

Électrification : quelles leçons tirer du black-out ibérique ?

Avec :

Vincent KRAKOWSKI, expert réseaux électriques, **Hespul**

Marc JEDLICZKA, expert renouvelables et porte-parole, **Association négaWatt**

Animé par :

Yves MARIGNAC, expert énergie et porte-parole, **Association négaWatt**

Électrification : quelles leçons tirer du black-out ibérique ?

11h05 Introduction

Yves Marignac, expert énergie et porte-parole de l'Association négaWatt

11h10 Rappel des faits

Vincent Krakowski, expert réseaux électriques, association Hespul

11h35 Échanges

11h45 Causes et enseignements

Vincent Krakowski,

Prise de recul

Marc Jedliczka, expert renouvelables et porte-parole de l'Association négaWatt

12h10 Échanges

12h30 *Fin*

28 avril 2025 - 12h33 • Black-out

La péninsule ibérique est totalement privée d'électricité pendant près de 12 heures

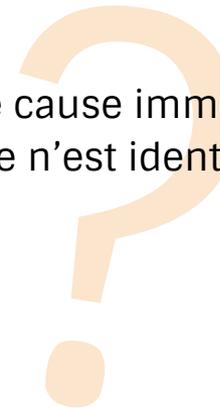


Le black-out le plus important depuis au moins 20 ans.

Mais comment ?

...

Aucune cause immédiate possible n'est identifiable



28 avril 2025



“Ça soulève la difficulté de la politique énergétique basée sur de l'électricité intermittente. (...) C'est une politique très dangereuse pour la sécurité électrique de la France. L'Espagne est un exemple absolument édifiant de ce qu'il ne faut pas faire.”

Fabien Bouglé,

écrivain et diplômé de droit et d'histoire de l'art, proche de mouvements nationalistes et identitaires, auteur de *Éoliennes - La face noire de la transition écologique*

29 avril 2025



*“Dès que l'on atteint une trop grande proportion d'électricité intermittente – on dit que **la limite est plutôt autour de 30 %** – (...), une variation importante conduit à faire rompre le système électrique. (...) C'est **la brutalité de la variation...** les énergies intermittentes, on ne les contrôle pas”*

Hervé Machenaud,

ancien directeur de la branche Asie-Pacifique d'EDF (2001-2016), administrateur du Céréme, association de défense du nucléaire



*“Une dépression sur la péninsule ibérique a fait baisser très rapidement la production photovoltaïque. (...) L'hypothèse que je fais, et je connais assez bien le sujet, c'est qu'il y a eu un **déséquilibre en quelques secondes**, donc un effondrement du système électrique.”*

André Merlin,

directeur puis président de RTE (2000-2007), défenseur d'un scénario à 50 réacteurs EPR d'ici 2060, proche d'associations comme Patrimoine Nucléaire et Climat

Les experts de l'énergie reconnus sur ces sujets ont décliné les invitations, ne disposant pas des informations nécessaires pour commenter, laissant la place à des promoteurs du nucléaire pour dresser, sans aucun élément tangible, un procès à charge contre les énergies renouvelables.

19 juin 2025 - Assemblée nationale

ASSEMBLÉE NATIONALE 12 juin 2025

Adopté

N° 486

AMENDEMENT

présenté par

M. Nury, M. Wauquiez, M. Bazin, Mme Bazin-Malgras, M. Berger, Mme Blin, Mme Sylvie Bonnet, Mme Bonnard, M. Bony, M. Boucard, M. Bourgeaux, M. Breton, M. Brigand, M. Fabrice Brun, M. Ceccoli, M. Cordier, Mme Corneloup, Mme Dalloz, Mme de Maistre, Mme Dezarnaud, M. Di Filippo, M. Dive, Mme DuBy-Muller, M. Forissier, M. Gosselin, Mme Gruet, M. Herbillon, M. Hetzel, M. Jeanbrun, M. Javin, M. Le Fur, M. Lepers, M. Liger, M. Marleix, Mme Alexandra Martin, Mme Frédérique Meunier, M. Pauget, Mme Petex, M. Portier, M. Ray, M. Rolland, Mme Tabarot, M. Taïe et M. Thiériot

