

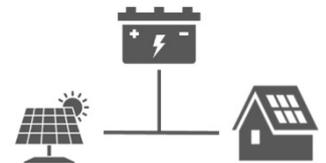
Proportion d'onduleurs en grid-forming pour le fonctionnement stable d'un réseau BT îloté en utilisant la production EnR locale

Jane Marchand¹, Jérôme Buire¹, Vincent Debusschere¹, Nouredine Hadsaid¹, Nabil El Jarrai² et Jean Pompée²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

I - Contexte

→ **Objectif** : Réalimenter un départ BT îloté sans groupe électrogène, en utilisant uniquement les onduleurs PV installés localement.

-  Réduire le temps de coupure
-  S'affranchir des énergies fossiles et réduire le bilan carbone
-  Augmenter la résilience locale

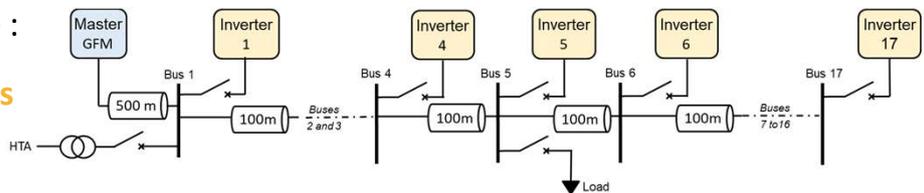


→ **Défi** : Comment assurer le **fonctionnement stable** du micro-réseau avec de multiples onduleurs de petites taille ? Quelle **proportion** des onduleurs doit-elle être en grid-forming ?

II - Méthodologie

Simulations EMT en triphasé équilibré :

- Plusieurs scénarios : **1 à 3 onduleurs grid-forming (GFM)**, de puissance variable



- Pour chaque scénario, **combien d'onduleurs grid-following (GFL)** peuvent-ils être connectés tout en maintenant la stabilité du système ?

II - Résultats

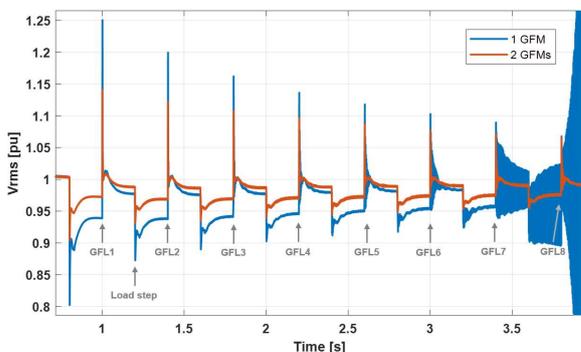


Figure : Connexion successive d'onduleurs GFL, en présence d'un ou deux onduleur en GFM.

→ L'impact de plusieurs paramètres sur la stabilité du système est investiguée.

Paramètres	Impactant ?
Nombre d'onduleurs GFL n_{GFL}	Oui
Nombre d'onduleurs GFM n_{GFM}	Non
Puissance totale GFL injectée P_{GFL}	Oui
Capacité totale GFM P_{GFM}	Oui

Ouverture : Quels autres paramètres pourraient impacter la stabilité ?

→ Droop, longueur de ligne, impédance virtuelle ...

Impact des productions renouvelables intégrant de l'électronique de puissance sur le réglage des protections des réseaux électriques de distribution (réseaux HTA)

Lainser Sklab¹, Bertrand Raison¹, Manuel Billaud², Benjamin Schuler², Mahana Bernier², Christophe Boisseau²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

I - Contexte

La **pénétration des EnR a fortement progressé** ces dernières années sur le réseau d'Enedis, atteignant 38,5 GW au deuxième trimestre 2024. Ces **EnR sont connectées via des convertisseurs statiques**, dont le comportement diffère complètement de celui des machines tournantes. Cela a un **impact sur les protections utilisées sur le réseau d'Enedis**, notamment le 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).

II - Objectif

Évaluation des **impacts des producteurs EnR sur les réglages des protections en tête de départ**, en tenant compte:

- de la puissance du producteur,
- de la puissance de court-circuit du poste source,
- du type de défaut.

