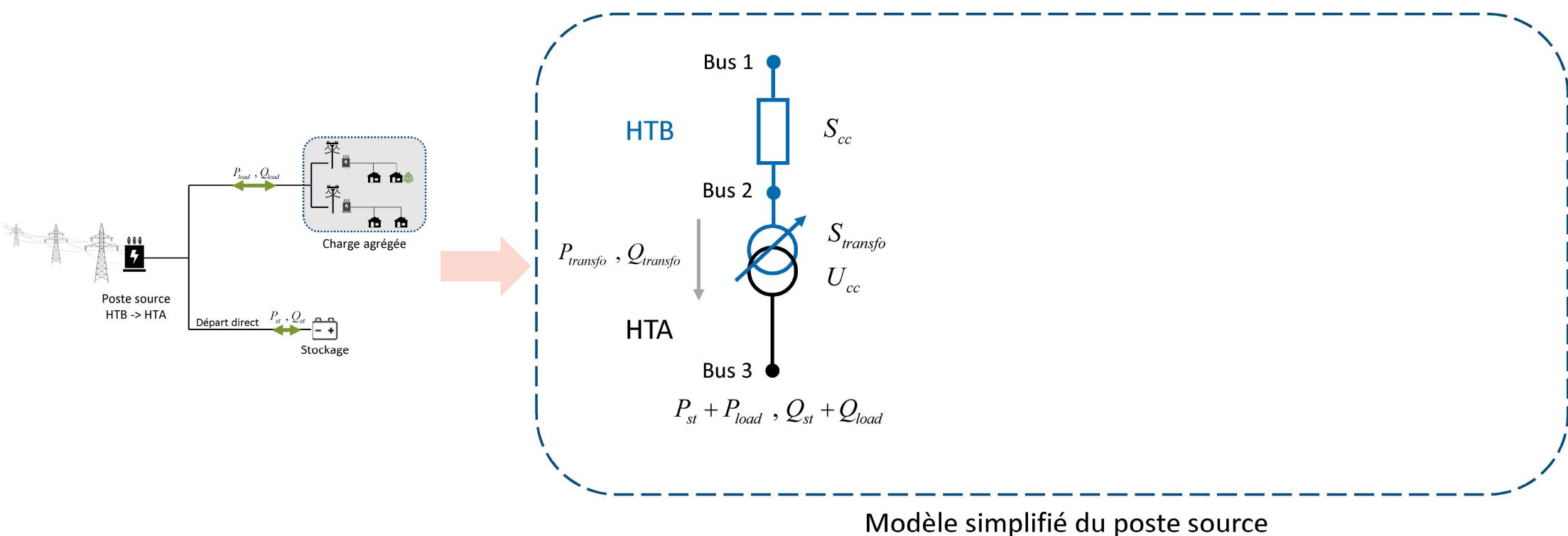
# Méthodologie



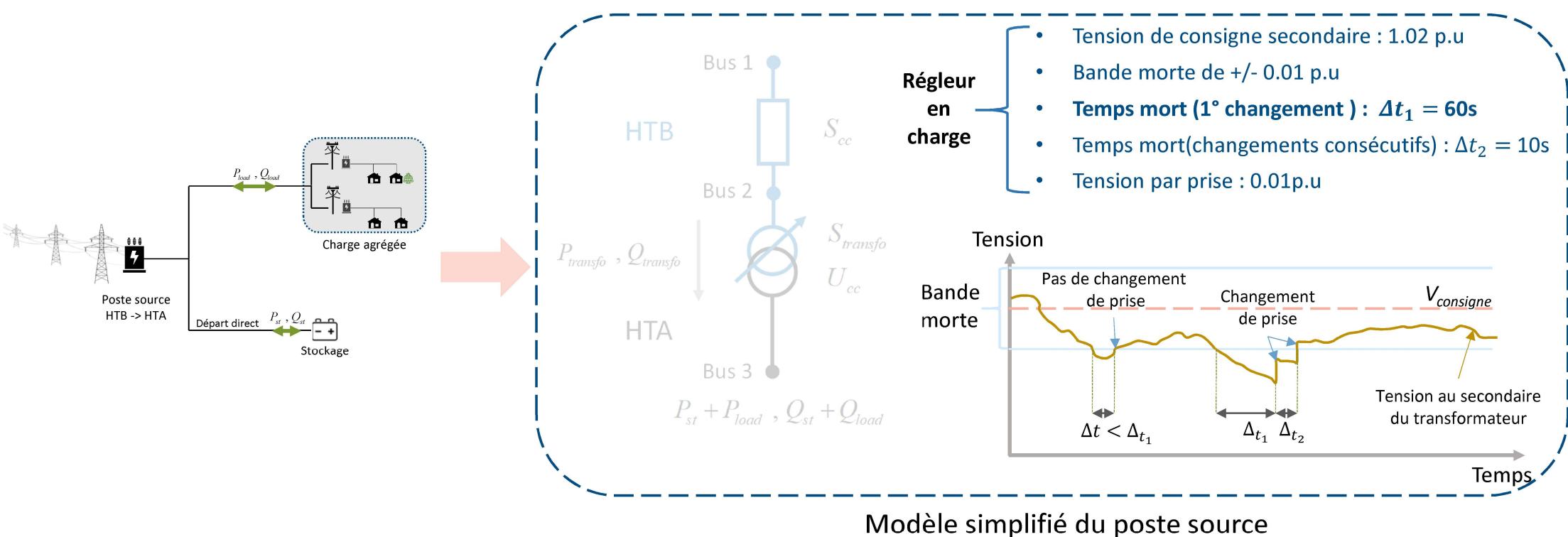
# Méthodologie



# Méthodologie



# Méthodologie





SmartGrids  
BY FONDATION GRENOBLE INP

# Résultats



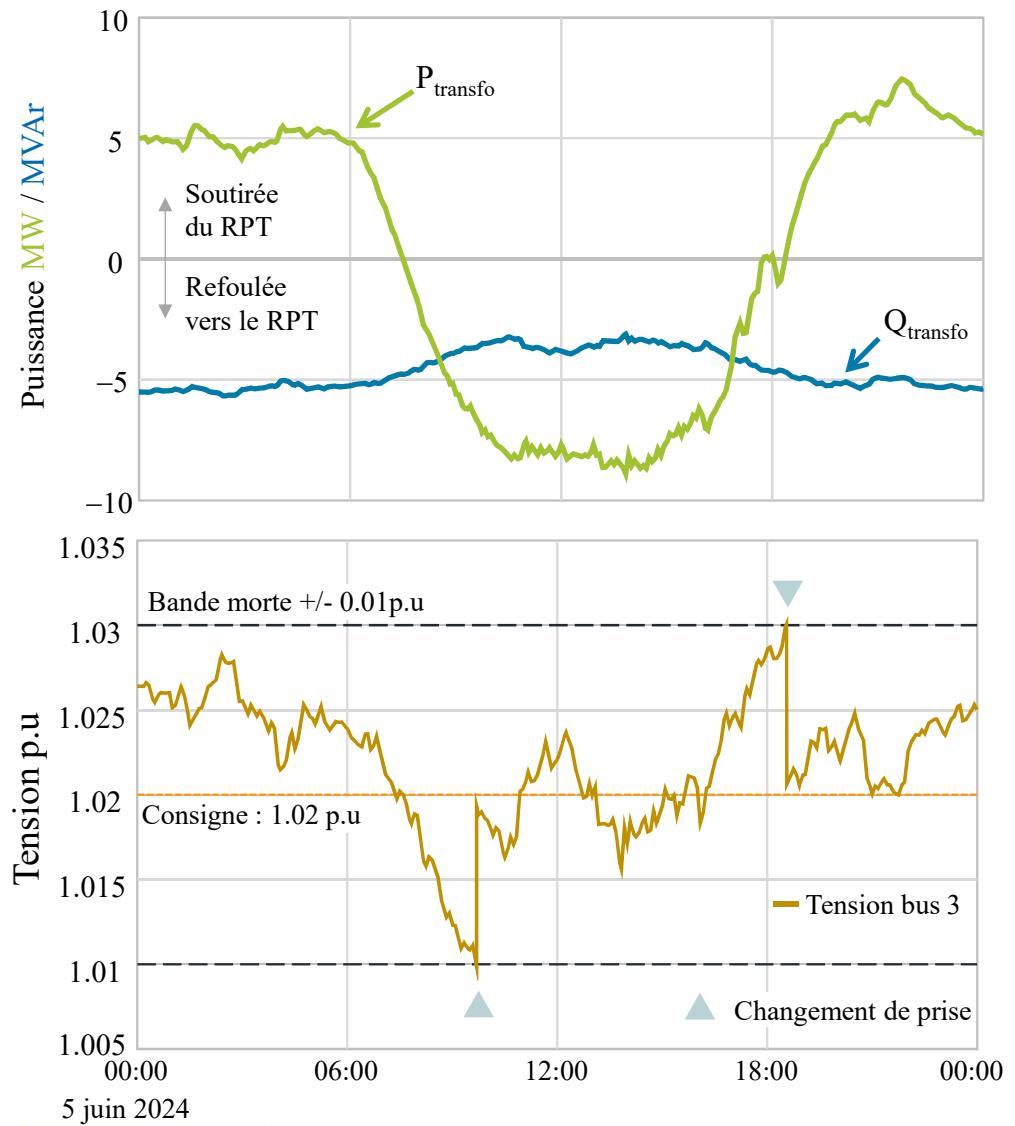
Puissance de court-circuit HTB : 224 MVA



Taille de batterie : Sans stockage



2 changements de prises  $\propto \Delta Q$



# Résultats



Puissance de court-circuit HTB : 224 MVA



Taille de batterie : 5MW/5MWh



$\tan \varphi_{st}$  (à l'injection) : -0.3



Marché / service : Day-Ahead



**Nombre de changements de prise augmenté de 200 % par rapport au cas sans stockage**



# Conclusions



**Puissance de court-circuit HTB**



**Taille de batterie**



**$\tan \varphi_{st}$  (à l'injection)**



**Marché / service**

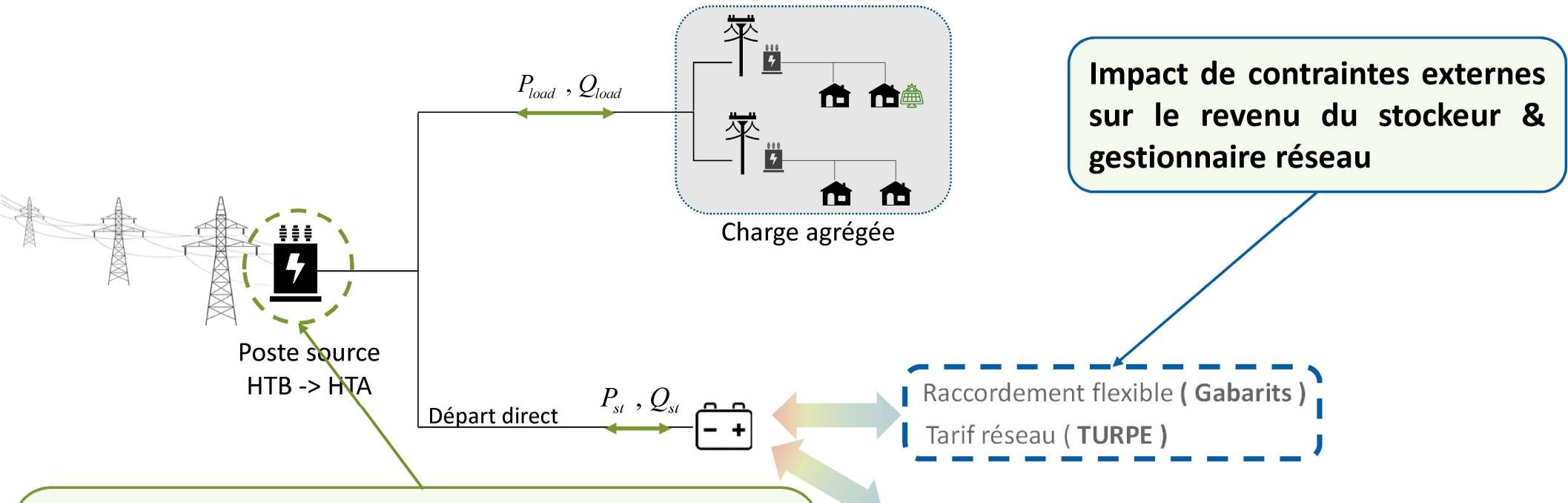
**Réduction** de l'impact avec un **réseau amont robuste** (Scc élevé)  
( divisé par deux avec Scc de 338 MVA )

**Fort impact** avec un échange de **puissance réactive**  
( x8 avec stockage de 10MW/10MWh DA )  
( x1,7 avec stockage de 5MW/5MWh DA )

**Fort impact** pour une **durée d'activation en puissance supérieure au temps mort du régulateur en charge**

**Le nombre d'opérations du régulateur reste conforme aux spécifications constructeur**

# Travaux en cours



## Impact du stockage sur le poste source :

- Monotone des puissances
- Vieillissement transformateur
- Energie transitant par le transformateur
- Nombre de changements de prise du régulateur en charge

Marché de l'énergie :

- Day-Ahead
- Intraday

Service système :

- Réserve primaire FCR



**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

# Merci de votre attention !

Lucas LAFAYE

[lucas.lafaye@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:lucas.lafaye@g2elab.grenoble-inp.fr)

**enedis** G2Elab  
Grenoble Génie Électrique  
Grenoble Electrical Engineering



# Îlotage sur le réseau BT

## Entre défis techniques et enquêtes sur le terrain

Jane MARCHAND,

*Post-doc au G2Elab*

Projet RELIEF, avec :