Propositions de solutions en cas de perturbations causées par les producteurs EnR sur les dispositifs de protection.

III - Méthodologie

- Étude approfondie des différentes **modélisations des EnR** adoptées par la norme **CEI 60909**.
- Analyse du comportement réel des EnR** en fonction de leur commande lors d'un **défaut polyphasé**, en utilisant des modèles développés sous Simulink et des modèles fondés sur les composantes symétriques, ainsi que le théorème de superposition.
- Comparaison de ces modèles avec ceux de la norme**.

IV - Modélisations

Sous Simulink

Fault detector, Current limits calculator, Under fault control, Reference current calculator, VRT algorithm, Fault detector.

When $I_p > 0.85 I_{lim}$, when $I_p \leq 0.85 I_{lim}$.

Théorique

Start: Calcul de $I_{lim,prod}$, $V_{lim,prod}$ sans producteur pour chaque Pcc (donnée intéressante $V_{lim,prod}^2$).

Initialisation: $P_{prod,max}$, $V_2 = V_{lim,prod}^2$, $Err_p = 1$, θ_p .

Iteratif selon (2.16) et (2.17): I_{prod} selon (2.16) et (2.17).

Calcul de θ_p via une méthode d'optimisation, calcul de $I_{lim,prod}$, $V_{lim,prod}$, S_{prod} et $Err_p = abs(P_{prod} - P_{prod,max}) / P_{prod,max}$.

Verification: $Err_p < 0.01$ (NO) or $Err_p > 0.01$ (OUI).

Calcul de θ_p , $I_{lim,prod}$, $V_{lim,prod}$, S_{prod} , Err_p selon (2.17), $V_2 = V_{lim,prod}^2$, $Err_p = abs(P_{prod} - P_{prod,max}) / P_{prod,max}$.

Recupération des données (courants, tensions...)

End

1

Défaut biphase en bout de la ligne

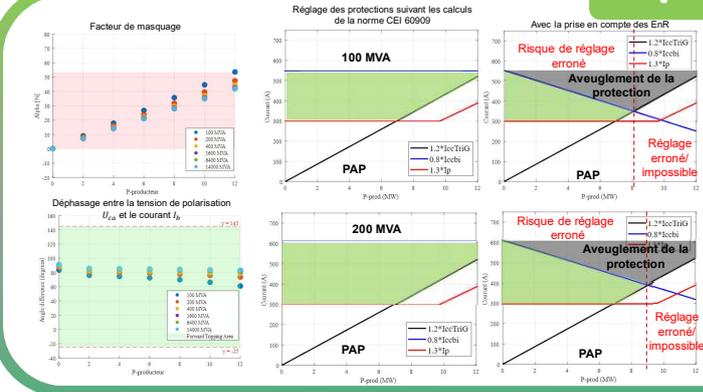
2

Défaut biphase en tête de départ

3

Défaut biphase entre 0 et L (prod à L km)

V - Résultats

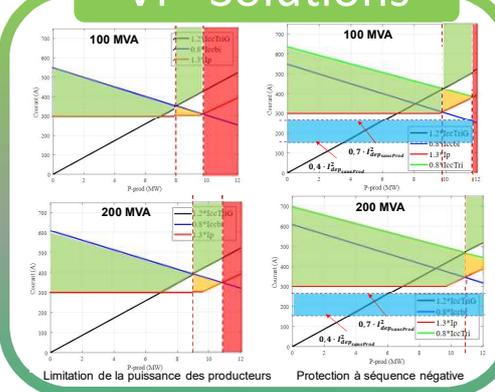


Si l'on règle les protections selon le courant calculé en utilisant la norme et que les producteurs contribuent au défaut, ces protections risquent d'être aveuglées.

$$\alpha = \frac{I_{cbbi,norme} - I_{cbbi}}{I_{cbbi,norme}} \cdot 100$$

- Plage de réglage de la PAP
- Plage de réglage de la PDP
- Plage de réglage de la protection à séquence négative
- Aveuglement de la protection
- Raccourcissement inacceptable

VI - Solutions



VII - Perspectives

- Étude et évaluation du comportement des **protections homopolaires** lors d'un **défaut monophasé** en présence de producteurs.
- Reprendre les mêmes études pour le **cas d'un micro-réseau**, si le temps le permet.

Dispositifs innovants en électronique de puissance pour les services réseaux basse tension en présence d'un fort taux d'énergies renouvelables et de véhicules électriques

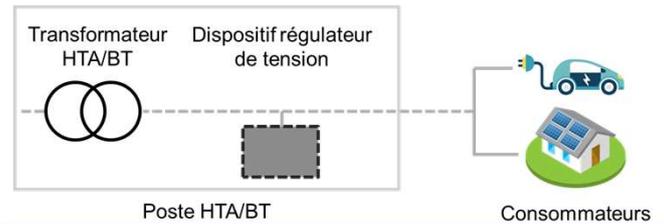
Sabine Vieira Reinert Frello¹, David Frey¹, Yvon Besanger¹, Nouredine Hadjsaid¹, Guillaume Langlet², Léonard Bacaud², Kamel Sahnouni², Sandrine SAMSO²

¹ G2Elab, CNRS, Grenoble INP, Univ. Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France

² Enedis, France

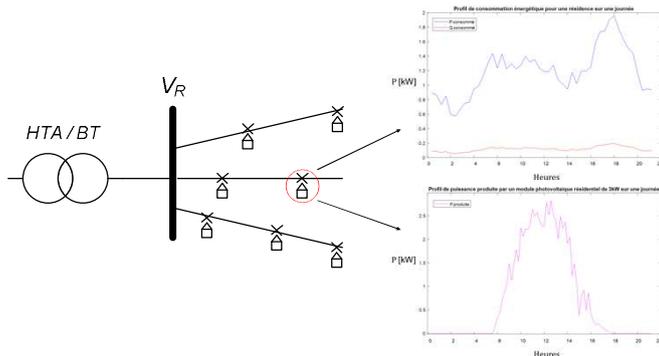
Contexte

- Développement de la production photovoltaïque (PV) et de la consommation par la recharge des véhicules électriques (VE) en basse tension (conséquences possibles : tensions hautes ou basses locales et perturbations harmoniques au niveau du transformateur HTA/BT).
- Option pour différer le renforcement du réseau : ajout de régulateurs de tension à faible coût basés sur des convertisseurs de puissance entre les transformateurs et les charges.



Analyses Préliminaires

- Analyse de la tension du départ BT (V_R) à partir des profils des charges.

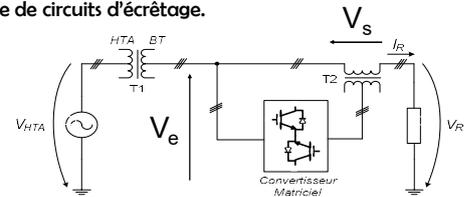


- Analyse des effets de la compensation de tension et injection de puissance réactive à côté du transformateur HTA/BT :

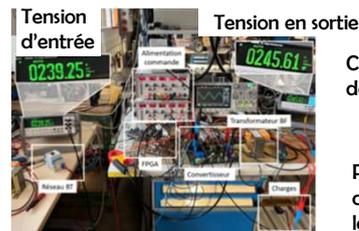
- Injection de puissance réactive à côté du transformateur HTA/BT inefficace pour le réglage de la tension dans le réseau basse tension (compensation parallèle par injection de puissance réactive nécessite une impédance amont importante).
- Compensation de tension en série efficace, mais limitée pour l'augmentation de la tension.
- Possibilité d'associer les deux méthodes : série augmente l'impédance amont et parallèle permet le réglage de la tension.
- Réglage de tension basé sur le convertisseur matriciel associé à un transformateur basse fréquence :
 - Réglage fin ou réglage en escalier.

Structure développée

- Sélection d'une structure candidate (Transformateur série plus électronique de puissance)
- Optimisation des commutations pour minimiser les perturbations/contraintes et éviter l'usage de circuits d'écrêtage.

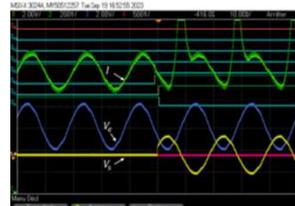


- Piloter finement et de manière optimale la séquence des commutations pour assurer une transition proche voire à 0 de courant.