G2Elab : Jérôme BUIRE

Enedis : Iulia IVAN, Jean POMPEE

EDF R&D : Cristian JECU, Sébastien GOURAUD, Ilan KELLER

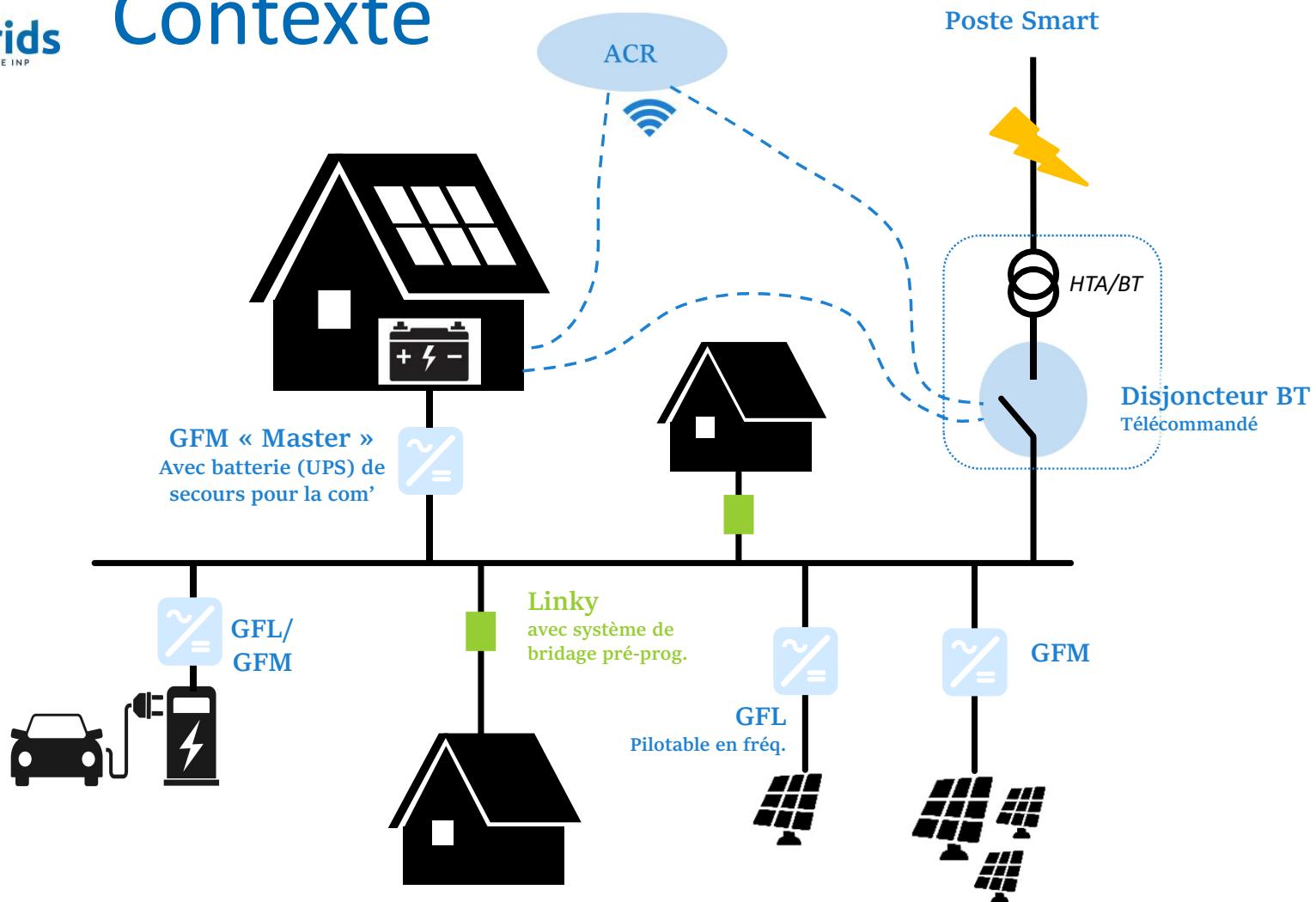
Chiara IODICE,

*Master Design des transitions*

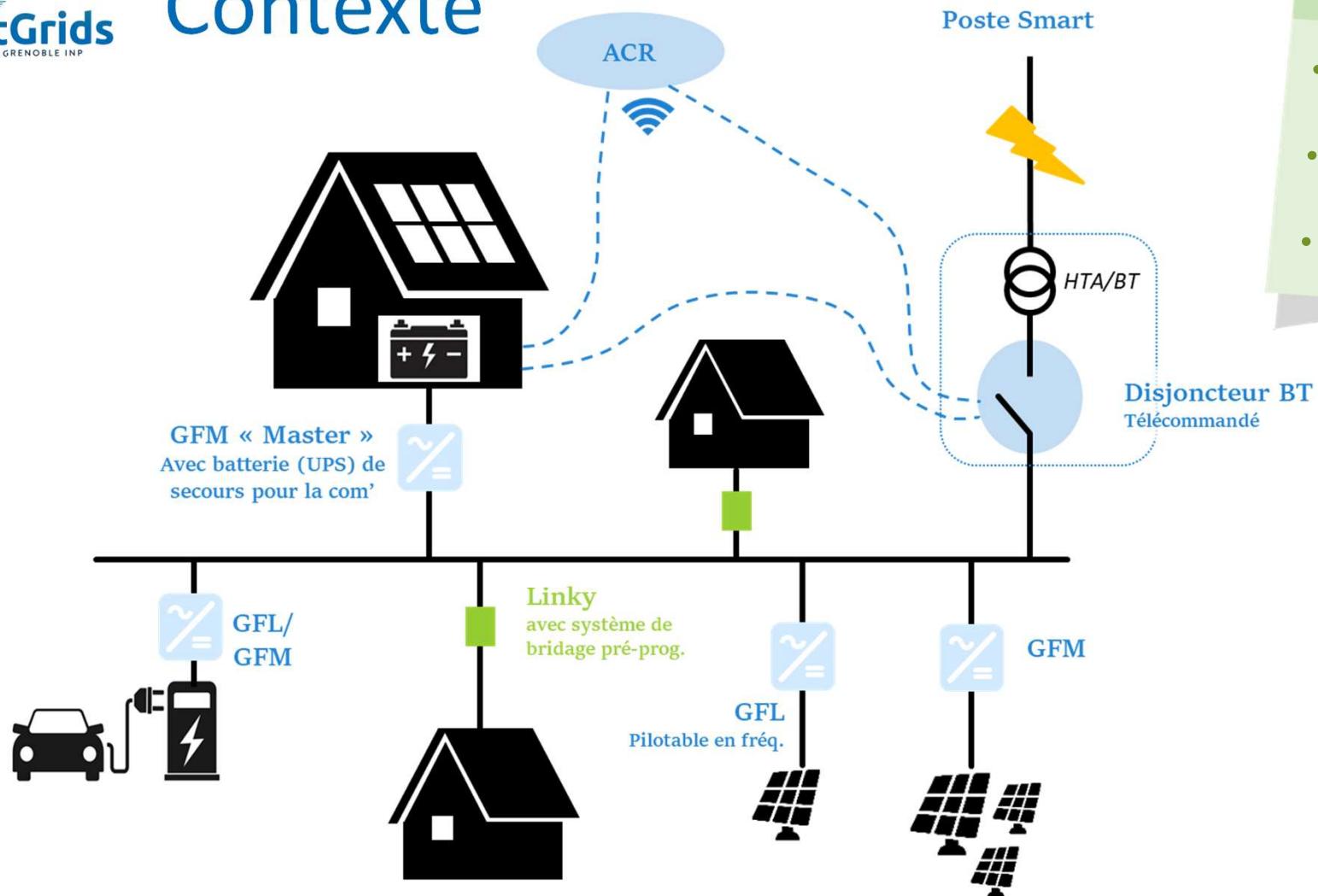
G2Elab : Vincent DEBUSSCHERE



# Contexte



# Contexte



## MOTIVATIONS

- Réduction des émissions
- Rapidité de la réalimentation
- Résilience

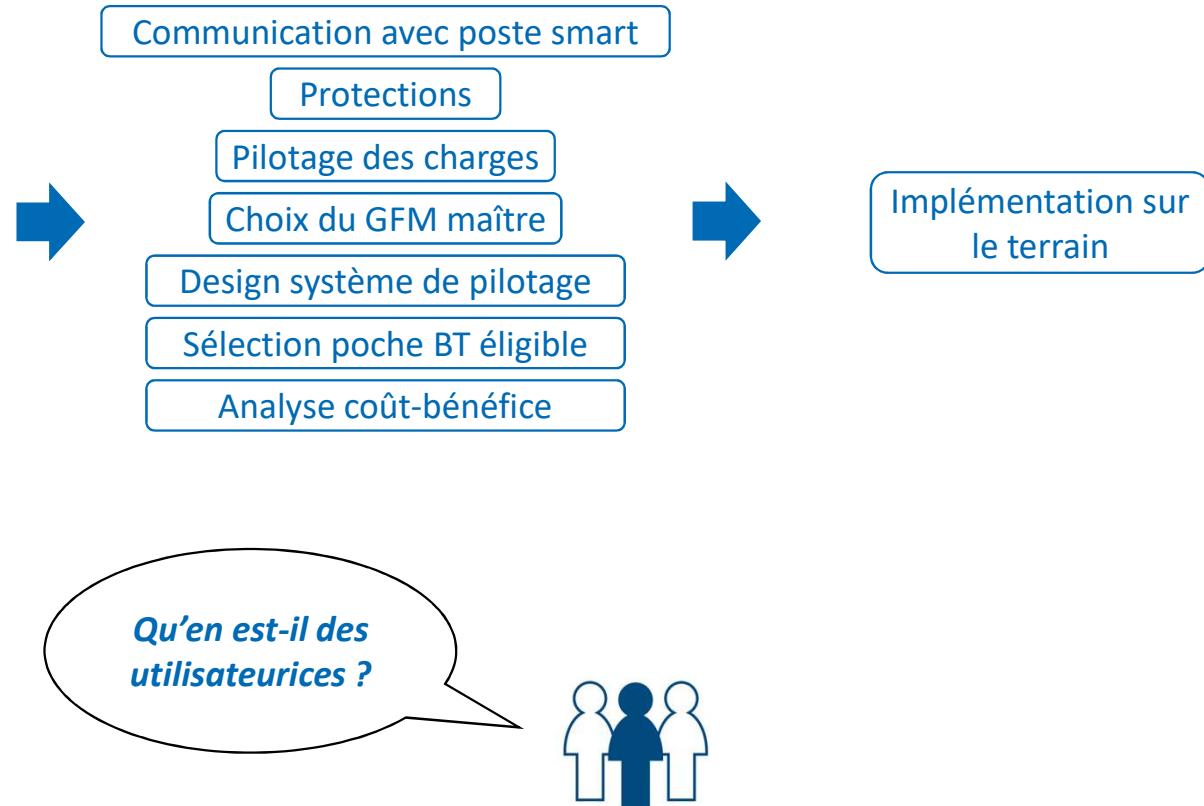


# Démonstrateur RELIEF

GFM = Grid-Forming  
GFL = Grid-Following

2 scénarios :

- S1 : 1 GFM + des GFLs
- S2 : plusieurs GFMs coordonnés + des GFLs

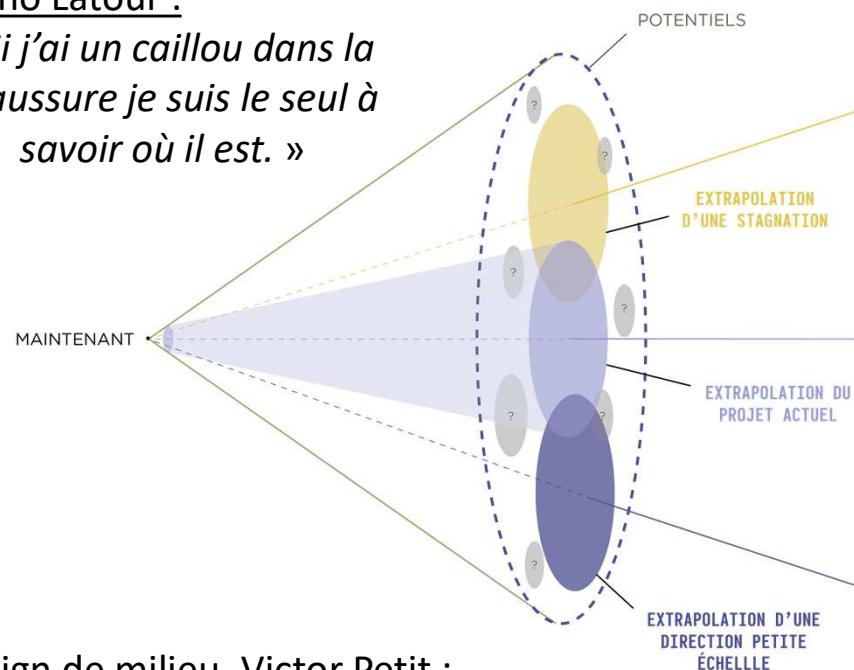


# Stage :

Coupure de courant en milieu rural et stratégie de ré-alimentation basée sur la production locale renouvelable, approche par le design.

Bruno Latour :

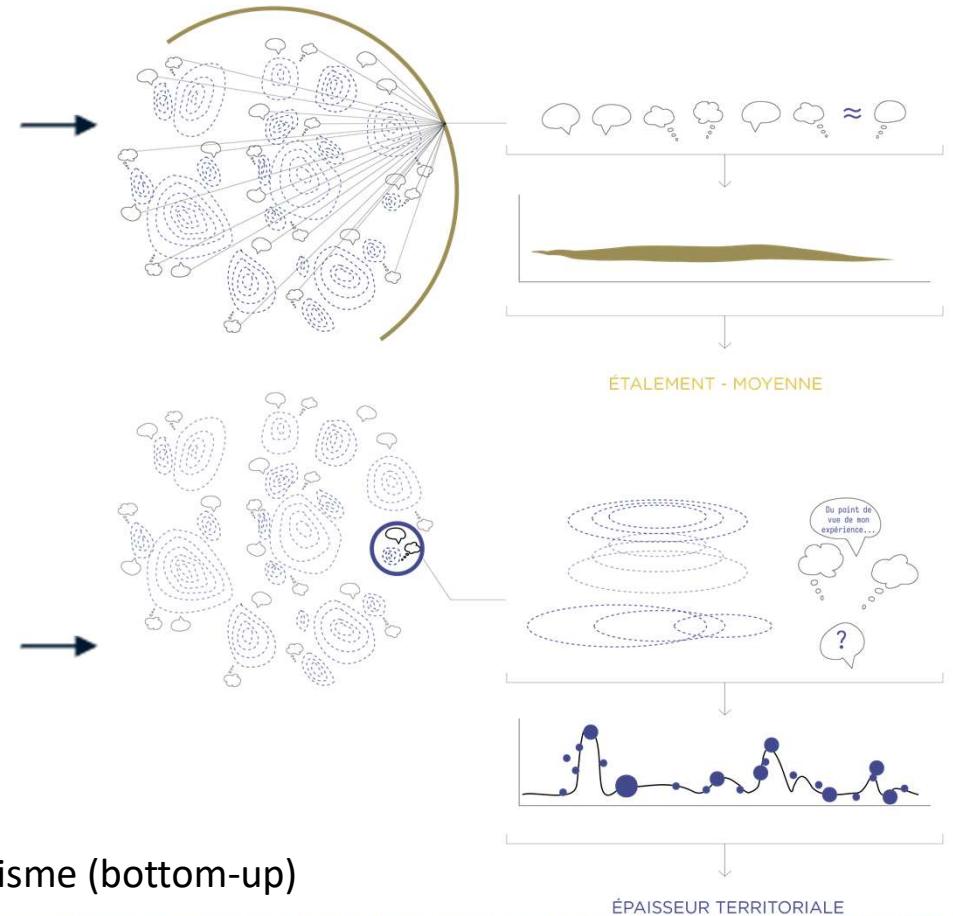
« Si j'ai un caillou dans la chaussure je suis le seul à savoir où il est. »



ORIENTATION SCÉNARIO  
PÉRÉNISER LA  
CENTRALISATION ET  
LE MAILLAGE NATIONAL

CONCEPTION  
CENTRALISÉE  
ENGAGÉE DANS LE  
DÉVELOPPEMENT  
DES ENR

ORIENTATION SCÉNARIO  
COLLECTIVITÉ ET  
PETITE ÉCHELLE



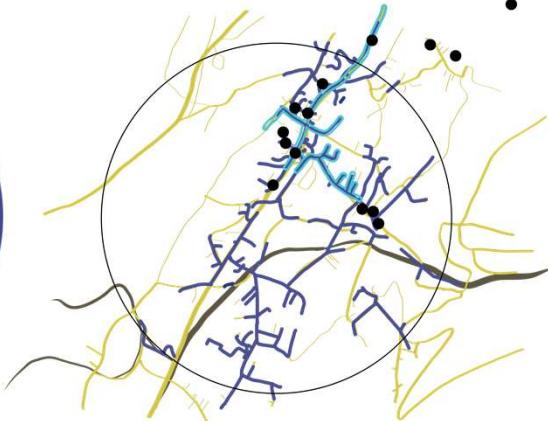
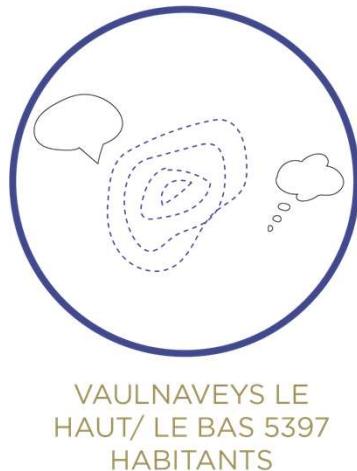
Design de milieu, Victor Petit :

- posture de médiation
- entre technique - usages - vivants - environnements
- invite à sortir du pilotage descendant (top-down) ou du pur localisme (bottom-up)

# Terrain : Méthodologie et résultats

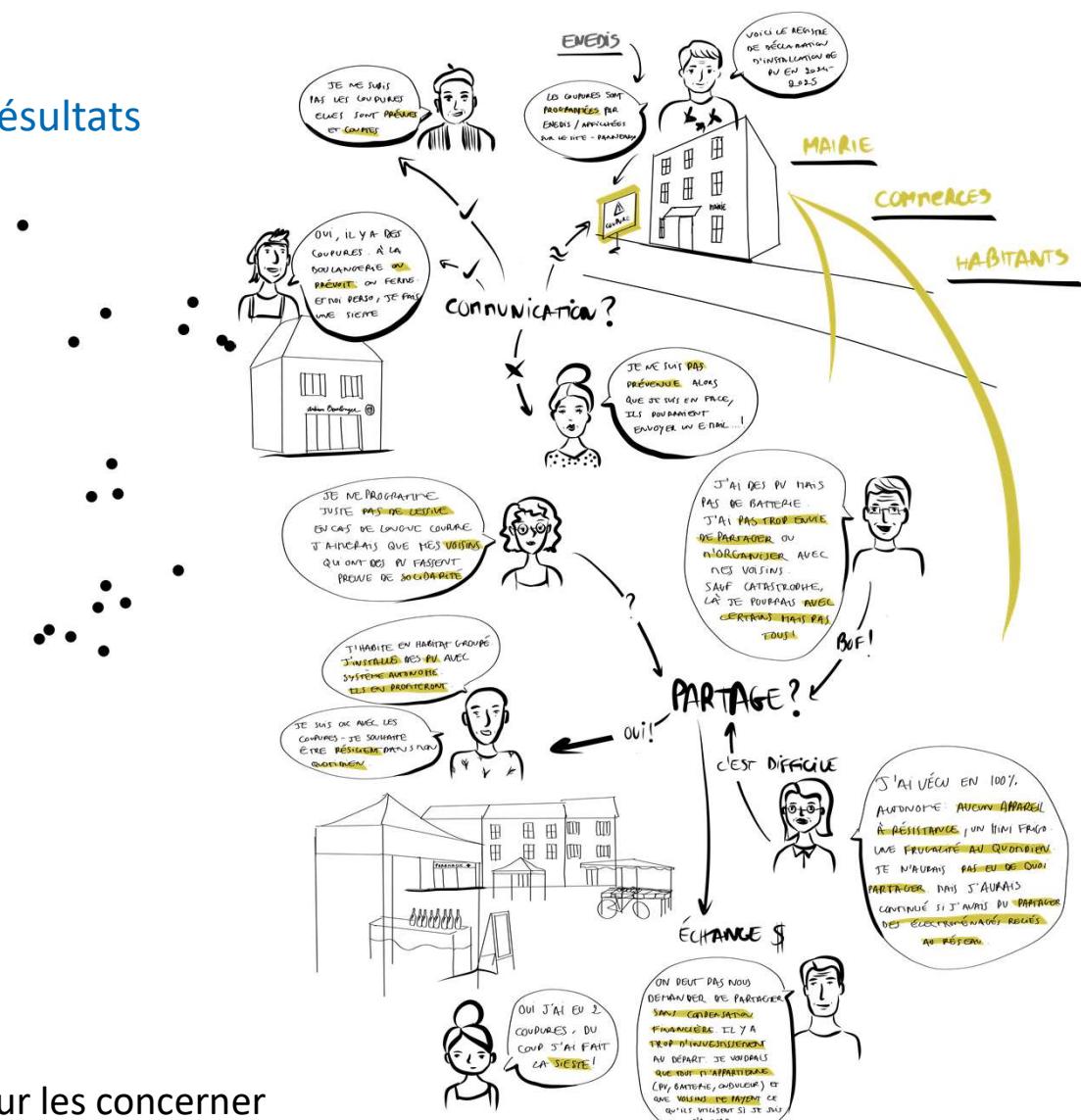
## Terrain :

Exercices d'observation inspirés de Nicolas Nova : entretiens informels



## Résultats :

- pas concernés
- créer un jeu pour les concerner



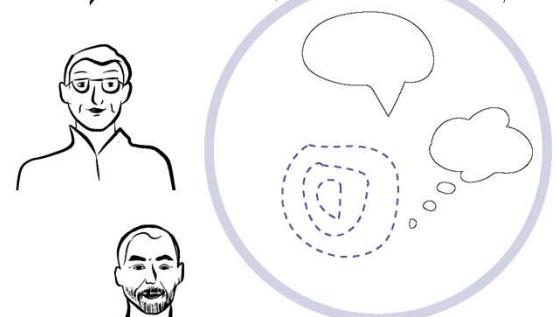
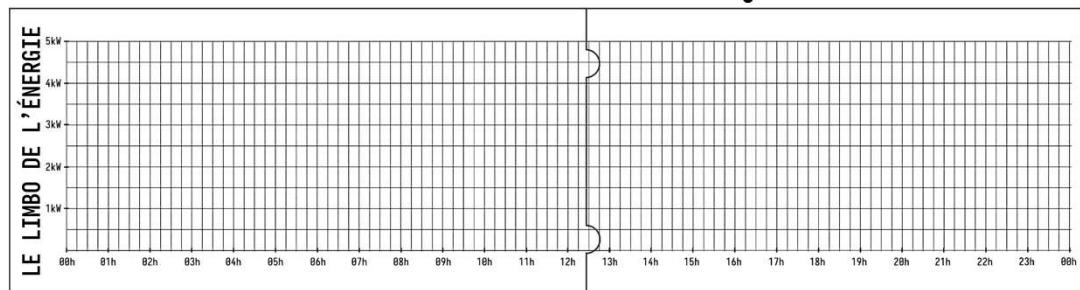
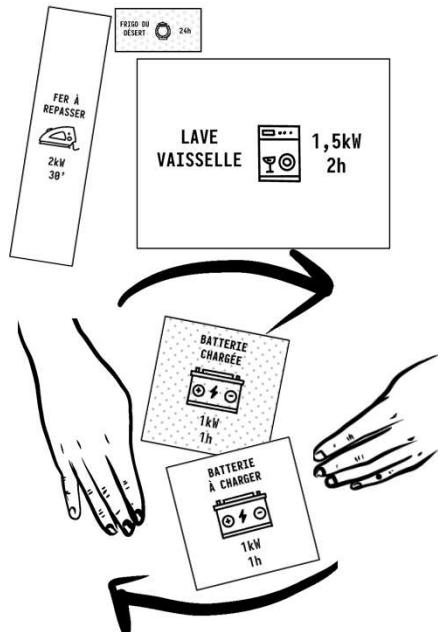
# Limbo de l'énergie :

Méthodologie et résultats

## Jeu de simulation ludique :

3 étapes du jeu :

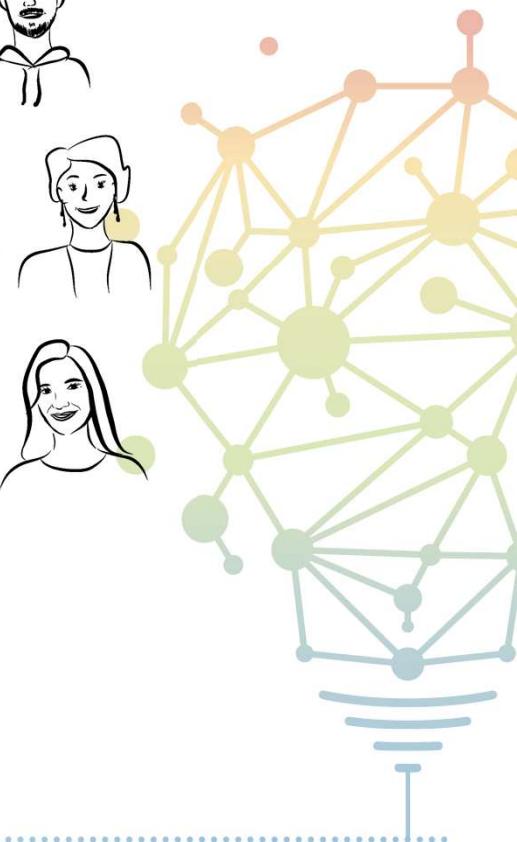
- 1, conscientiser sa propre consommation
- 2, la contraindre par une alimentation uniquement par des sources solaires
- 3, passer à l'action pour partager de l'énergie