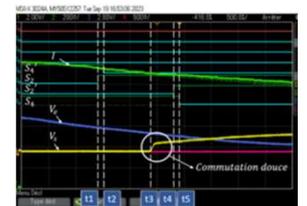


Capacité d'injecter jusqu'à +/-2,5% de la tension d'entrée

Pas de perturbations (surtensions, courts-circuits transitoires) pendant les commutations



Passage de 0 à +2,5%



Zoom sur la commutation douce

Réalisations

- Construction et test d'un prototype de la structure d'électronique de puissance sélectionnée.
- Validation des commutations et des performances d'ajustement de tension souhaitées.
- Caractérisation des performances (compensation de tension, impédance série, consommation de réactif, impact sur le THD) et de l'impact du courant magnétisant du transformateur d'injection lors des commutations.

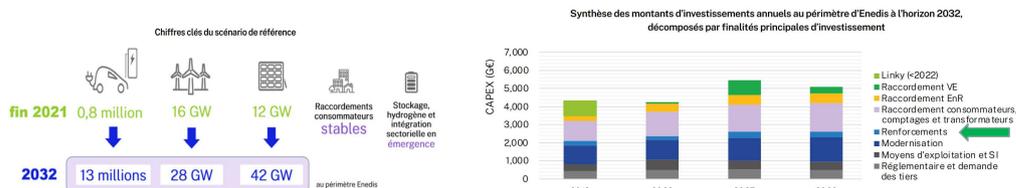
Protection des Réseaux Hybrides AC/DC

Mohammed Kharrich¹, Bertrand Raison¹, Maria-Victoria Zamuner², Jean Pompée², Kamel Sahnouni²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

I - Contexte

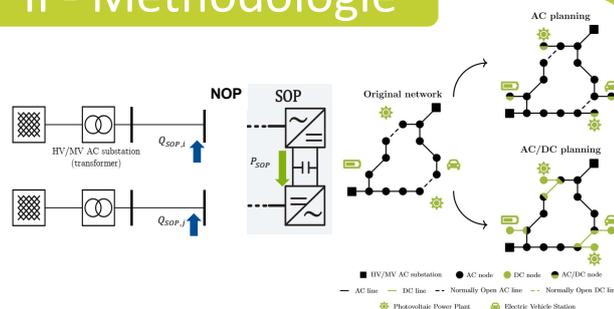
Modernisation et expansion du réseau de distribution moyenne tension et analyse des défauts de court-circuit

- 1- Comment le Soft Open Point (SOP) peut-il contribuer à la réduction des coûts d'investissement dans les infrastructures de réseaux de distribution ?
- 2- Quels sont les avantages économiques d'un réseau hybride AC/DC par rapport à un réseau AC classique ?
- 3- Comment les systèmes de protection sont-ils adaptés pour assurer la sécurité des réseaux hybrides AC/DC avec SOP en cas de court-circuit ?



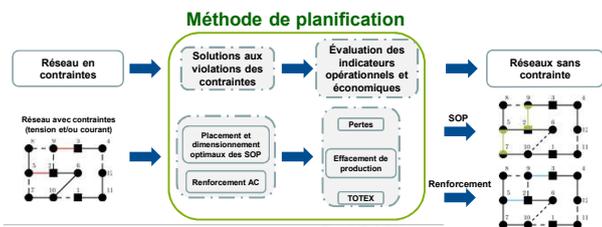
II - Méthodologie

- Développer et appliquer un outil d'optimisation pour localiser et exploiter les SOPs afin de réduire les pertes et différer les renforcements dans les réseaux de distribution MVAC, en analysant les performances face à la croissance de la charge et l'incertitude des installations de production décentralisées.
- Formuler une stratégie de planification optimale pour les systèmes hybrides MV AC/DC avec des ressources DC, intégrant des contraintes topologiques et une analyse économique pour évaluer les avantages dans les scénarios de création et d'expansion de réseau.