SAINT-JOSEPH DE RIVIERE  
1243 HABITANTS

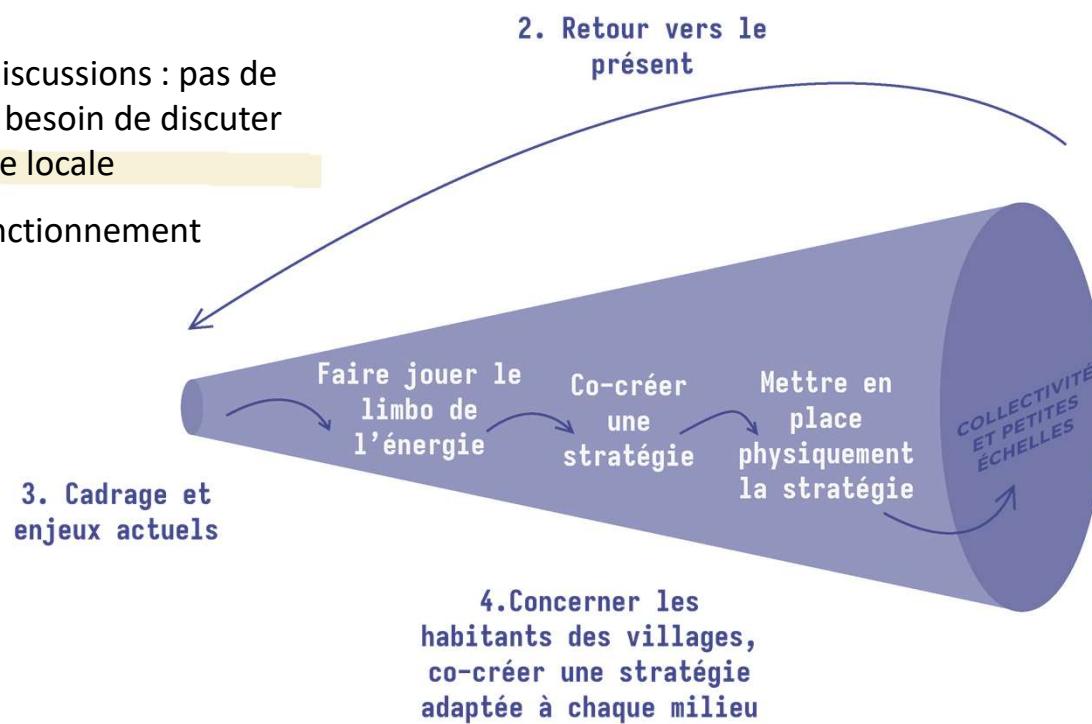
## Résultats :

- concernement
- remise en question



# Conclusion & perspectives

- Emergence des limites techniques
- Questionnement sur la notion de qualité de service et la réduction du temps de coupure à tout prix
- Manque d'espace de discussions : pas de stratégie à favoriser mais besoin de discuter pour favoriser la résilience locale
- Compréhension du fonctionnement du réseau





# Merci de votre attention !

Jane MARCHAND

jane.marchand@g2elab.grenoble-inp.fr

Chiara IODICE

chiara.iodice23@hotmail.com







**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

Pause  
On se retrouve dans 45 min



# Comportement dynamique des réseaux de distribution incluant des convertisseurs d'électronique de puissance

Julia CHENE

Encadrants G2Elab : Nouredine HADJSAID, Jérôme BUIRE

Encadrants Enedis : Xavier LEGRAND

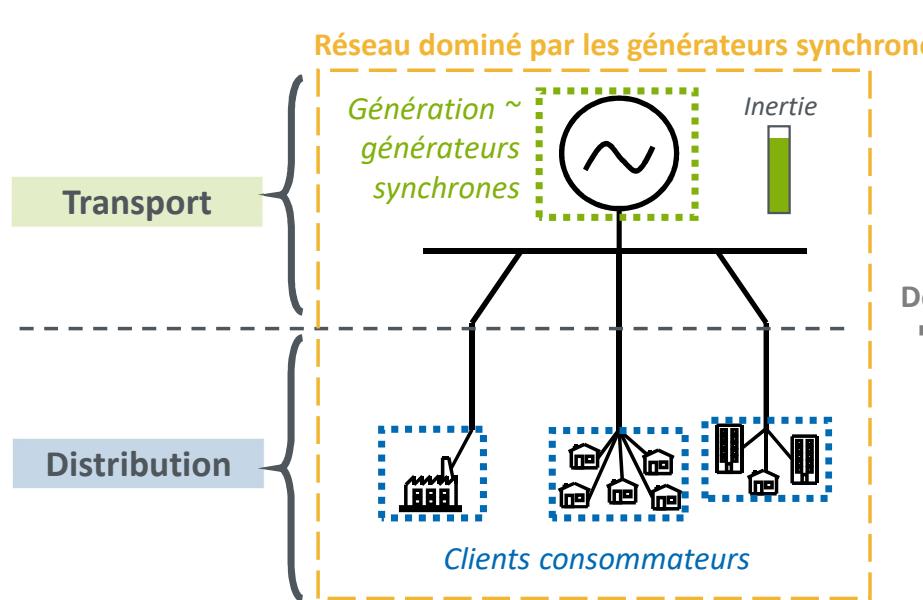


# Comment généraliser un résultat d'une étude de stabilité sans connaître la cause sous-jacente des instabilités ?

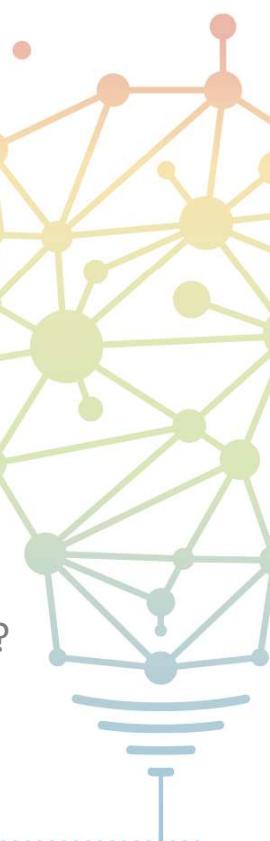
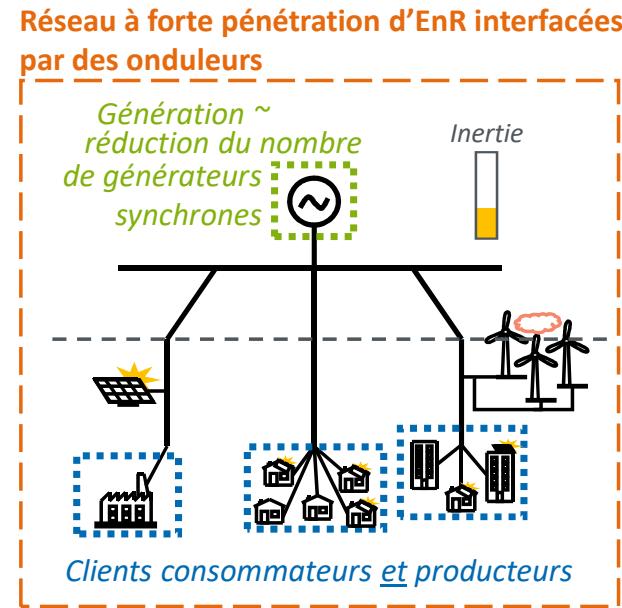


# Contexte

GRT : Gestionnaire de Réseau de Transport  
 GRD : Gestionnaire de Réseau de Distribution  
 EnR : Energie Renouvelable



Décentralisation



- Doit-on déplacer la responsabilité de la stabilité du GRT vers une stabilité partagée entre les gestionnaires ?
- Est-il encore possible de dissocier les acteurs si la production se déplace vers le réseau de distribution ?
- Comment le rôle du GRD est amené à s'étendre dans ce contexte ?

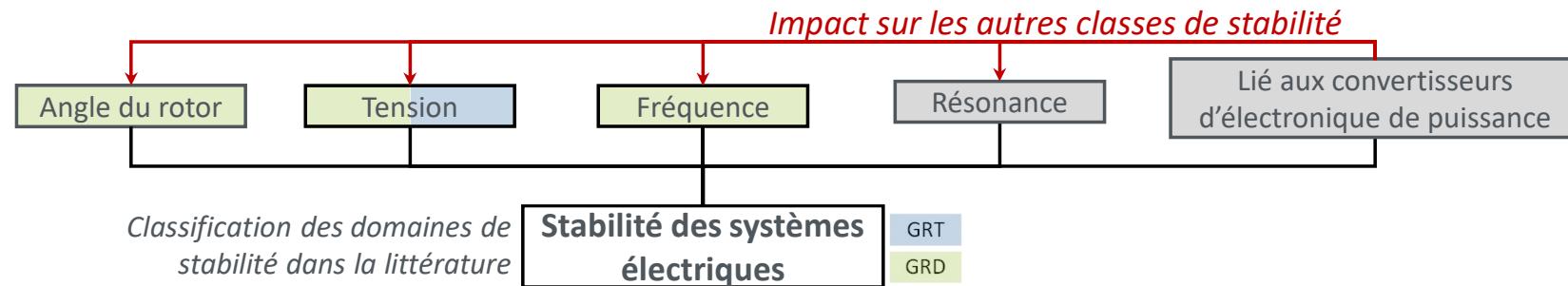


Comment généraliser un résultat  
d'une étude de stabilité sans  
connaître la cause sous-jacente  
des instabilités ?





# Etude bibliographique



« Such sub-synchronous oscillations have not been completely eliminated and the source identification and potential solution are still under study. »

Article publié en 2023 [2]

- Réseau West West Murray Zone, Australie
- Dominé par les EnR
- Enregistrement d'oscillations depuis 2016

« Worldwide technical literature and continuous monitoring and studies performed by ENTSO-e experts have identified the following factors as important : [...] »

Rapport diffusé en 2025 [1]

- Réseau de la péninsule ibérique, Espagne et Portugal
- Forte pénétration d'EnR
- Black-out le 28 avril 2025



→ Conclusion – on ne sait pas bien définir la cause de ces phénomènes

[1] Grid Incident in Spain and Portugal on 28 April 2025; ICS Investigation Expert Panel, 2025.

[2] Arraño-Vargas, F.; Jiang, S.; Bennett, B.; Konstantinou, G. Mitigation of Power System Oscillations in Weak Grids with Battery Energy Storage Systems: A Real-World Case Study. *Energy* **2023**, *283*, 128648.

Comment généraliser un résultat  
d'une étude de stabilité sans  
connaître la cause sous-jacente  
des instabilités ?





# L'enjeux pour le GRD

## Son rôle :

La distribution et de la gestion de l'énergie, des sources de production aux consommateurs finaux

- Acheminement – garantir la continuité et la qualité de l'alimentation
- Maintenance – investissement pour modernisation et sécurité
- Raccordement – nouveaux clients, intégration de la production décentralisée
- Transmission de données de consommation

87% en 2021

- Le GRD doit gérer du dimensionnement et l'intégration de cette nouvelle production à l'échelle de son réseau
- Garantir son comportement à l'interface transport et distribution

Tous les réseaux de distribution sont différents

*Le cas par cas n'est pas idéal*

→ Il lui faut un critère général qui fonctionne pour tous les raccordements le plus simple à mettre en place





Comment généraliser un résultat  
d'une étude de stabilité sans  
connaître la cause sous-jacente  
des instabilités ?



# Méthodologie

Méthode traditionnelle – Construire des modèles basés sur les modes électromécaniques des générateurs synchrones

« Traditional methods, such as simulations, need to be complemented [...] in order to better analyze the dynamic interactions of converter dominated power systems. »

[Mitigation of Power System Oscillations in Weak Grids with Battery Energy Storage Systems: A Real-World Case Study](#)

Notre proposition :

Prendre le problème dans l'autre sens → Compléter un modèle dynamique par dynamique

Partir d'un modèle dynamique élémentaire des équipements et compléter le modèle équation par équation

- Identifier quelle équation fait apparaître une interaction ou un phénomène d'instabilité
  - Définir quelle hypothèse est valide pour une étude de stabilité





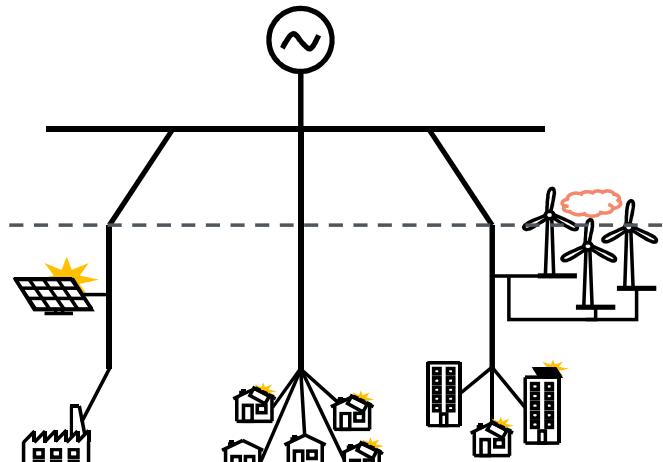
# Méthodologie

Les précédents travaux au G2Elab montrent :

- La boucle de courant et la PLL peuvent souvent contribuer à des modes instables

Réseau à forte pénétration d'EnR interfacées par des onduleurs :

Historiquement : point de départ – dynamique électromécanique des machines



Notre méthodologie : point de départ – dynamique des onduleurs

→ Le contrôle des onduleurs – Un point de départ



# L'exemple du GFM

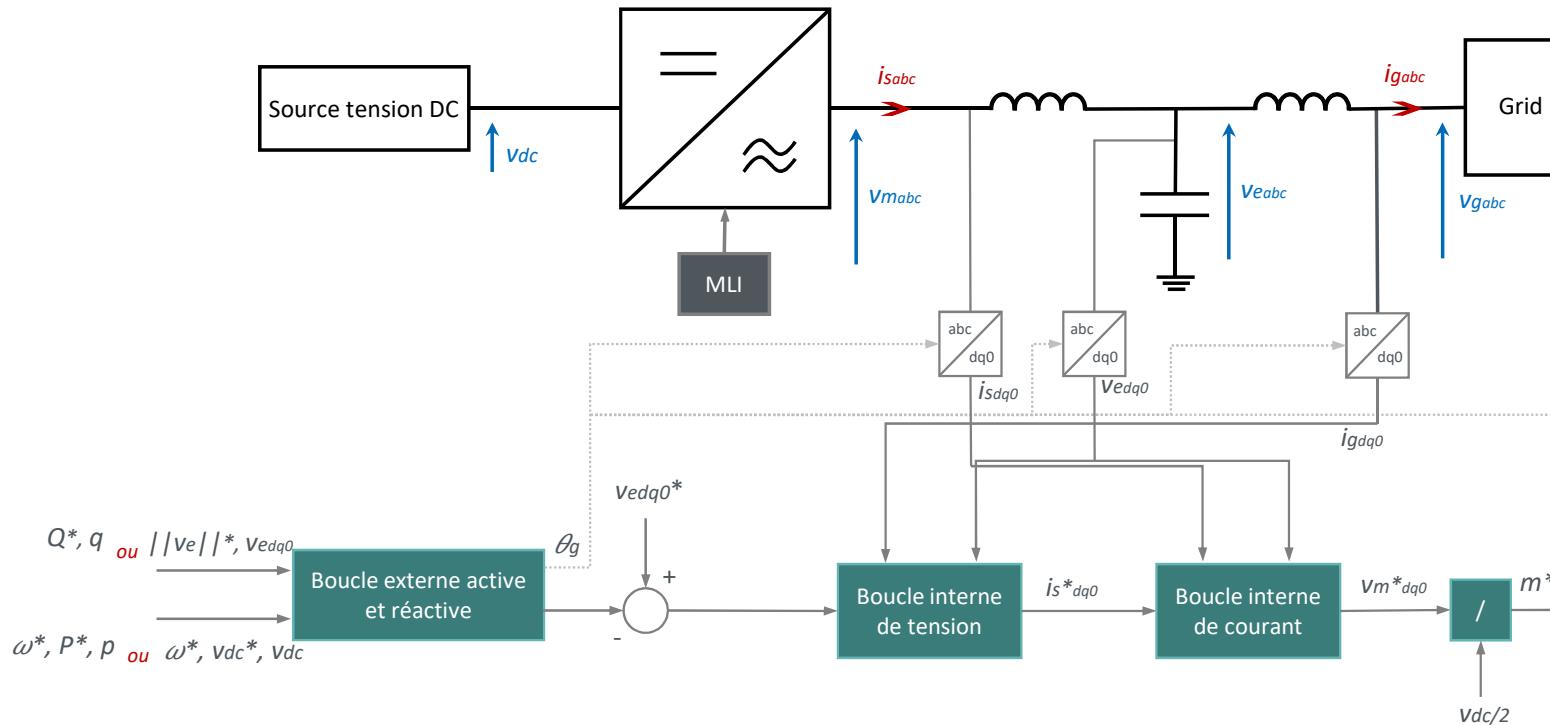
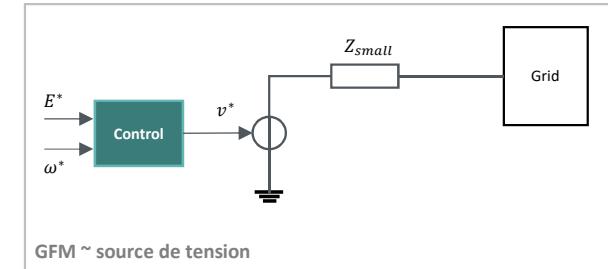
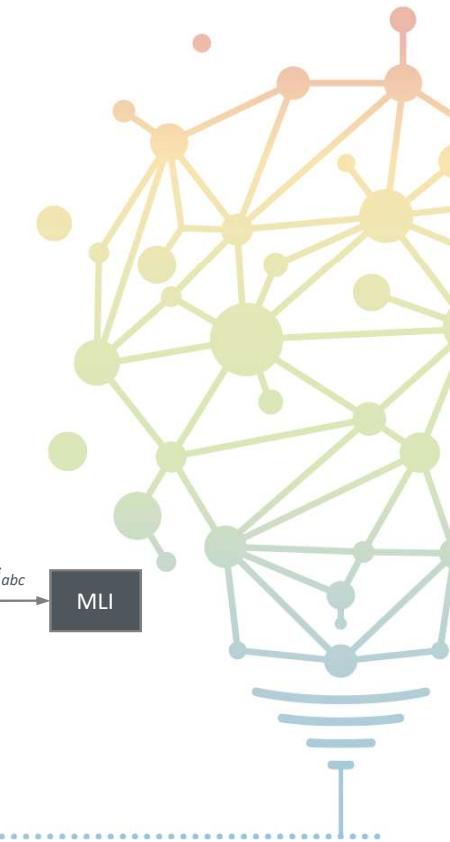
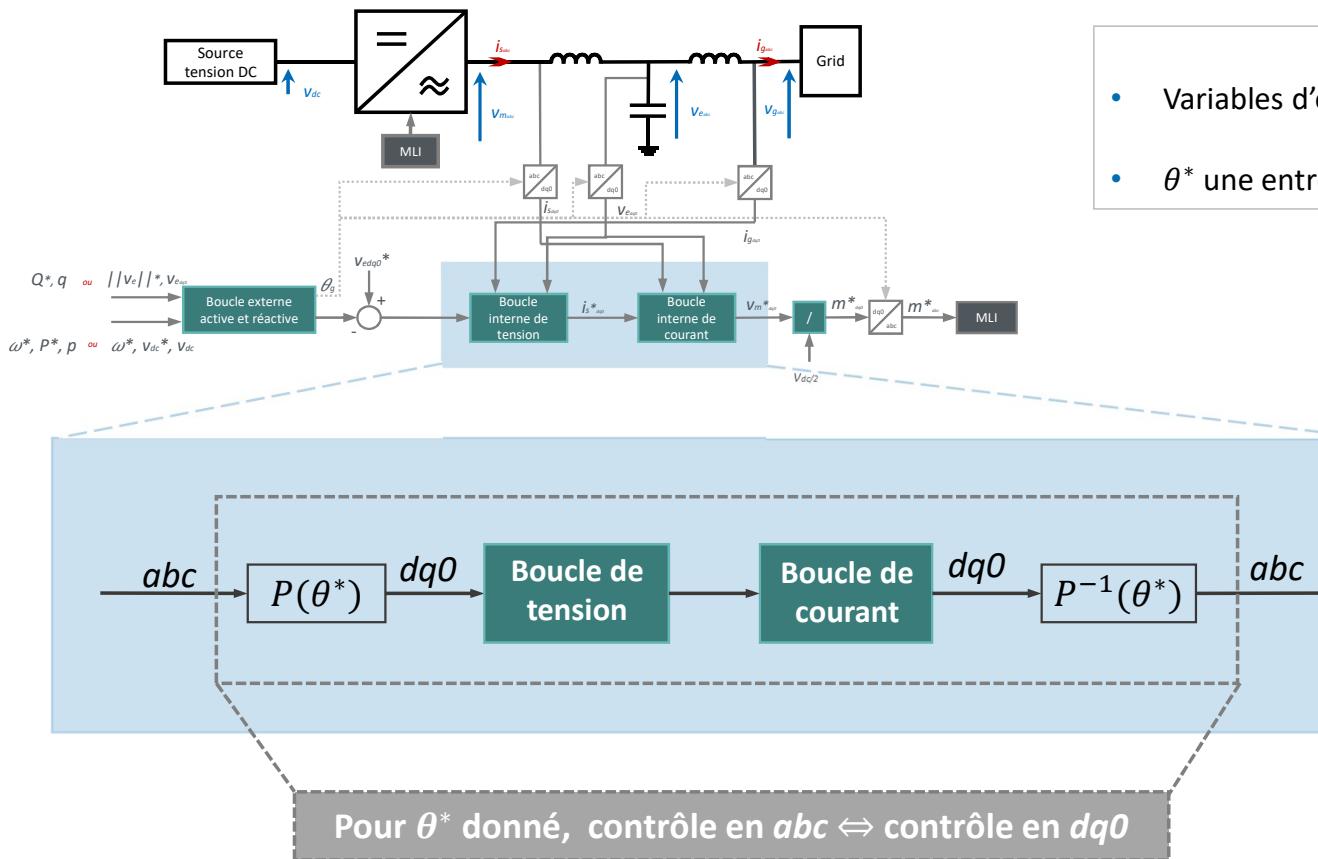


Schéma de l'onduleur Grid-Forming



# L'exemple du GFM



Modèles en coordonnées cartésiennes – abc

Variables d'état  
– physique du filtre de sortie

Modèle initial,  
trois axes abc  
découplés

Ajout de la boucle de tension

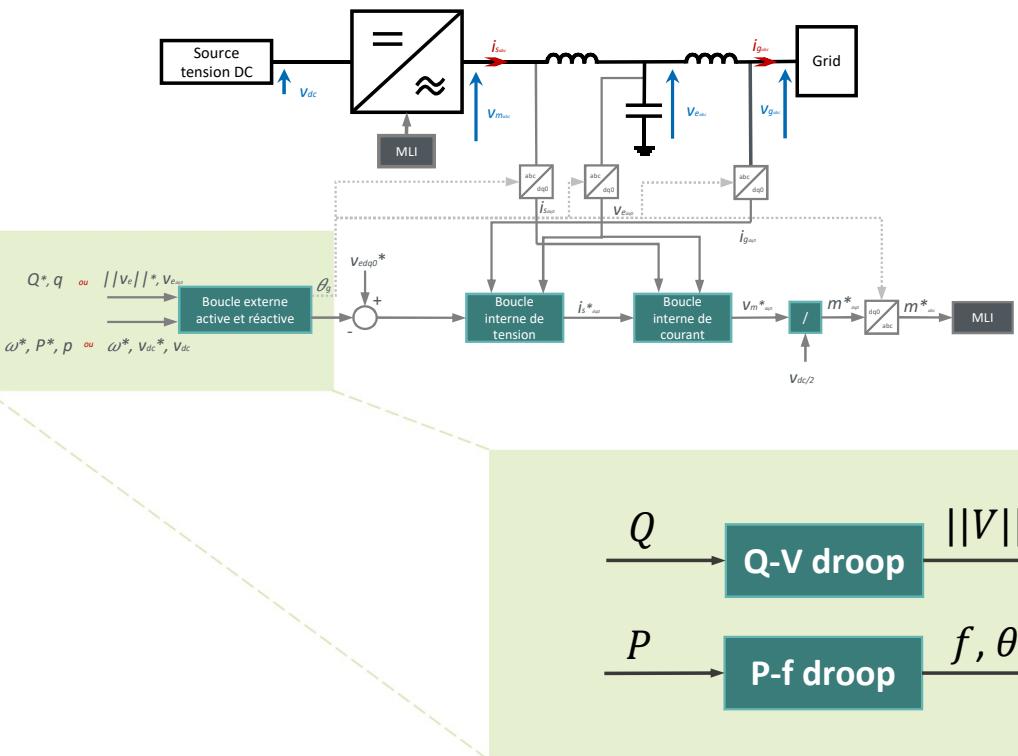
Variables d'état  
– physique du filtre de sortie +  
contrôle de  $V$

Ajout de la boucle de courant

Variables d'état  
– physique du filtre  
de sortie + contrôle  
de  $V, I$

→ Repère cartésien – référence abc

# L'exemple du GFM



→ Repère polaire – référence amplitude/phase

Modèles en coordonnées polaires –  $|V|, \theta$

Modèle DC en amplitude  
Variables d'état  $-|V|$

Variables d'état  $-\theta, |V|$   
Modèle AC en amplitude et phase découpés

Variables d'état  $-\theta, V$  et  $\omega$   
Modèle AC en amplitude et phase + inertie

- Variables d'état :  $\begin{bmatrix} |V| \\ \theta \\ \omega \end{bmatrix}$
- $\theta^*$  n'est plus une entrée

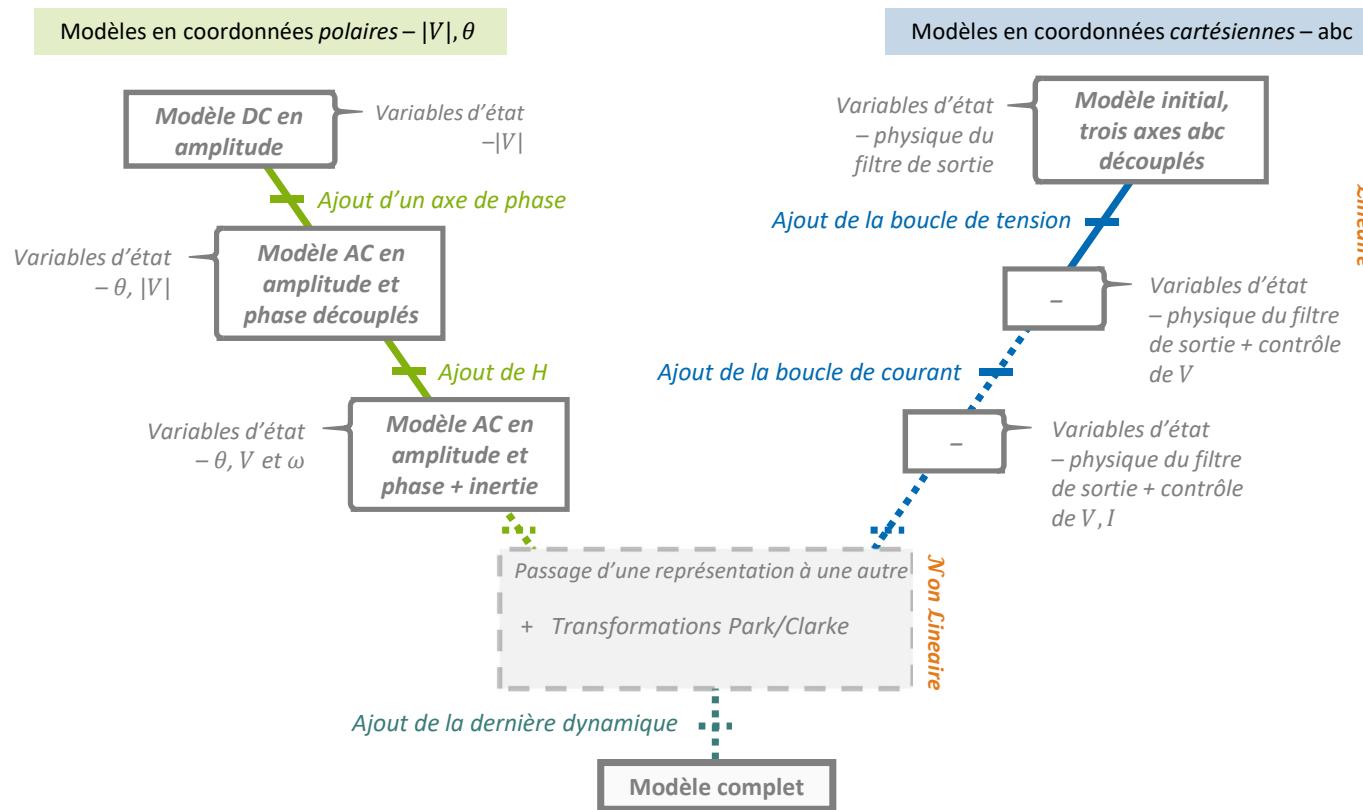


Dynamique de l'amplitude

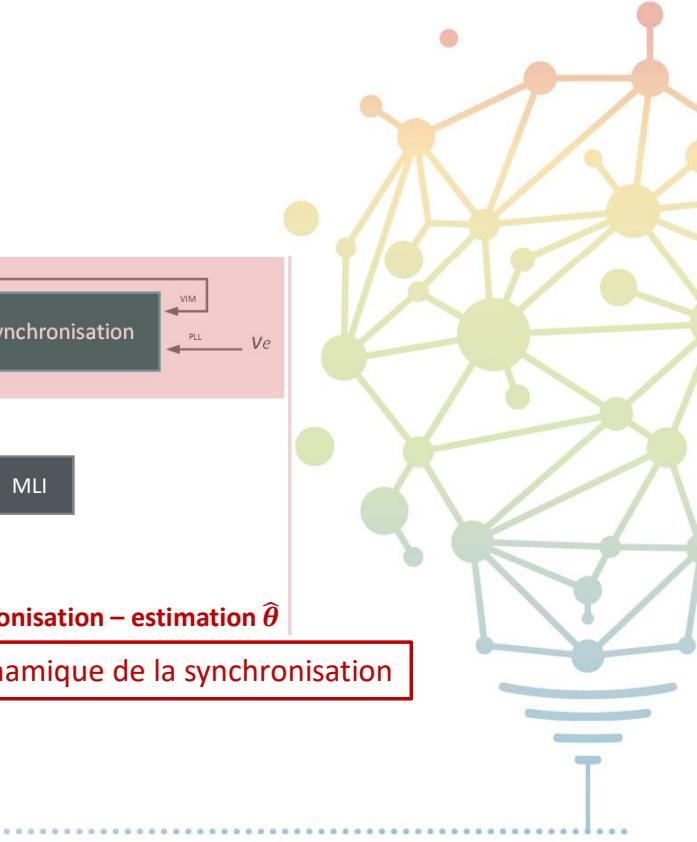
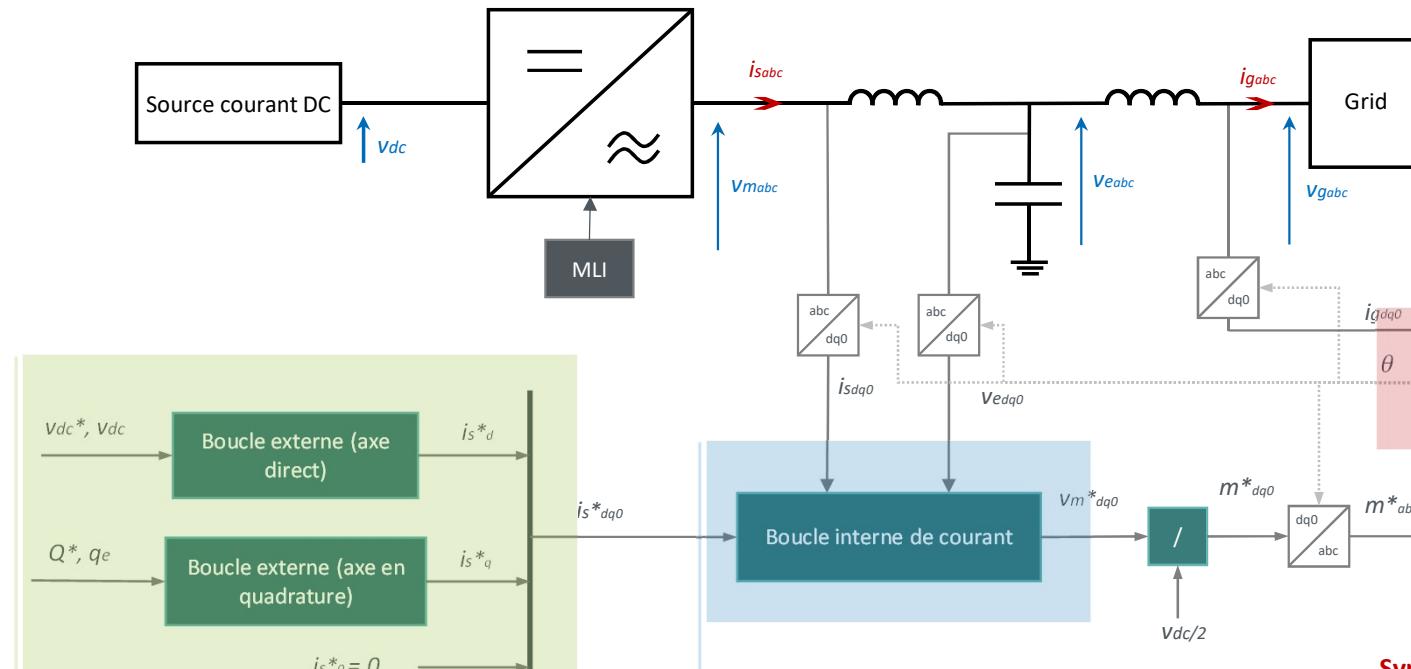
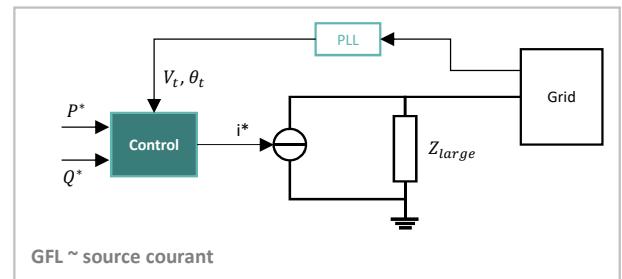
Dynamique de la phase  
(- dynamique de la fréquence)

# Méthodologie

## *Méthode – Modéliser en ajoutant dynamique par dynamique*



# L'exemple du *GFL*



# Conclusion

La présence croissante des onduleurs modifie la stabilité des réseaux

DONC :

## Identifier les causes

- ❖ Il est nécessaire de mettre en évidence les causes et de les quantifier
- ❖ La marge de stabilité d'un système dépend du niveau de précision de son modèle

## → Optimiser la stabilité

- ❖ Le contrôle doit tenir compte des paramètres critiques de la stabilité pour les mitiger

## → Contribution du GRD aux problèmes de stabilité

- ❖ Comprendre les sources d'instabilités des réseaux de distribution
- ❖ Le GRD est amené effectuer des études de stabilité pour dimensionner le raccordement des EnR et modéliser les dynamiques de son réseau

## → Conclusion – définir ce que doit savoir le GRD pour intégrer des EnR à son réseau avec le moins de risque d'instabilité



# Perspectives

## A court/moyen terme

- ❖ Concevoir et Développer les modèles intermédiaires
- ❖ Examiner les modèles à l'échelle de l'équipement
  - ❖ *Quantifier la contribution d'un équipement à la stabilité locale/globale*
- ❖ Intégrer la variabilités du réseau de transport et des charges

## A long terme

- ❖ Peut-on qualifier un GFL de négatif/neutre/positif pour la stabilité ?
- ❖ Est-ce que leur coordination peut avoir un intérêt ?