III - Résultats

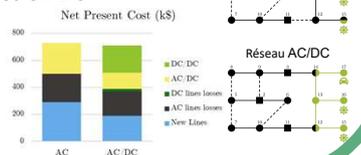
- Intérêt des SOP
 - Pas intéressants pour la réduction des pertes seules
 - Peuvent être plus économiques que le renforcement



Location	Size	Capital Cost (M\$)	Present Capital Cost with reinforcement deferral (M\$)
Renforcement	2-5 Skm - 2>A1240mm ²	1.180	1.180
	3-9 1km - 2>A1240mm ²		
SOP	2-9 2,30kVA	0.360	0.970
	5-7 700kVA		

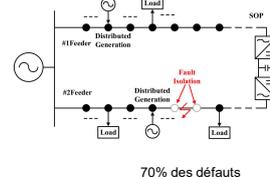
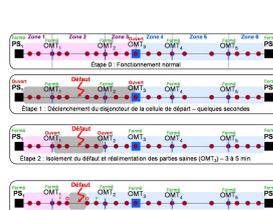
Planification des ressources en DC

- Réduction des stations de conversion AC/DC.
- Moins de pertes dans les échanges DC.



IV - Perspectives

- Réduire le temps d'isolement des défauts et de réalimentation grâce à l'utilisation des SOP.
- Se focaliser sur les défauts à la terre qui représentent environ 70 % des incidents.
- Explorer l'utilisation des relais de surintensité (Overcurrent Relays) dans les réseaux hybrides AC/DC.



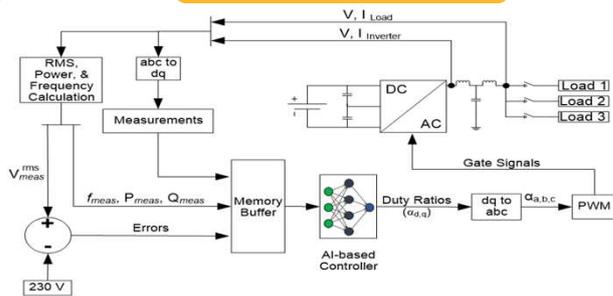
Artificial Intelligence-Based Controller for Grid-Forming Inverter-Based Generators

Hassan Issa^{1,2}, Vincent Debusschere¹, Romain Rombourg¹, Lauric Garbuio¹, Philippe Lalanda², Nouredine Hadjsaid¹, Lainsier Sklab¹, Bertrand Raison¹, Manuel Billaud², Benjamin Schuler², Mahana Bernier², Christophe Boisseau²

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France

² Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000, Grenoble, France

Methodology

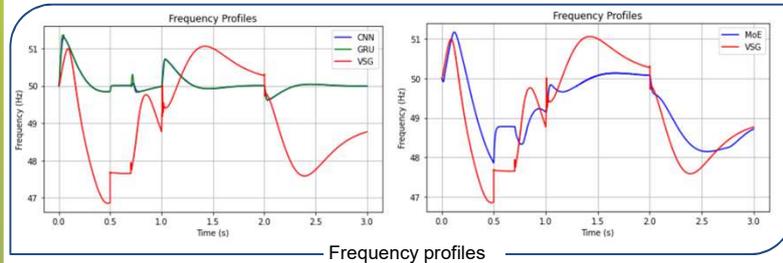


Requirements for controlling Inverter-Based Generator:

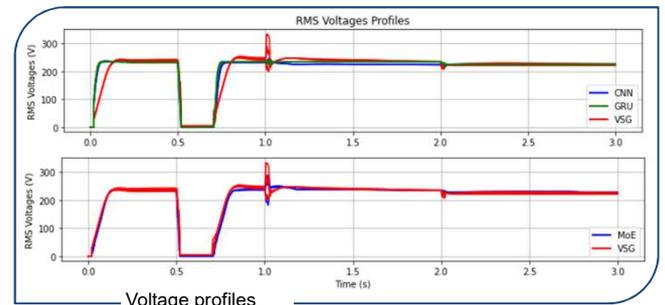
- Maintain the output voltage and frequency at nominal values
- Guarantee the continuity of supply
- Adapt to changes in grid characteristics
- Cope with short circuit and recover afterwards
- Participate to grid stability

Main results

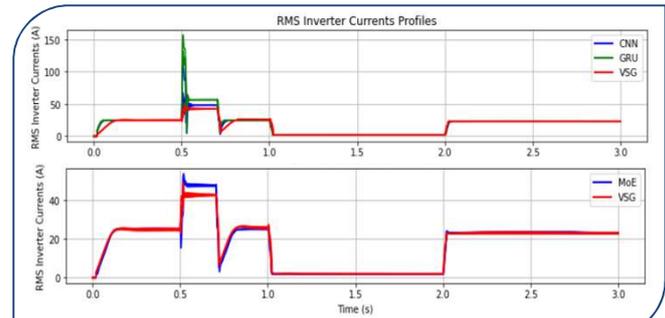
- Grid frequency and voltage maintained at their nominal values
- Standardized tests successful in simulation
- Preserved stability of the grid
- Short circuit current is damped during the occurrence of the event and properly handled by the MoE
- MoE properly emulates VSG black start behavior



Frequency profiles



Voltage profiles

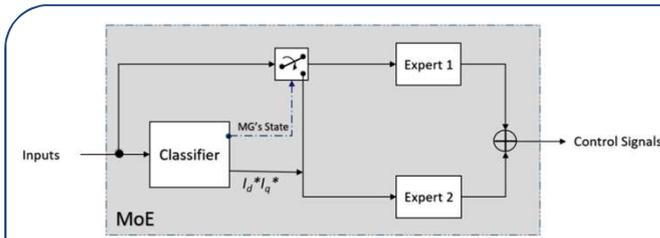


Current profiles

AI-based approach

Supervised learning

- Datasets collected from an experimentally validated controller
- Training datasets divided into batches of short-term temporal sequences
- Implemented neural networks: CNN, GRU and Mixture of Experts (MoE)
- Control of errors between measurements and system target values



Tackling imbalance in dataset with Mixture of Experts

Conclusion and perspectives

AI-Based Controllers Efficiency & Precision

- MoE has proven its capacity to emulate VSG controller
- Representing the training datasets as batches of short-term temporal sequences
- Capability of coping with extreme dynamics, like short-circuits

Electrical Environment Level

- Study case: simple microgrid undertaking black start, load variations, and short-circuit
- Proposed AI-based controllers require further testing in more complex environment
- Limitation of AI-based approach to investigate in more realistic systems
- Emulate multiple inverter control in a decentralized way (continuous learning)
- Genericity: develop a plug-and-play type of controller for IBG

References

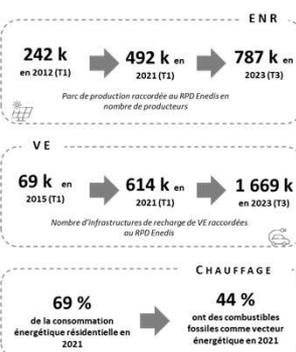
- Issa, H.; Debusschere, V.; Garbuio, L.; Lalanda, P. & Hadjsaid, N., *Artificial Intelligence-Based Controller for Grid-Forming Inverter-Based Generators*, IEEE PES ISGT Europe, 2022
- Issa, H.; Debusschere, V.; Garbuio, L.; Lalanda, P. & Hadjsaid, N., *AI-Based Controller for Grid-Forming Inverter-Based Generators under Extreme Dynamics*, CIRED, 2023

Apport des mesures des compteurs Linky pour une meilleure connaissance des charges du réseau de distribution

Guilherme Ramos Milis^{1,2}, Marie-Cécile Alvarez-Héroul¹, Raphaël Caire¹, Christophe Gay², Bruno Gourguechon², Manuel Billaud²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

Contexte

EVOLUTION DES USAGES

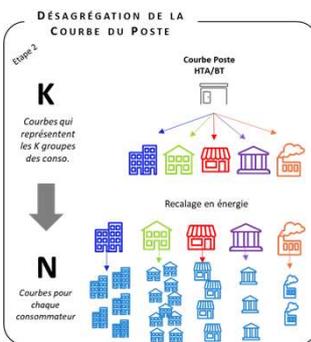


EVOLUTION DIGITALE



Etape 2

- Etape 2 : désagrégation de la courbe du poste en K groupes
- Hypothèse : la courbe de charge d'un cluster est modélisée comme une somme d'une ou plusieurs gaussiennes