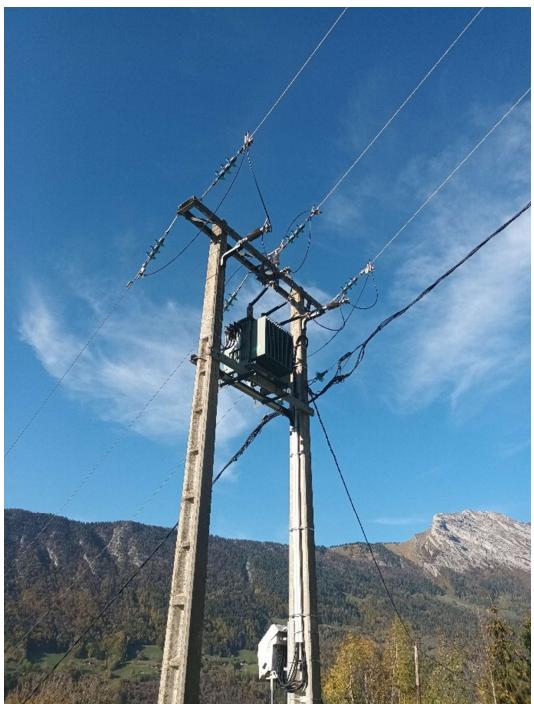
**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

# Merci de votre attention !

Julia CHENE

julia.chene@g2elab.grenoble-inp.fr





*« Analyse de nouvelles architectures informatiques de conduite des réseaux de distribution mettant en œuvre des fonctions intelligentes centralisées et réparties »*

Journée de la chaire – 06/11/2025

Paul Enjolras

Encadrants G2Elab : Nouredine Hadjsaid, Yvon Besanger, Jonathan Coignard

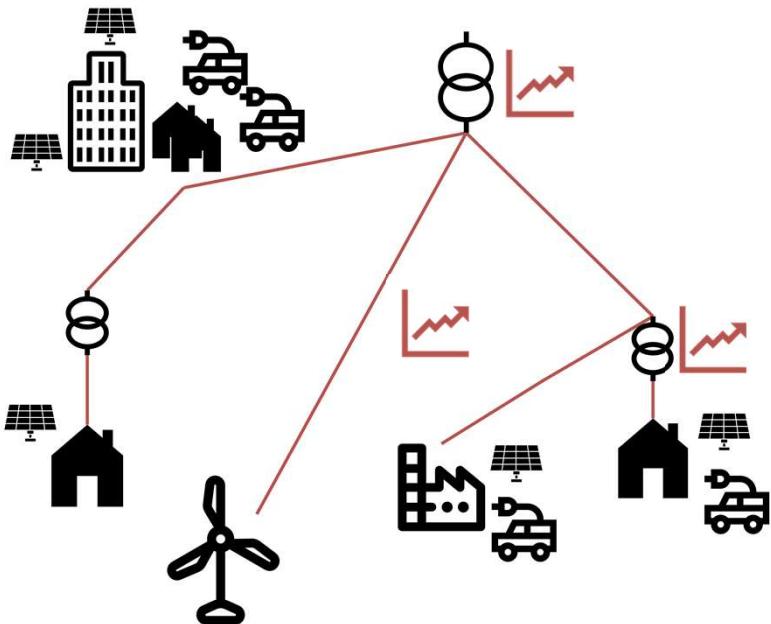
Encadrants EDF : Van Hoa Nguyen

Encadrants Enedis : Marc Chapert, Alexandra Krings



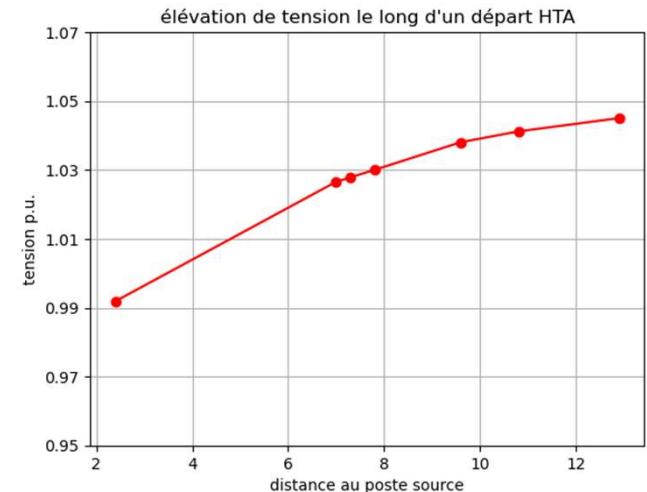
# Contexte

- Electrification des usages ⚡
- Raccordement des producteurs d'énergie renouvelables ☀️



Apparition de contraintes

*Ex : Tension haute :*



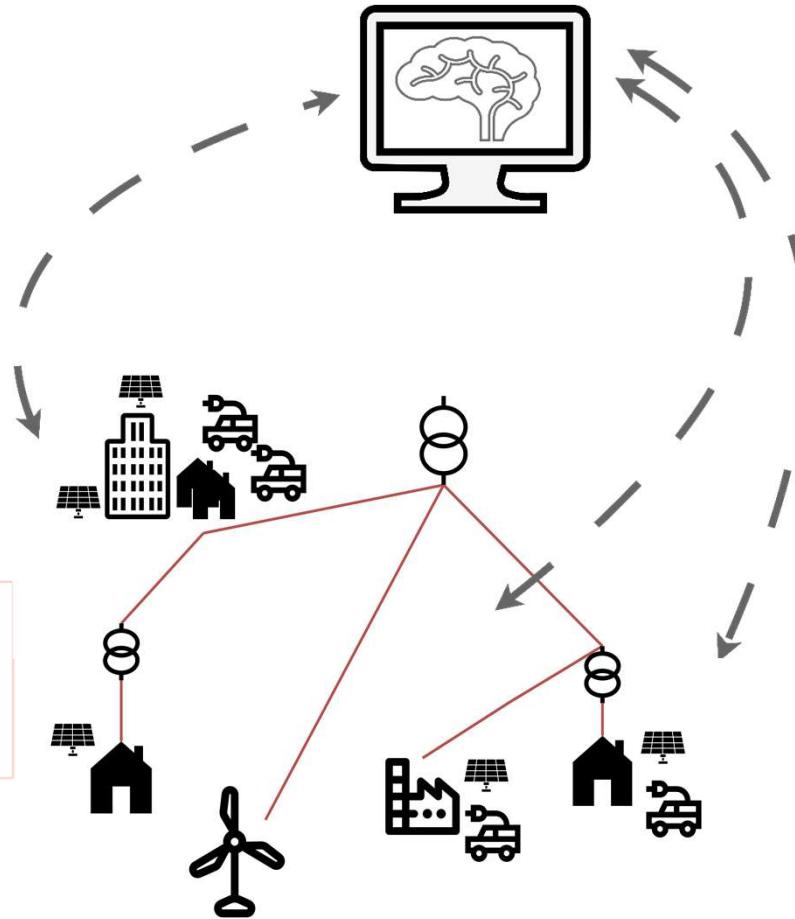
Source: Enedis Open Data

# Contexte

- Pilotage **centralisé** du réseau



- Situation de « single-point-of-failure »
- Centralisation importante des données



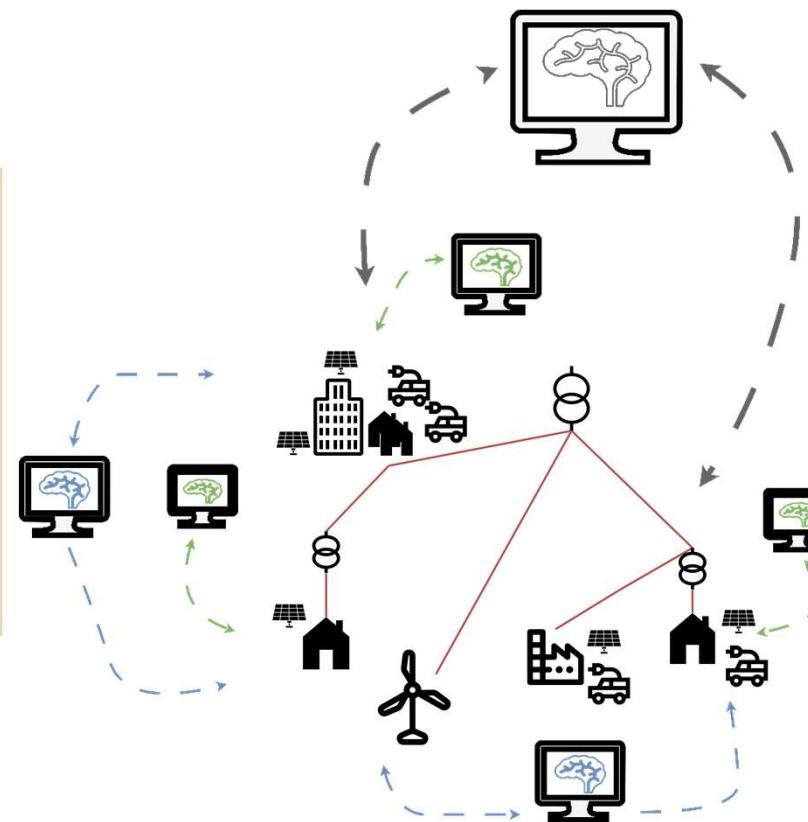
Source: Enedis Open Data

# Challenges scientifiques

- Définir une architecture de pilotage **résiliente**, qui mèle **plusieurs modes de pilotage** (centralisés, décentralisés, locaux... ?)



- Quel(s) niveau(x) de décentralisation (poste source, départ HTA, poste HTA/BT...) ?
- Qu'est ce qu'on pilote (pilotage P/Q d'onduleurs, prises de transformateurs...) ?
- Comment coordonner les différentes « couches » de pilotage entre elles ?
- Dans quelle situation utilise-t-on un mode de pilotage ou un autre ?

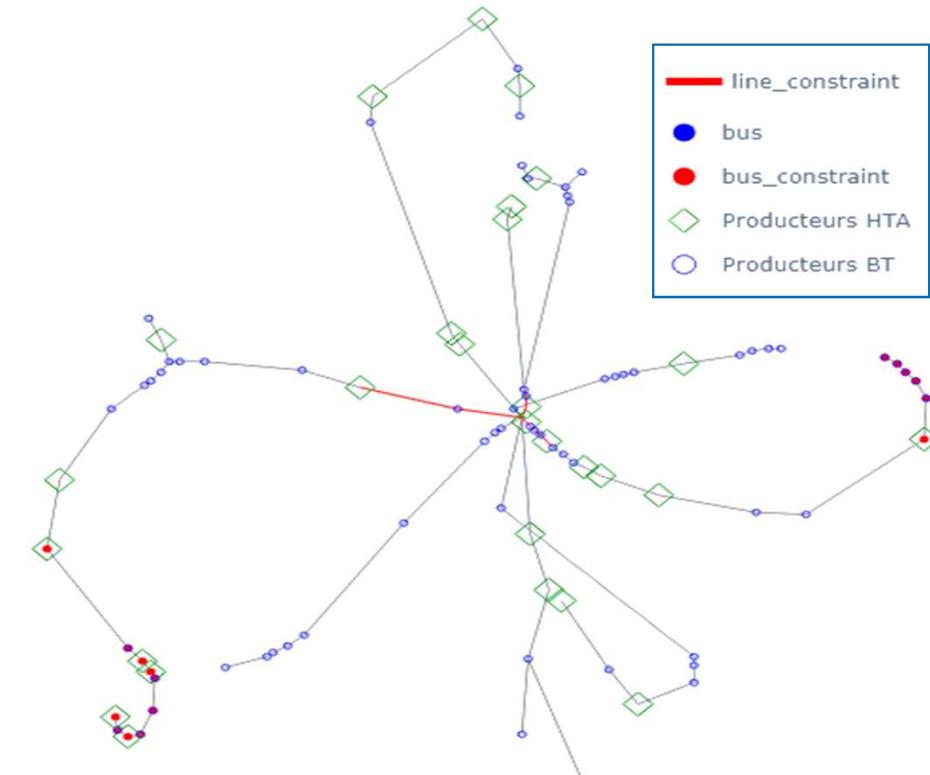


# Méthodologie

- Modélisation algorithmique en Python

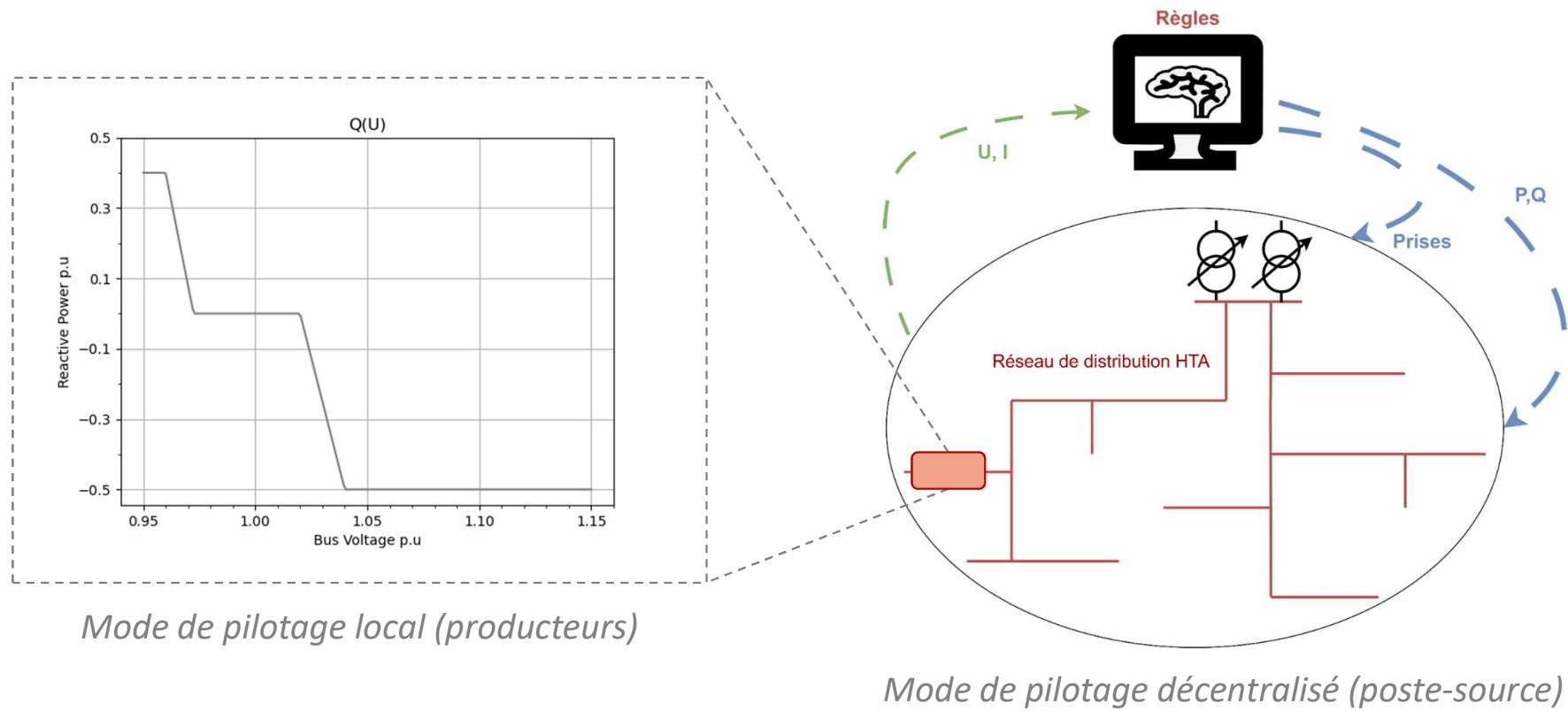


- Modèle de réseau simplifié V0 (Simbench) et profils de charges représentatifs (15min)
- Algorithme de PowerFlow (Pandapower)
- Algorithme de pilotage (Local & décentralisé)



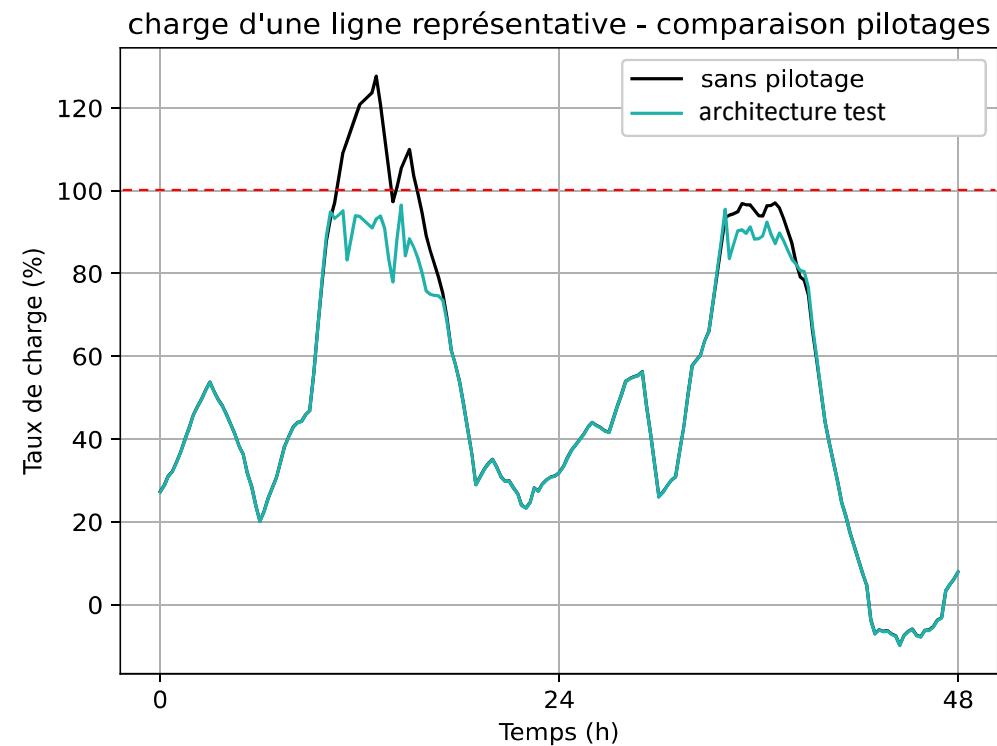
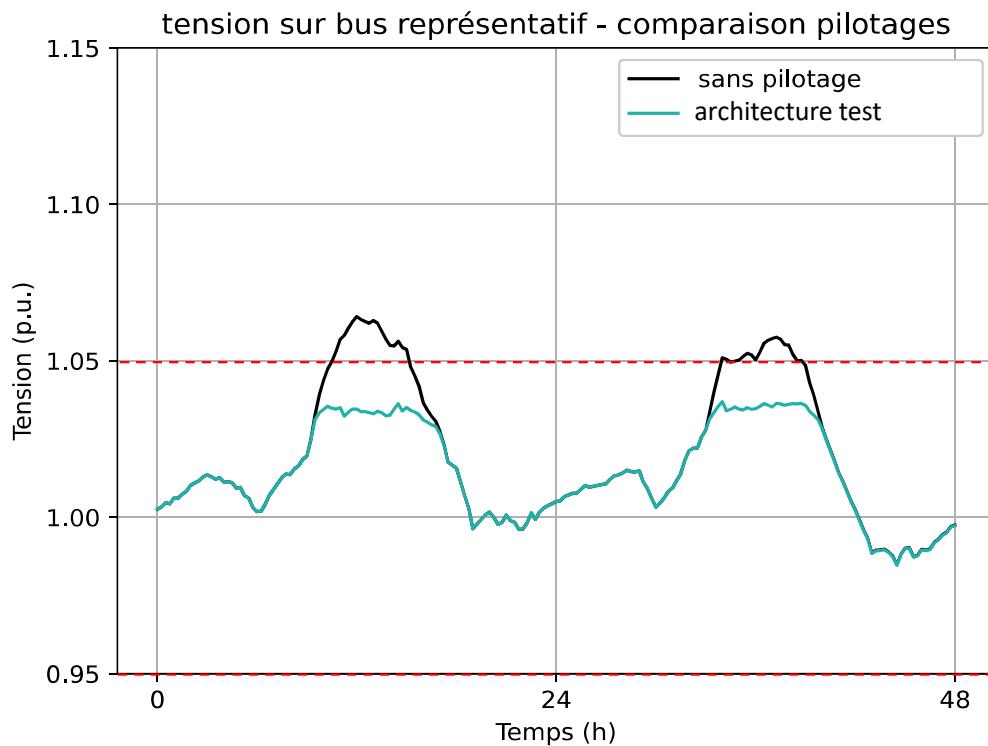
# Méthodologie

- Architecture à l'étude :