Formulation du problème

$$Charge_{\text{poste HTA/BT}} = \sum_{k=1}^K \text{courbe cluster } (k)$$

4 méthodes testées

- Modèle 1 : une gaussienne par cluster
- Modèle 2 : deux gaussiennes par cluster
- Modèle 3 : Modèle 2 + ajout des occurrences de P_{max}
- Modèle 4 : modèle 3 + recalage en énergie

Problématique

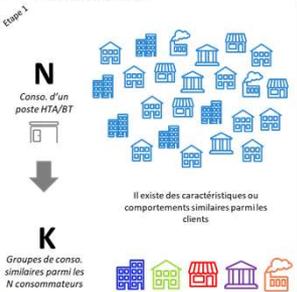
Reconstruction de profils BT

- Méthodologie classique** : profil à la maille client puis agrégé pour avoir la courbe à la maille du poste
- Méthodologie inverse proposée** fondée sur la présence de capteurs de type Pinky afin de voir si on améliore les profils de charges → **méthode de désagrégation en 2 étapes.**

Etape 1

- Etape 1 : segmentation des consommateurs
- Pré-traitement du jeu de données
- Données : P_{max} et horodate pour chaque jour

SEGMENTATION DES CONSOMMATEURS



Analyse en composante principale pour réduire la redondance des données



Kmeans clustering (simplicité de fonctionnement + efficacité)



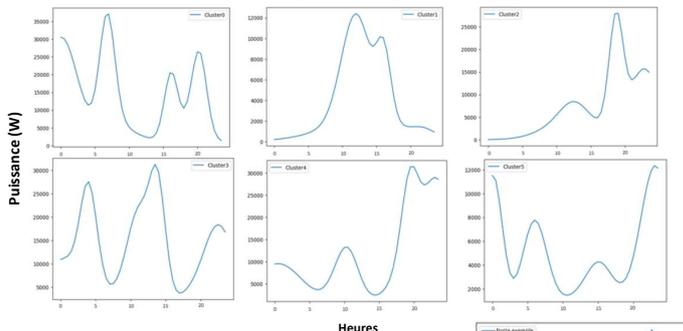
Méthode du coude détection automatique des coudes et éviter la subjectivité.

Résultats

- Données** : 48 postes HTA/BT (mesures Pinky); 5318 consommateurs en aval des postes (P_{max} et moment de la journée, Energie)
- Exemple étape 1 sur un poste HTA/BT** : 217 clients (dont 19 résidences secondaires) répartis en 6 groupes

Groupe	Nb clients
0	72
1	74
2	5
3	3
4	24
5	20

- Exemple des 6 clusters après l'étape 2 avec le modèle 3**



- Comparaison courbe Pinky et courbes reconstituées à partir des profils des clusters trouvés**
- Comparaison des 4 modèles proposés**
- Compromis entre performance du modèle (Modèle 3) et conservation de l'énergie (Modèle 4)

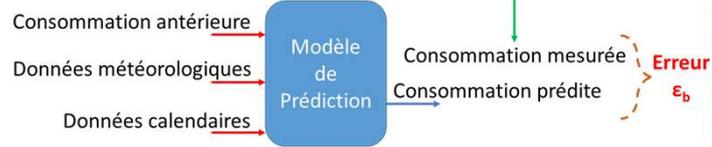
SMAPE	Modèle 1 « gaussienne simple »	Modèle 2 « somme de gaussiennes »	Modèle 3 « somme de gaussiennes-Pmax »	Modèle 4 « somme de gaussiennes-Pmax-énergies »
minimal (%)	4.09	1.16	1.60	2.06
moyen (%)	6.36	2.81	2.64	4.86
maximal (%)	10.81	6.11	3.99	11.30

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

Muhammad Salman Shahid¹, Yidi Huang², Benoît Delinchant¹, Anne De Moliner², Pierre Cauchois²
¹G2Elab, CNRS, Grenoble INP, Univ. Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France
²Enedis, France