# Résultats

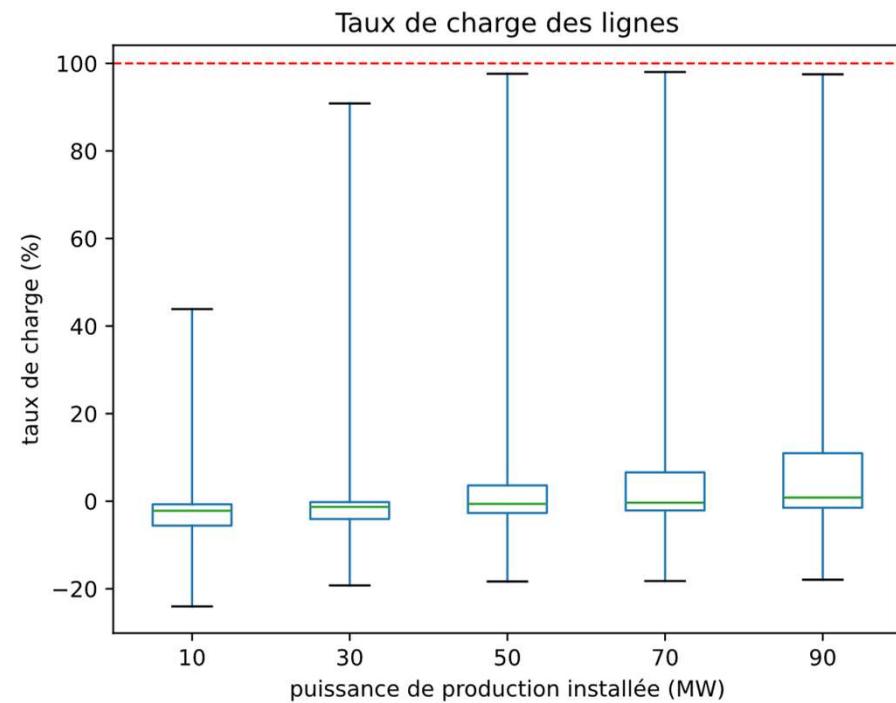
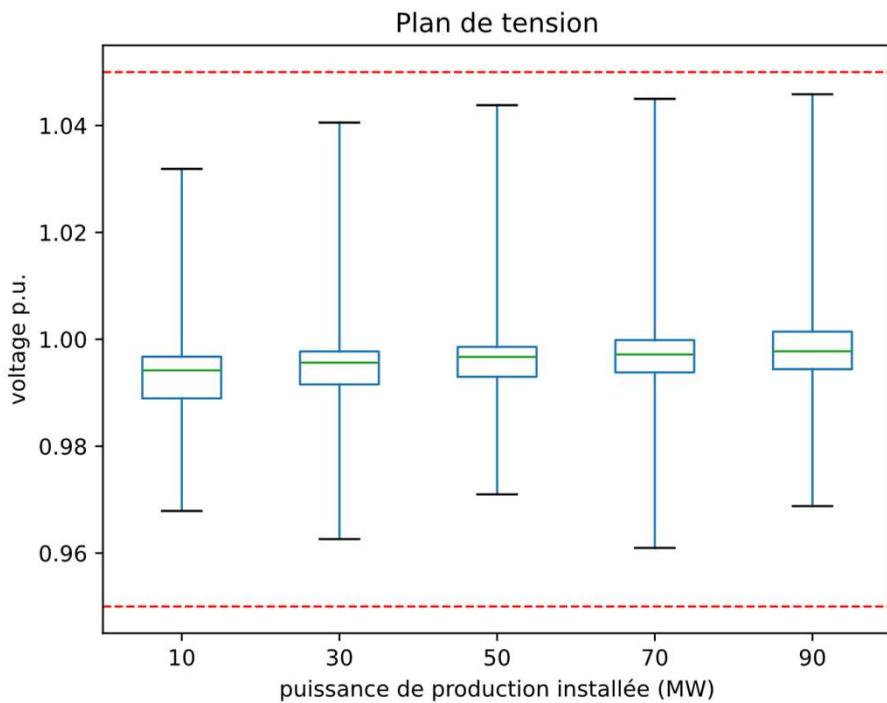
- Analyses temporelles – Comparaison d'architectures



➤ Pertinence de l'architecture étudiée pour faire respecter des seuils de contraintes électriques

# Résultats

- Analyse statistique – Augmentation du taux de pénétration de producteurs renouvelables



➤ Robustesse de l'architecture étudiée vis-à-vis d'une pénétration renouvelable importante



# Perspectives

- Continuer à étudier la pertinence et la robustesse des architectures imaginées :
  - Test avec d'autres réseaux (Français ? ), d'autres profils de charge et production...
  - Nombre minimum d'équipements communicants/pilotables ?
  - S'inscrire dans des cas d'études réalistes
  
- Mener des études de stabilité notamment pour le pilotage local
  - Problème de convergence / instabilité ?
  - Risque de maintient en réseau séparé ?





**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP



# Merci de votre attention !

Paul ENJOLRAS

[Paul.enjolras@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:Paul.enjolras@g2elab.grenoble-inp.fr)





# Modélisation de séries temporelles de consommation à l'échelle locale en utilisant des données hétérogènes.

Muhammad Salman SHAHID

Encadrants G2Elab : Benoît DELINCHANT

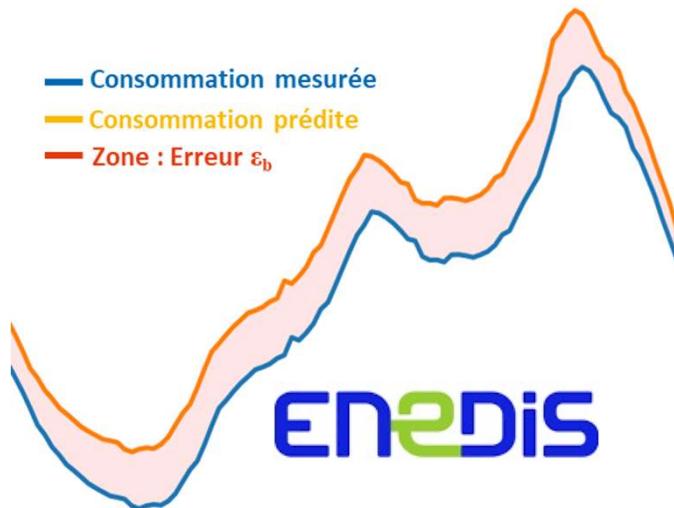
Encadrants Enedis : Anne DE MOLINER, Pierre CAUCHOIS, Luc RODRIGUEZ et Thomas LÉVY

Remerciements : Frédéric WURTZ, Xavier ARNAULD DE SARTRE





SmartGrids  
BY FONDATION GRENOBLE INP



Prévision du futur et  
l'estimation du passé à  
l'échelle locale de  
consommations électriques,  
à partir de panels  
représentatifs de clients

Echelle locale : Régions, départements, communautés d'agglomérations

## Contexte (1/2)



Maintenance de réseau



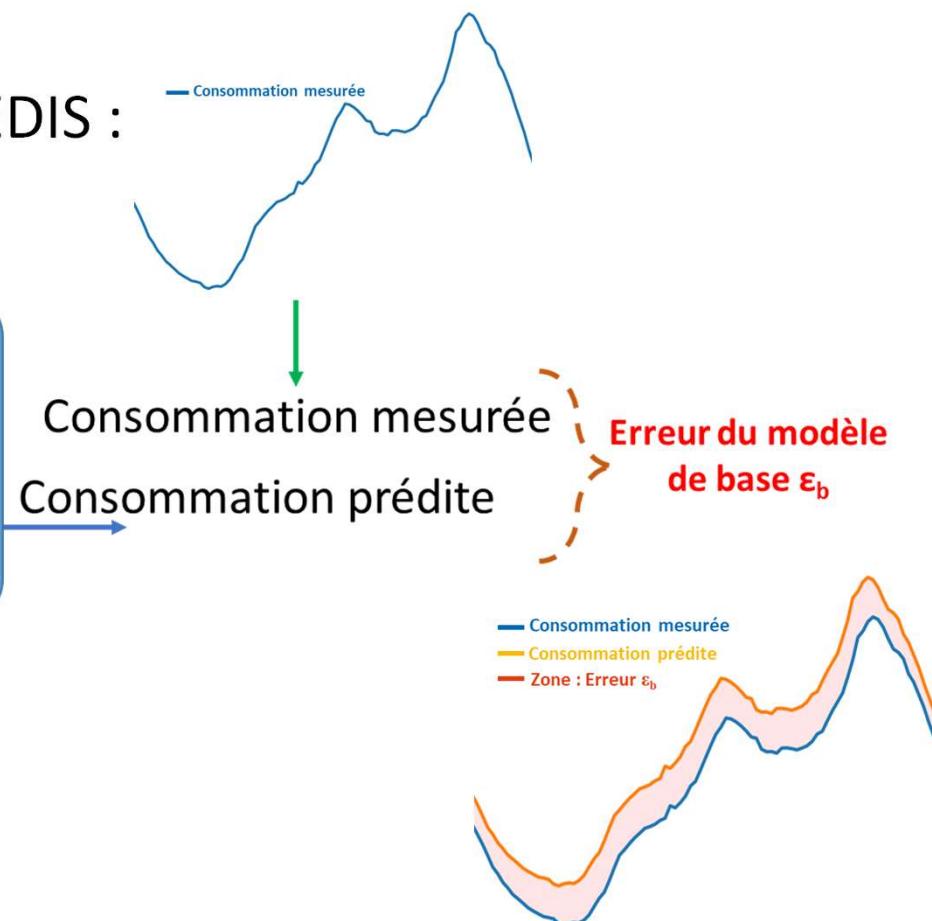
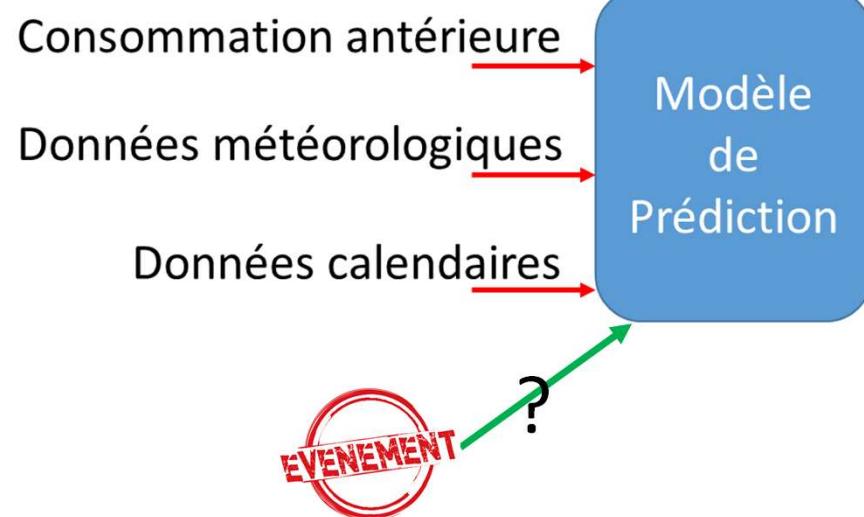
Transition énergétique





## Contexte (2/2)

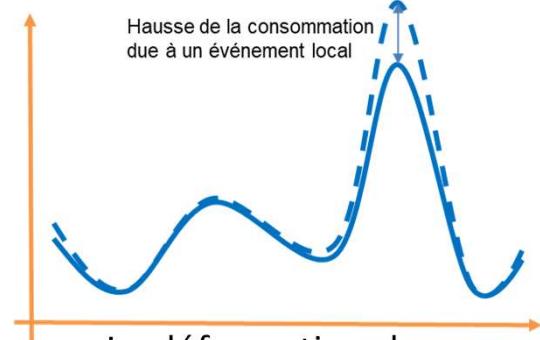
- Les prévisions actuelles d'ENEDIS :



# Pourquoi au niveau local ?



Peu de foisonnement : à cette échelle, la consommation est directement impactée par des activités humaines difficilement prédictibles par les approches classiques.



La déformation des consommations induite par le déroulement d'un grand évènement.

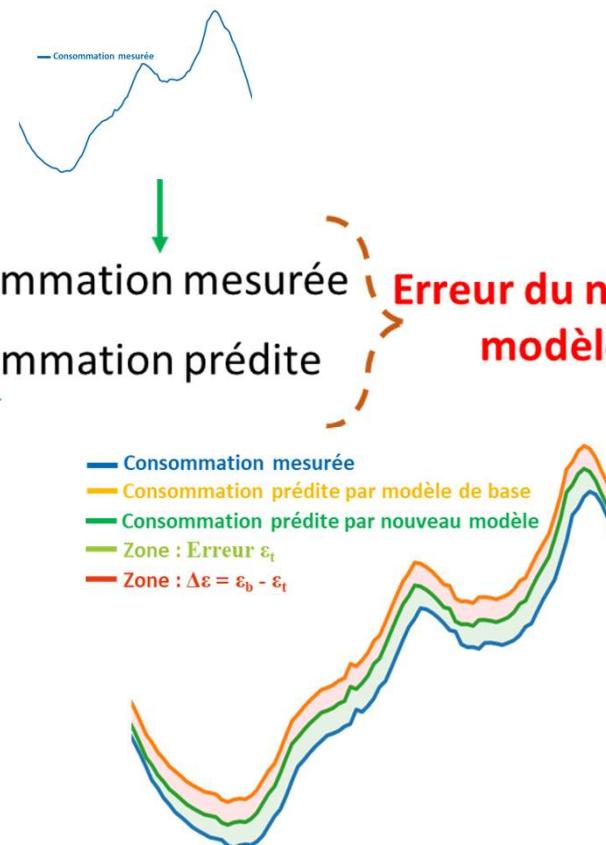
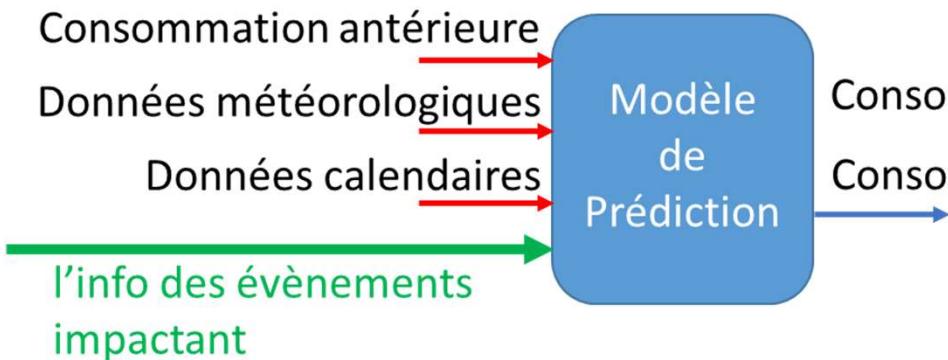




# Objectif

- À l'échelle locale:

- Amélioration du modèle de base en incorporant l'info des évènements impactant sur la consommation locale.



# Case d'étude – 3 métropoles de la France



■ Grenoble, Isère, France ■ Lyon, Métropole de Lyon, France ■ Paris, France

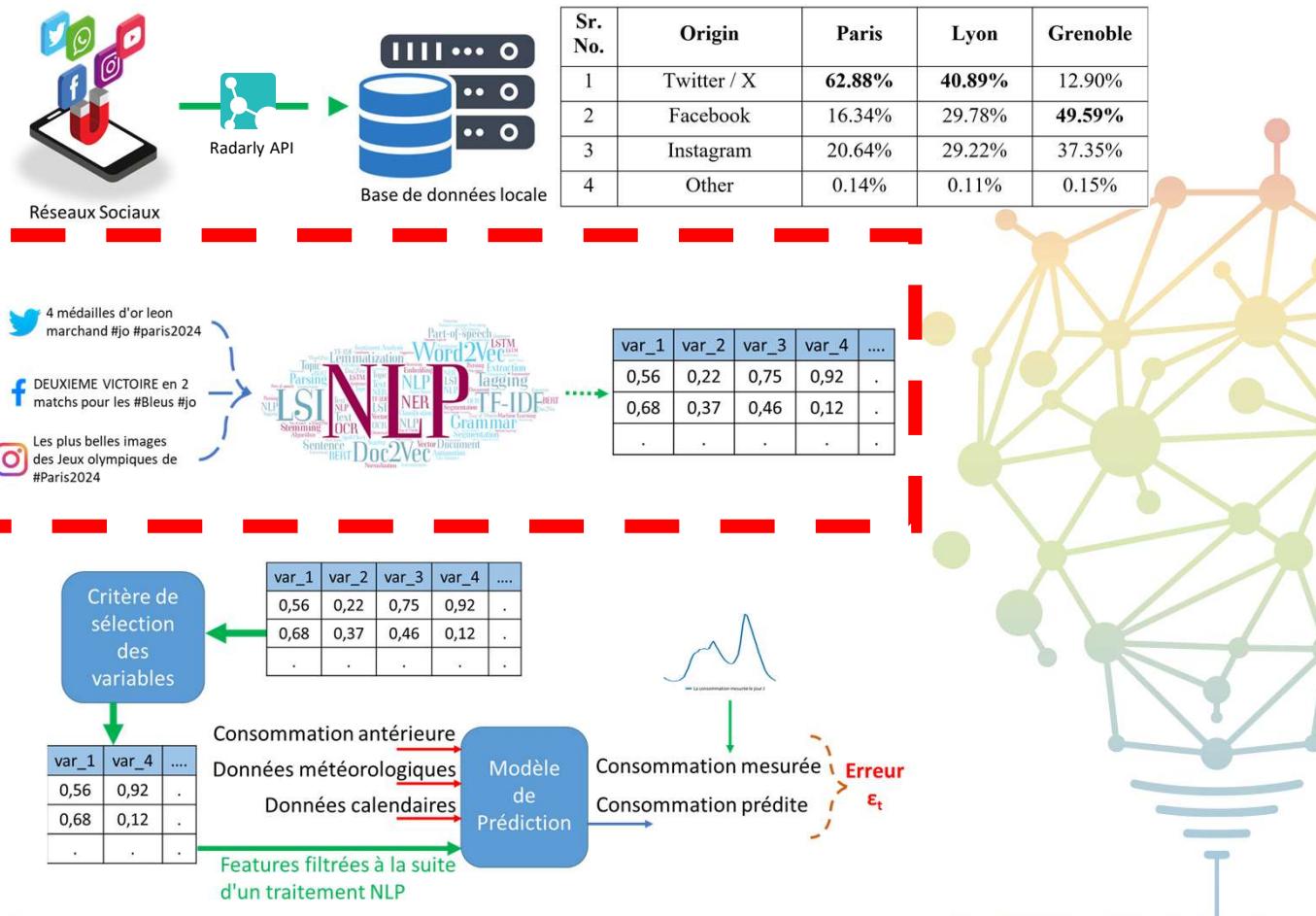
Créé avec Datawrapper



1. Mise en place de la chaîne **d'extraction automatique, transformation et stockage** de données de **réseaux sociaux**
2. Construction de **variables explicatives** à partir des données de **réseaux sociaux** par des méthodes de TAL\*
3. **Sélection** et d'intégration de variables pour l'amélioration des modèles

TAL = NLP : Natural Language Processing  
(traitement automatique des langues)

## Méthodologie



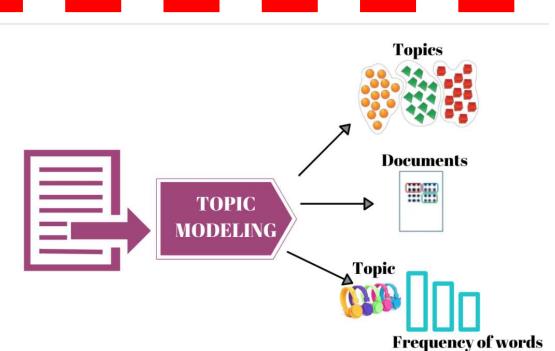


# Des approches pour la construction des variables grâce à TAL

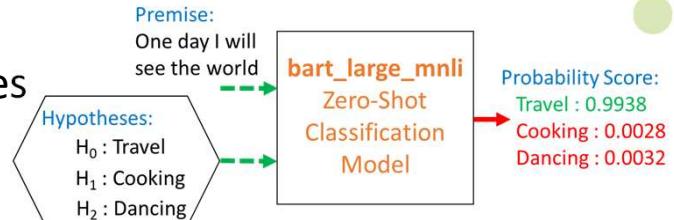
Apple ORG today DATE announced the second QUANTITY generation iPhone SE COMM a powerful new iPhone COMM featuring a 4.7- inch QUANTITY Retina HD display.

**1. Reconnaissance d'entités nommées (NER) :**  
Identifie des catégories prédéfinies d'objets dans un corps de texte

**2. Modèles thématiques (LDA):** permet de regrouper des données textuelles par le biais de groupes de mots.



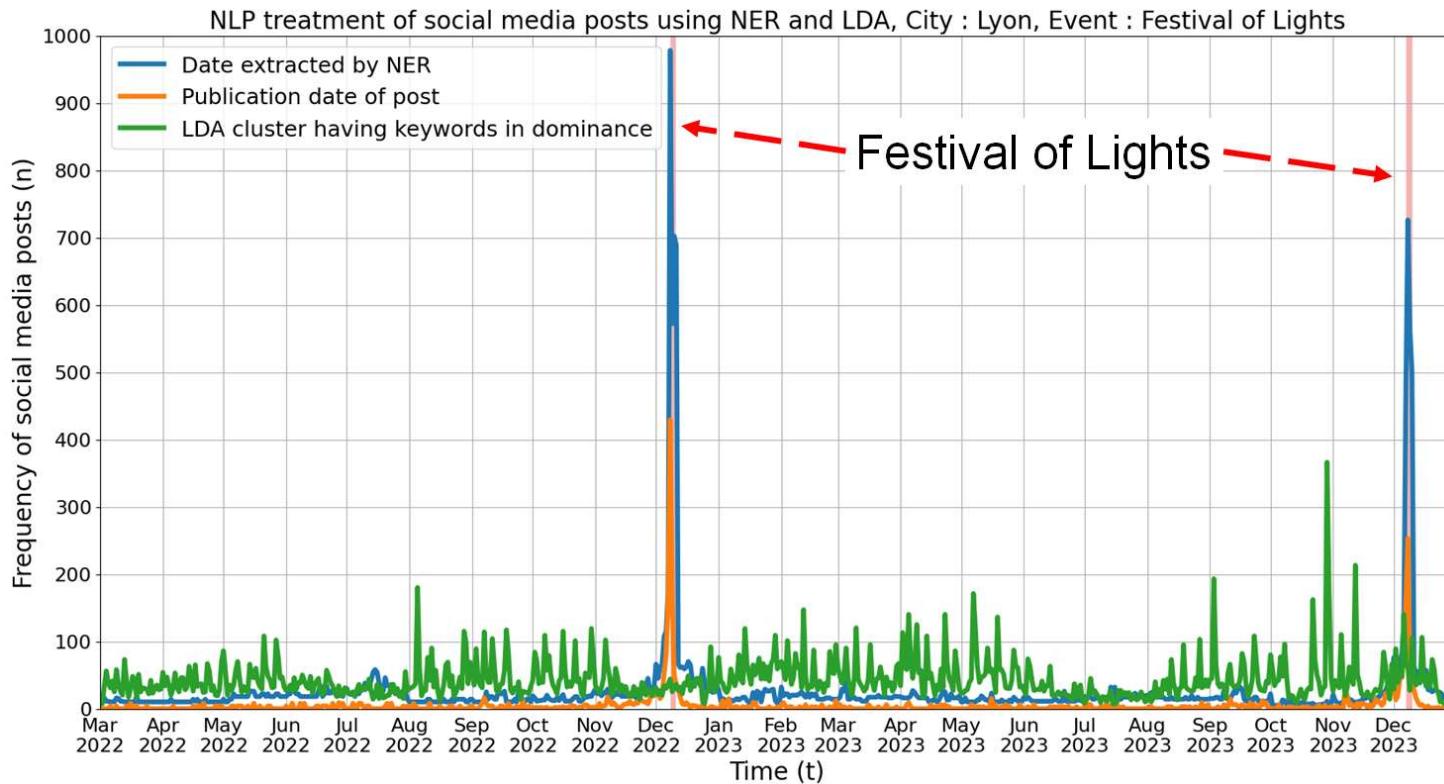
**3. L'apprentissage zero-shot (ZSL):** Un modèle d'IA pré-entraîné catégorise des textes sans avoir vu d'exemples de ces catégories au préalable.



TAL = NLP : Natural Language Processing (TAL – traitement automatique des langues)

NER : Named Entity Recognition , LDA : Latent Dirichlet Allocation , ZSL : Zero-shot learning

# La série temporelle construites par NER et LDA



**Orange :** Les textes ayant le mot-clé principal

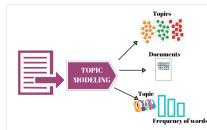
**Bleue (NER) :** Les textes ayant soit le mot-clé principal, ou la date d'évènement ou un mot-clé associé

**Verte (LDA) :** Clustering par méthode non-supervisée, intitulée, Latent Dirichlet Allocation



# La série temporelle construites par NER et LDA

Apple (red) today (green) announced the  
second (blue) generation iPhone SE (blue)  
a powerful new iPhone (blue) featuring  
a 4.7-inch (green) Retina HD display.



## Variation de l'erreur

### Racine de l'erreur quadratique moyenne (REQM)

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_b - \varepsilon_t$$

Type of NLP treatment and GAM function	Number of validated event variables	Significant variables	Improvement in RMSE (%)
Factorial (NER)	3	Football, Christmas, Light Festival	6.3
Linear (NER)	3	Christmas, Expo, Football	7.3
Factorial (Cluster)	3	Cluster (Christmas), Cluster (Football), Cluster (Concert)	6.2
Linear (Cluster)	2	Cluster (Football), Cluster (Festival)	3

Baisse de l'erreur par 7,3%

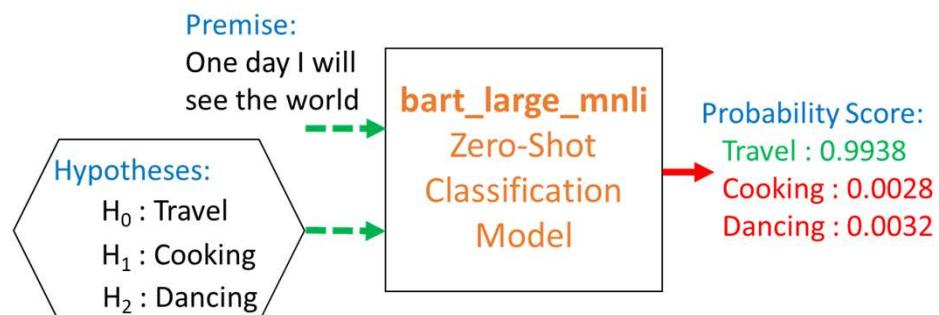




# Apprentissage zero-shot : Statistiques

Pourcentage d'étiquetage des textes par rapport à l'étiquette et à la ville

Sr. No.	Labels (in English)	Paris	Lyon	Grenoble
1	Football Match	1.18%	2.22%	1.06%
2	Rugby Match	0.69%	1.69%	1.40%
3	Electricity	1.22%	1.37%	1.69%
4	Energy Flexibility	0.31%	0.32%	0.46%
5	Energy Transition	1.80%	1.86%	2.23%
6	Energy Consumption	1.40%	1.22%	1.07%
7	Christmas	3.20%	4.82%	2.04%
8	Festival	<b>7.98%</b>	<b>10.02%</b>	<b>6.92%</b>
9	Covid-19	<b>9.77%</b>	<b>8.34%</b>	<b>9.50%</b>
10	Traffic Congestion	3.91%	3.79%	2.21%
11	Roland Garros	1.40%	0.07%	0.09%
12	Concert	4.25%	<b>7.00%</b>	4.21%
13	Strike	<b>5.54%</b>	4.05%	<b>9.19%</b>
14	Public Demonstration	<b>46.05%</b>	<b>44.00%</b>	<b>50.64%</b>
15	Olympic Games	3.30%	2.47%	0.32%
16	Innovation	2.30%	2.81%	3.68%
17	Others	5.68%	3.97%	3.30%



**L'apprentissage zero-shot (ZSL)**  
Un modèle d'IA pré-entraîné catégorise des textes sans avoir vu d'exemples de ces catégories au préalable.

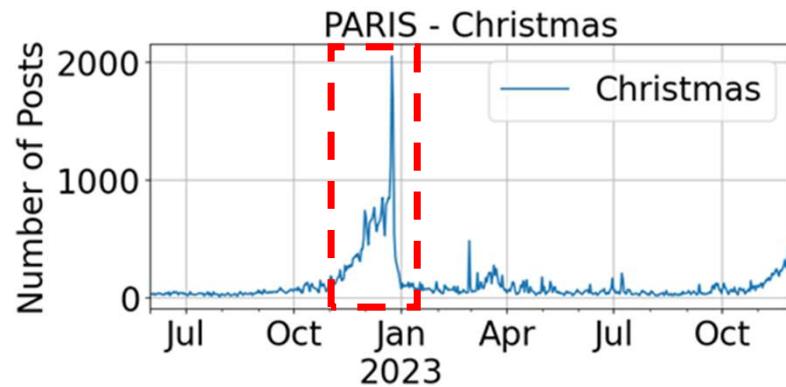




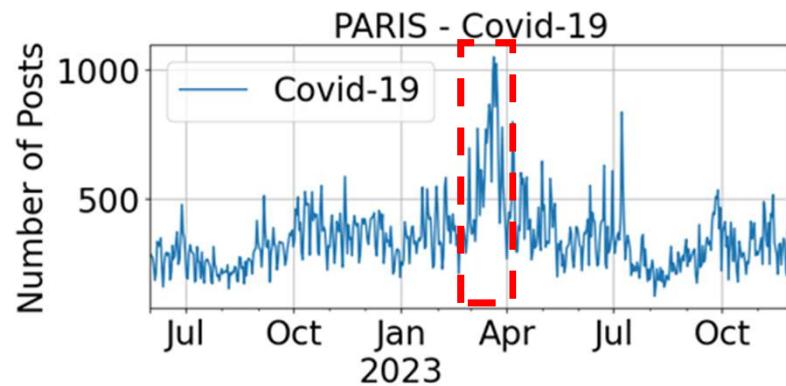
# Les séries temporelles construites par l'apprentissage zero-shot

Pourcentage d'étiquetage des textes  
par rapport à l'étiquette et à la ville

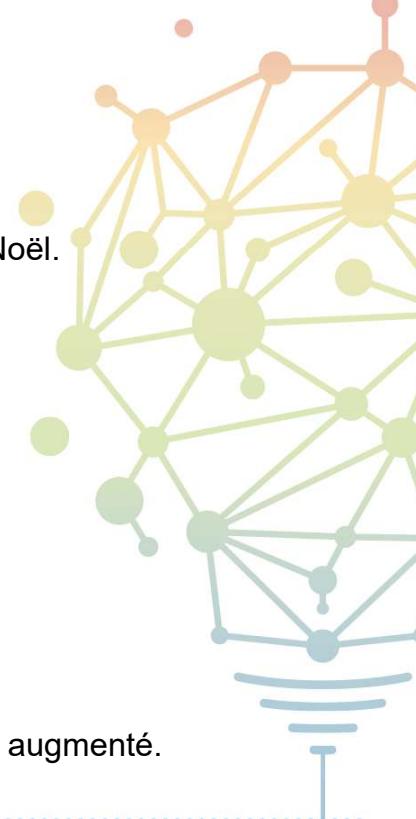
Sr. No.	Labels (in English)	Paris	Lyon	Grenoble
1	Football Match	1.18%	2.22%	1.06%
2	Rugby Match	0.69%	1.69%	1.40%
3	Electricity	1.22%	1.37%	1.69%
4	Energy Flexibility	0.31%	0.32%	0.46%
5	Energy Transition	1.80%	1.86%	2.23%
6	Energy Consumption	1.40%	1.22%	1.07%
7	Christmas	3.20%	4.82%	2.04%
8	Festival	<b>7.98%</b>	<b>10.02%</b>	<b>6.92%</b>
9	Covid-19	<b>9.77%</b>	<b>8.34%</b>	<b>9.50%</b>
10	Traffic Congestion	3.91%	3.79%	2.21%
11	Roland Garros	1.40%	0.07%	0.09%
12	Concert	4.25%	<b>7.00%</b>	4.21%
13	Strike	<b>5.54%</b>	4.05%	<b>9.19%</b>
14	Public Demonstration	<b>46.05%</b>	<b>44.00%</b>	<b>50.64%</b>
15	Olympic Games	3.30%	2.47%	0.32%
16	Innovation	2.30%	2.81%	3.68%
17	Others	5.68%	3.97%	3.30%



- L'impact de Noël est important de fin novembre jusqu'au jour de Noël.



- Un pic lié à la Covid-19 en mars 2023, lorsque le nombre de cas a augmenté.

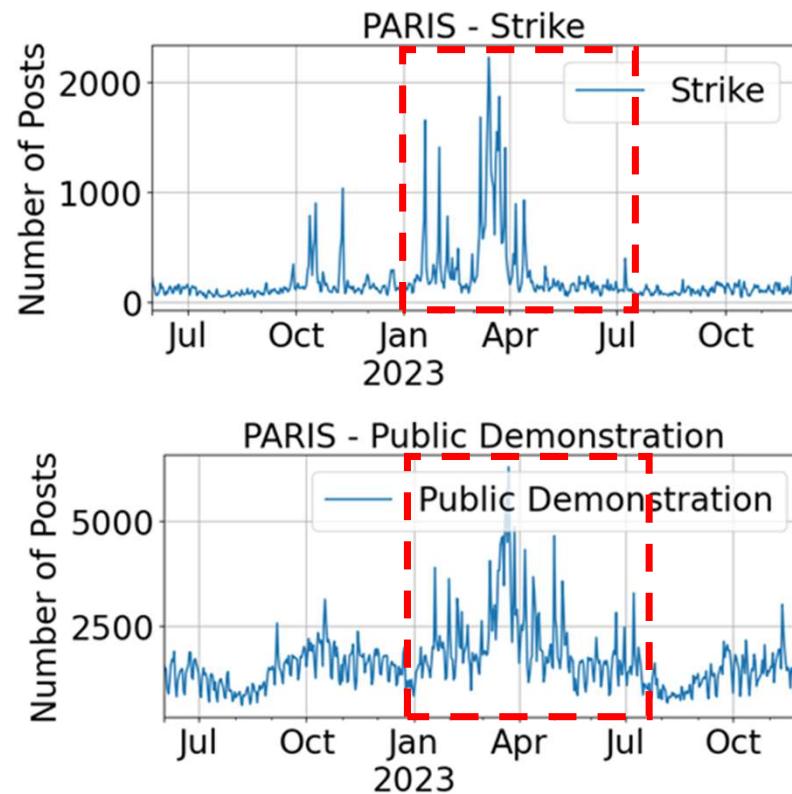




# Les séries temporelles construites par l'apprentissage zero-shot

Pourcentage d'étiquetage des textes  
par rapport à l'étiquette et à la ville

Sr. No.	Labels (in English)	Paris	Lyon	Grenoble
1	Football Match	1.18%	2.22%	1.06%
2	Rugby Match	0.69%	1.69%	1.40%
3	Electricity	1.22%	1.37%	1.69%
4	Energy Flexibility	0.31%	0.32%	0.46%
5	Energy Transition	1.80%	1.86%	2.23%
6	Energy Consumption	1.40%	1.22%	1.07%
7	Christmas	3.20%	4.82%	2.04%
8	Festival	<b>7.98%</b>	<b>10.02%</b>	<b>6.92%</b>
9	Covid-19	<b>9.77%</b>	<b>8.34%</b>	<b>9.50%</b>
10	Traffic Congestion	3.91%	3.79%	2.21%
11	Roland Garros	1.40%	0.07%	0.09%
12	Concert	4.25%	<b>7.00%</b>	4.21%
13	Strike	<b>5.54%</b>	4.05%	<b>9.19%</b>
14	Public Demonstration	<b>46.05%</b>	<b>44.00%</b>	<b>50.64%</b>
15	Olympic Games	3.30%	2.47%	0.32%
16	Innovation	2.30%	2.81%	3.68%
17	Others	5.68%	3.97%	3.30%



- Grèves et manifestations de janvier 2023 à juillet 2023.

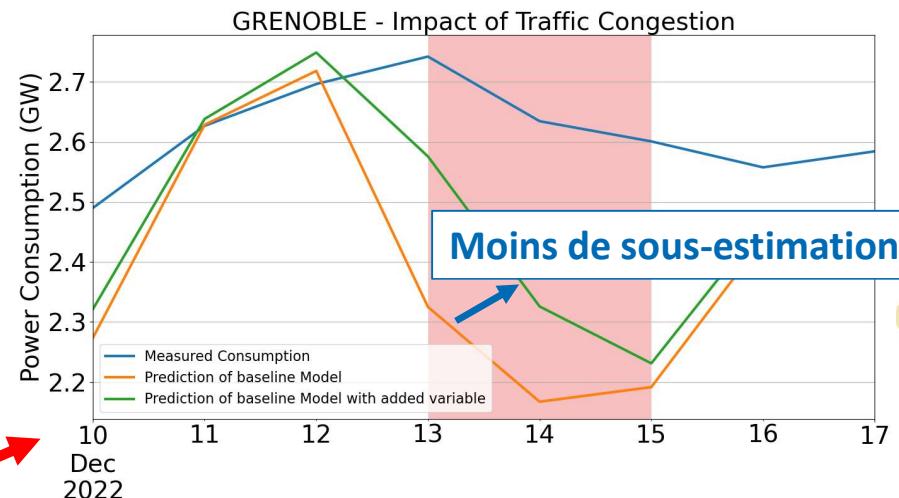


# Grenoble - Amélioration de l'erreur maximale en Pourcentage

## Variation de l'erreur maximale

$$\Delta\epsilon = \epsilon_b - \epsilon_t$$

N°	Label	Change in Max Errors (%)		
		Paris	Lyon	Grenoble
1	Football Match	2.66	-1.51	0.01
2	Rugby Match	-0.19	0.06	-1.07
3	Electricity	-0.22	6.31	7.7
4	Energy Flexibility	0.77	-0.4	-1.02
5	Energy Transition	0.88	10.9	-0.79
6	Energy Consumption	0.16	-1.58	-1.02
7	Christmas	0.23	1.01	11.09
8	Festival	3.59	-0.83	0.11
9	Covid-19	2.22	-2.99	3.38
10	Traffic Congestion	-0.4	-1.16	40.42
11	Roland Garros	0.57	-1.87	0.09
12	Concert	20.51	-2.69	-3.25
13	Strike	-1.91	2.81	2.69
14	Public Demonstration	0.31	-0.06	-1.55
15	Olympic Games	-0.06	-1.75	-0.39
16	Innovation	0.26	-0.97	-0.85
17	Others	0.56	3.53	-2.2



série temporelle individuellement.

Amélioration de l'erreur de prédiction grâce à l'ajout de la variable « congestion routière » dans le modèle de référence

• 3 France 3 Régions

Grenoble se réveille sous 10 centimètres de neige, les conditions de circulation sont difficiles

La neige a fait son apparition dans les rues de Grenoble cette nuit, pouvant atteindre près de 10 centimètres au sol à certains endroits. "En..."