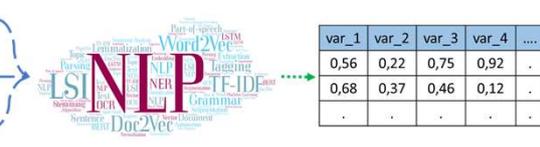
Contexte

- Enedis réalise des prévisions de consommations à différentes échelles géographiques. Ces prévisions sont actuellement basées sur des données météorologiques et calendaires.
- L'objectif des travaux est d'améliorer ces prévisions en incorporant des données de réseaux sociaux permettant d'identifier et d'intégrer des événements impactant les consommations.
- Ce projet fait suite à des résultats prometteurs obtenus à la maille nationale (Alyafi et al., 2023). Dans cette étude, seuls les grands événements, visibles au niveau national sont détectés.

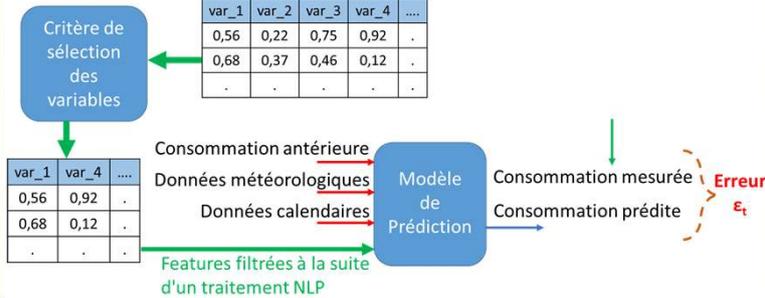


Objectifs

- Mise en place de la chaîne d'extraction automatique de données de réseaux sociaux
- Construction de variables explicatives à partir des données de réseaux sociaux par des méthodes de NLP (Natural Language Processing)
- Méthodologie de sélection et d'intégration de variables pour l'amélioration des modèles

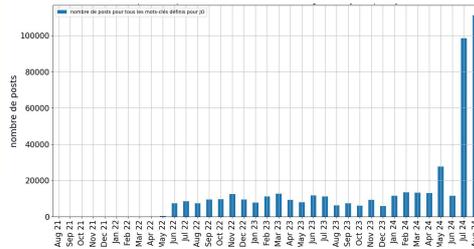


var_1	var_2	var_3	var_4	...
0,56	0,22	0,75	0,92	.
0,68	0,37	0,46	0,12	.
.



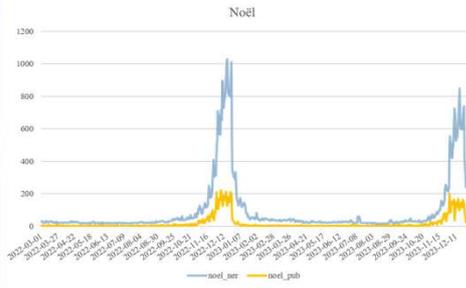
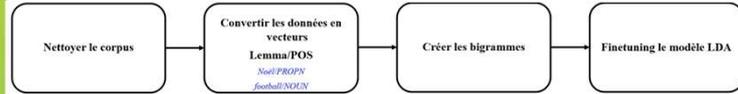
Travaux Réalisés

- Collecte de données pour Paris, Lyon et Grenoble pour des événements récurrents (Noël, etc.) et des événements occasionnels (manifestations, grèves, jeux olympiques, etc.)
- Construction de variables via NER (Named Entity Recognition) pour l'extraction de dates (e.g. Noël)
- Regroupement de mots-clés similaires grâce à LDA (Latent Dirichlet Allocation)



Statistiques des postes à partir de twitter de la Variable « jeux olympiques », plus importante en juillet et août 2024

- Construction de variables via NER (Named Entity Recognition) pour l'extraction de dates (e.g. Noël)



Construction à partir des réseaux sociaux de la Variable « Noel », plus importante fin décembre

- Regroupement de mots-clés similaires grâce à LDA (Latent Dirichlet Allocation)

Prochaines Etapes

- Détection automatique de thématiques en fonction des jours de forte erreur du modèle, étude de corrélation voire de causalité entre erreurs et variables extraites des réseaux sociaux.
- Comparaison des erreurs suite à l'ajout de nouvelles « features » et automatisation de ce processus.