13 déc. 2022



# Paris - Amélioration de l'erreur maximale en Pourcentage

## Variation de l'erreur maximale

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_b - \varepsilon_t$$

N°	Label	Change in Max Errors (%)		
		Paris	Lyon	Grenoble
1	Football Match	2.66	-1.51	0.01
2	Rugby Match	-0.19	0.06	-1.07
3	Electricity	-0.22	6.31	7.7
4	Energy Flexibility	0.77	-0.4	-1.02
5	Energy Transition	0.88	10.9	0.79
6	Energy Consumption	0.16	-1.58	-1.02
7	Christmas	0.23	1.01	11.09
8	Festival	3.59	-0.83	0.11
9	Covid-19	2.22	-2.99	3.38
10	Traffic Congestion	-0.4	-1.16	40.42
11	Roland Garros	0.57	-1.87	0.09
12	Concert	20.51	-2.60	3.25
13	Strike	-1.91	2.81	2.69
14	Public Demonstration	0.31	-0.06	-1.55
15	Olympic Games	-0.06	-1.75	-0.39
16	Innovation	0.26	-0.97	-0.85
17	Others	0.56	3.53	-2.2



**Coupe du monde 2022 : place de la Concorde, la foule célèbre les Bleus, ses perdants magnifiques**

Des milliers de personnes se sont massées lundi soir devant l'hôtel de Crillon, à Paris, pour saluer les joueurs, tout juste rentrés du...

19 déc. 2022

concert paris 19 décembre 2022

L'Officiel des spectacles

<https://www.offi.fr/Concerts/Pop/Rock> ;  
 Concert Against the Current le 19 Décembre 2022  
 Le concert Against the Current est référencé dans notre rubrique Pop / Rock. Genres : Pop, Rock  
 Production : Live Nation Lieu : Le Trabendo, Paris 19e

Paris Jazz Club

<https://www.parisjazzclub.net/concert/shades> ;  
 Shades | Lundi 19 Décembre 2022 - 21:00 @ Cabaret ...  
 19 déc. 2022 — Shades - Lundi 19 Décembre 2022 - 21:00 · Cabaret Jazz Club - Diner-concert · Tarif plein : 15 € Tarif réduit : 11 €.

Sortir à Paris

<https://www.sortiraparis.com/> ; Concert et Musique ...  
 Rosalía en concert à l'Accor Arena de Paris en décembre ...  
 19 avr. 2022 — Rosalía en concert à l'Accor Arena de Paris en décembre 2022 pour son Motomami World Tour - Matthieu Chedid, alias -M-, en concert au Zénith de ...

RockUrLife

<https://www.rockurlife.net/reports/against-the-cure...> ;  
 AGAINST THE CURRENT @ Le Trabendo (19/12/22)  
 22 déc. 2022 — Live report du concert de Against The Current le 19 décembre 2022 au Trabendo de Paris dans le cadre de la tournée "The Fever Tour Part II".



# Conclusion

- Le traitement automatique du langage nous permet d'intégrer des informations issues de réseaux sociaux et articles de presse pour refléter l'impact d'évènements sur les consommations électriques
- Pour l'instant, aucune approche n'est systématiquement meilleure que les autres, il convient donc de les combiner
- L'apprentissage zero-shot (ZSL) est intéressant, mais il s'agit d'un processus intensif en ressources et qui prend du temps



# Perspectives

- L'explication de l'impact des variables grâce à l'IA explicable, c'est-à-dire en utilisant des outils tels que SHAP et LIME.
- Détection des tendance en temps réel et extraction (ou calcul) de sa série temporelles.
- Intégration automatisée après mécanisme de validation des variables, réalisé par traitement TAL, dans la modèle de base.





**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP



# Merci de votre attention !

Muhammad Salman Shahid

[muhammad-salman.shahid@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:muhammad-salman.shahid@g2elab.grenoble-inp.fr)





**SmartGrids**  
BY FONDATION GRENOBLE INP

 **MIIN**  
Grenoble Alpes

# Estimation du réalisé aux postes HTA/BT par approche générative sur des données centralisées et distribuées

Romain ROMBOURG

Collaborateurs Enedis : Anne De Moliner, Pierre Cauchois, Quentin Fresnel, Matthieu Bordigoni

**Enedis**   
Grenoble Génie Électrique  
Grenoble Electrical Engineering



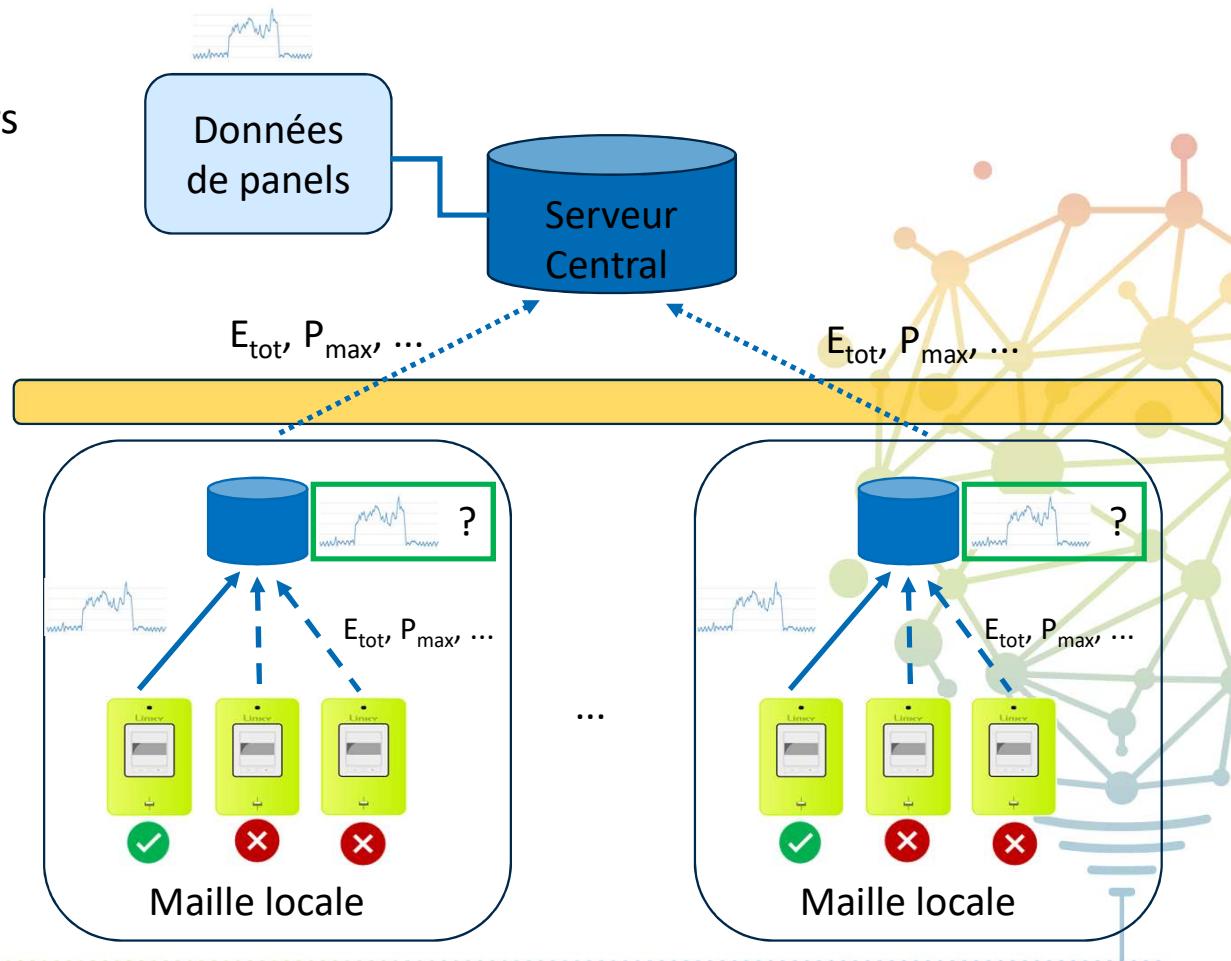
# Contexte

- Reconstruction du passé
  - Courbes de charges au pas 30 min à la maille locale (poste HTA/BT) agrégées
  - 0-30% des courbes effectivement disponibles
- Pourquoi ?
  - Challenger les modèles nationaux
  - Faire du local pour corriger le national
  - Analyser le foisonnement



# Quelles données ?

- Données locales
  - Données confinées aux concentrateurs
    - Législation (RGPD)
    - Coût de communication
  
- Données globales
  - Données issues de panels
    - Récoflux + Data Sciences
    - 34 465 usagers
    - 9 655 439 courbes de charges intrajournalières
  
- Exploitation des données
  - Globales → Directe
  - Locales → Indirecte



# Challenges scientifiques

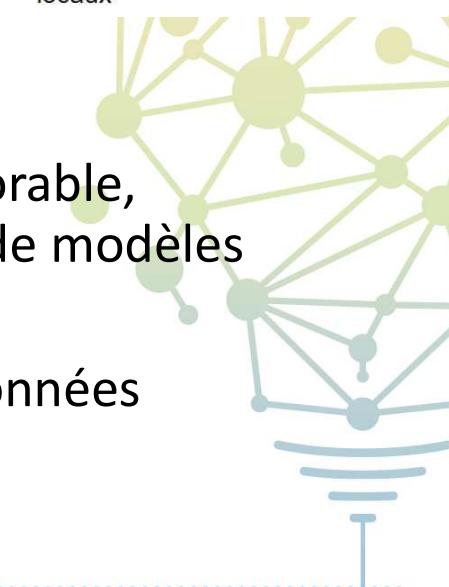
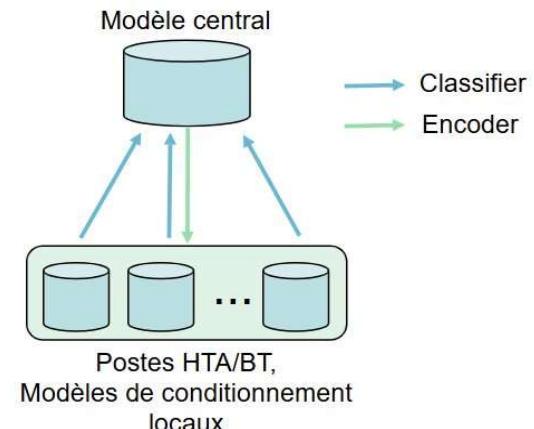
- Données des concentrateurs confinées aux concentrateurs
  - Puissance de calcul faible aux concentrateurs
  - Consommations locales partiellement indisponibles
    - Indisponibilité variable
    - Peut mener à une mauvaise représentabilité
    - Données d'un concentrateur partiellement dépendantes
- Extrapolation difficile





# Idée : approche générative de machine learning

- Génération de courbe de réalisé conditionnée
  - Méthode : Score Based Generative Modelling
  - Principe :
    - Entrainement d'un modèle général + conditionnement global
    - Entrainement local de modèles de conditionnement
    - Modèle général + Modèles de conditionnement pour la génération
  - Avantages : Puissant outil statistique, distribution des calculs favorable, flexibilité des conditionnements, robuste face aux interceptions de modèles
  - Désavantage : Dépendance au modèle général (et donc de ses données d'entraînement)



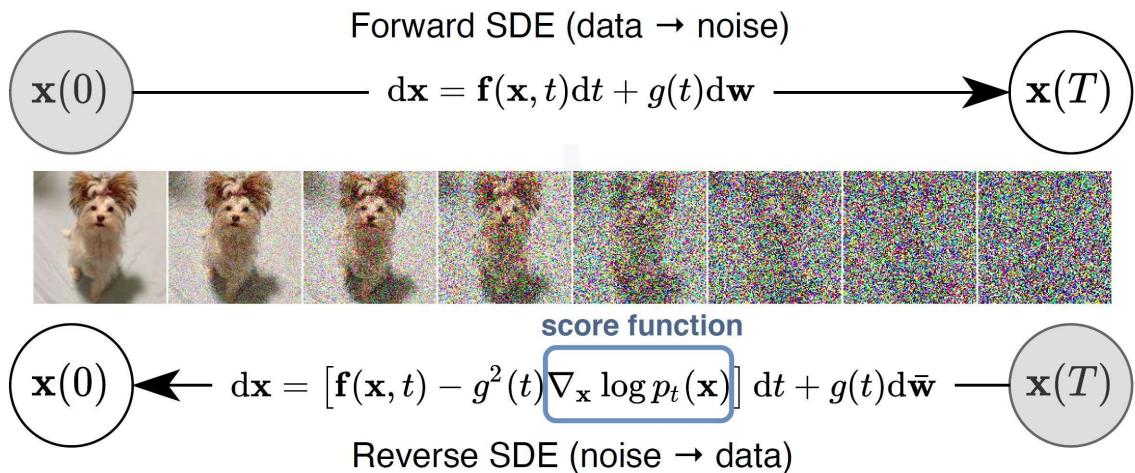
# Pourquoi une approche générative ?

- Estimation ↔ Génération conditionnée
- Outil statistique puissant
  - Quantification de l'incertitude
  - On évite les estimations ponctuelles
  - Les données n'obéissent pas à un modèle statistique classique
- Framework plus plastique pour s'adapter aux particularités locales



# Score Based Generative Modelling (SBGM)

- On définit un processus de "bruitage" des données
- On génère des échantillons en suivant le processus inverse



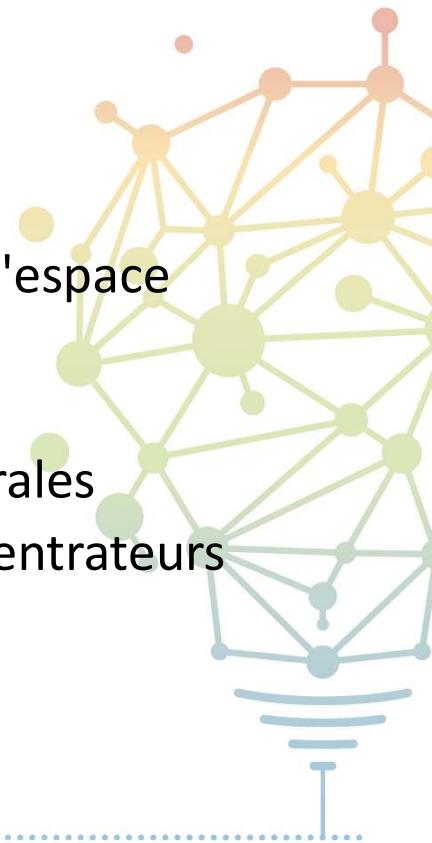
- On conditionne via la formule de Bayes

- Conditionnement sur calendrier, puissance souscrite, région ...

$$s(x|y_1, \dots, y_n) = \underbrace{s(x)}_{\text{Modèle global}} + \sum_{i=1}^n \underbrace{\nabla_x \log p(y_i|x)}_{\text{Prédicteur local de la variable } y_i}$$

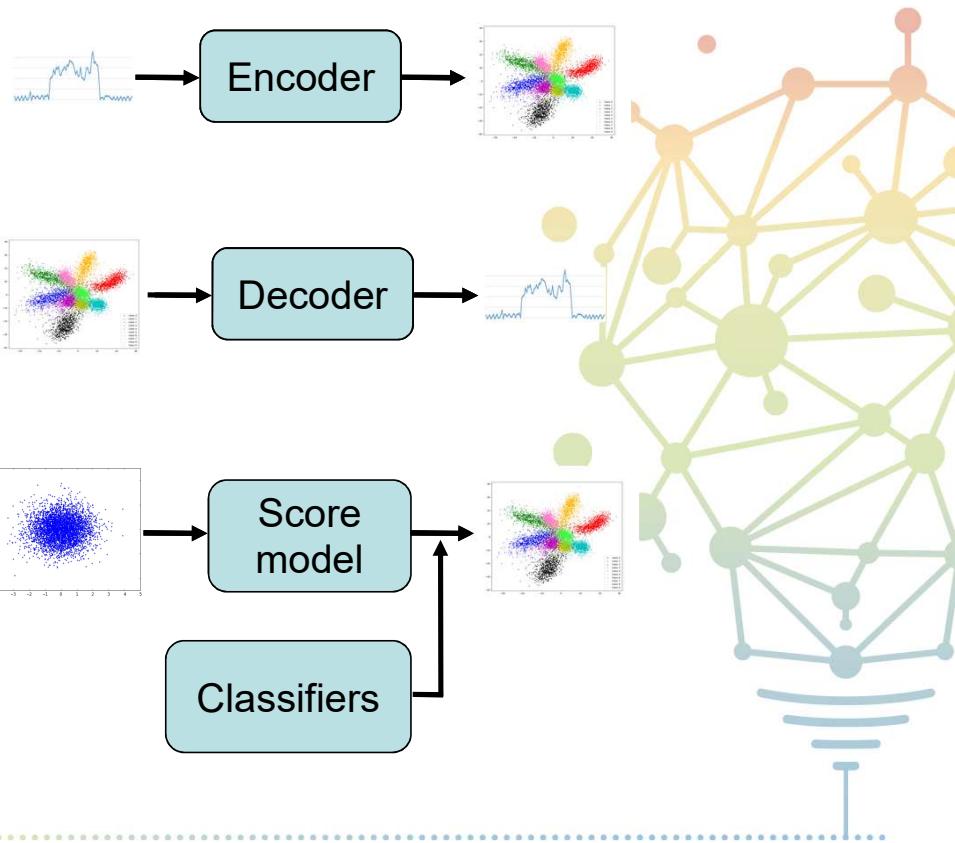
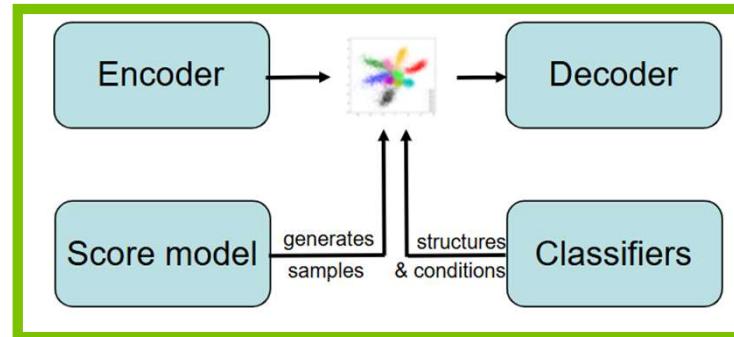
# Nouveaux Challenges

- Les données brutes sont distribuées pathologiquement
  - Compose mal avec SBGM si rien n'est fait
- Solution :
  - Structure en auto-encodeur variationnel (VAE) et génération dans l'espace latent
    - Régularise la distribution
    - Permet d'introduire un conditionnement sur les données générales
    - Permet de facilement contrôler la charge de calcul sur les concentrateurs



# Architecture du modèle

- Encoder
  - Transforme l'entrée en un vecteur latent
  - Facilite le travail au concentrateur
  - Utile seulement pendant le training
  
- Decoder
  - Transforme un vecteur latent en courbe de distribution
  
- Score model
  - Transforme du bruit en vecteur latent
  
- Classifiers
  - Le central structure l'espace latent et donne un conditionnement global
  - Les locaux permettent un conditionnement plus fin



# Architecture de calcul

- Architecture de Transformer
  - Efficace pour le traitement des séries temporelles
  - Beaucoup de données
  - Facilement adaptable pour générer plus d'une journée
  - Type de modèle qui est à la base des LLMs (comme ChatGPT)



LLM : Large Language Model

# Conclusions & perspectives

- Bilan après 7 mois
  - Données analysées & formatées
  - Méthode mise au point
  - VAE implémenté et en cours d'entraînement
- La méthode est très plastique et déclinable pour une large variété de problèmes
  - Génération de courbes de charge
  - Estimation de conso/paramètres avec données incomplètes
- Propose un framework où l'incertitude est facilement estimable et non contrainte par un modèle statistique pré-défini

VAE : Variational Auto-Encoder





**SmartGrids**

BY FONDATION GRENOBLE INP



# Merci pour votre attention !

Romain ROMBOURG

[romain.rombourg@grenoble-inp.fr](mailto:romain.rombourg@grenoble-inp.fr)