ARTICLE ADDITIONNEL

APRÈS L'ARTICLE 5, insérer l'article suivant:

I. – À compter de la promulgation de la présente loi, il est instauré un moratoire sur l'instruction, l'autorisation et la mise en service de tout nouveau projet d'installation de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent éolien, terrestre ou maritime, ainsi que l'énergie solaire photovoltaïque, à l'exception des projets ayant déjà reçu une autorisation administrative préalable à cette date. Ce moratoire restera en vigueur pendant toute la durée nécessaire à la réalisation d'une étude objective et indépendante visant à déterminer le mix énergétique optimal pour la France, sur les plans économique et environnemental.

II. – En conséquence, aucune nouvelle demande d'autorisation, de permis ou de raccordement concernant de telles installations ne pourra être déposée ni instruite par les autorités compétentes pendant la durée du moratoire.

III. – Les installations existantes restent soumises à la réglementation en vigueur et peuvent continuer à fonctionner jusqu'à la fin de leur durée d'exploitation autorisée, sans possibilité de renouvellement ou d'extension au-delà de cette échéance.

(...)

EXPOSÉ SOMMAIRE

(...)

Techniquement, le développement excessif des énergies intermittentes, par la variabilité de leur production, fait courir le risque d'un black-out, tel qu'en a connu l'Espagne le 28 avril 2025.

(...)

Les députés adoptent en séance publique un amendement à la proposition de loi portant programmation nationale et simplification normative dans le secteur économique de l'énergie.

Cet amendement se fonde notamment sur **le black-out** du 28 avril pour instaurer **un moratoire** sur le développement des renouvelables.

4 nov. 2025 - Déplacement en Charente Maritime du Président de la République

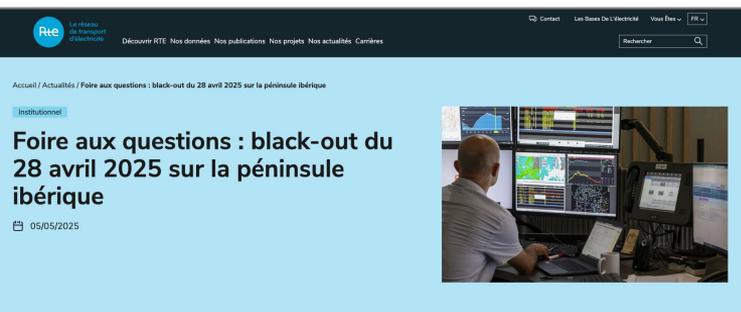
“Le tout renouvelable ne marche pas, pour des tas de sujets de réseau (...), ça ne fonctionne pas. Et on l'a vu dans les épisodes qu'ont connus plusieurs de nos voisins, malheureusement pour eux.”



6 mois plus tard, des rapports techniques ont été produits, et l'expertise se poursuit...

- Comprendre les éléments techniques consolidés sur le déroulement du black-out.
- Identifier des facteurs clés, et réfléchir aux enseignements.

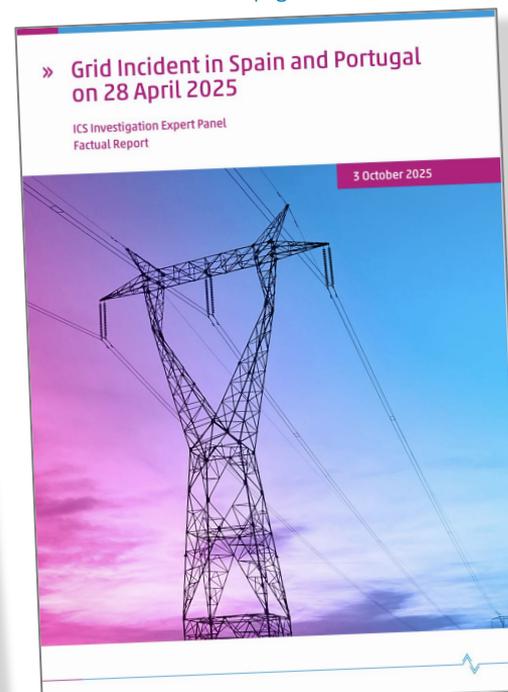
RTE - foire aux questions mise en place dès le 5 mai, enrichie depuis



Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Miteco) Rapport du 17 juin



ENTSO-E - Rapport factuel du 3 octobre (264 pages)



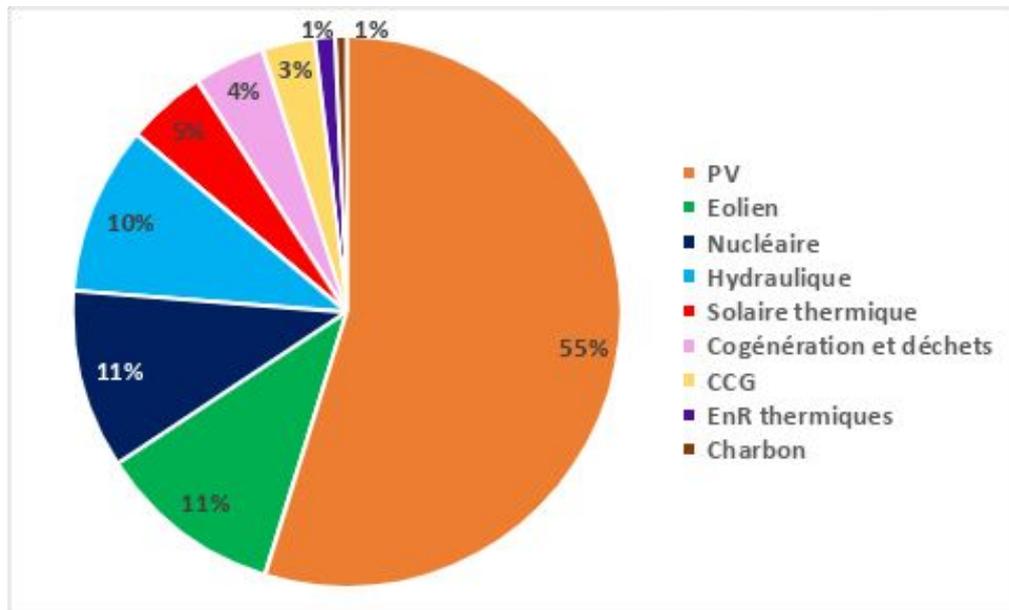


Vincent KRAKOWSKI,
association Hespul

Rappel des faits ●

1

Mix de production espagnol le 28 avril à 12h30



inclus

11 centrales thermiques
+ centrales hydro
ayant des **obligations**
de régulation de tension

Distribution géographique de la demande et de la production en Espagne le 28/04/2025 à 12h32

Production totale : 32 GW
 Consommation totale : 25 GW
 Exports : 3,4 GW

Combined cycle. Pmax = 1,100 MW
 Coal. Pmax = 350 MW
 Hydro. Pmax = 1,100 MW
 Pump storage. Pmax = 910 MW
 Solar PV. Production = 2,420 MW
 Wind. Production = 710 MW
 Cogeneration. Production = 400 MW
 Thermal RES + small hydro. Production = 720 MW
Total production = 6,800 MW
Demand = 9,030 MW

Combined cycle. Pmax = 760 MW
 Nuclear. Pmax = 1,000 MW
 Solar PV. Production = 12,860 MW
 Wind. Production = 2,810 MW
 Solar thermal. Production = 1,420 MW
 Cogeneration. Production = 280 MW
 Thermal RES + hydro. Production = 220 MW
Total production = 19,350 MW
Demand = 8,260 MW

Combined cycle. Pmax = 820 MW
 Nuclear. Pmax = 3,030 MW
 Pump storage. Pmax = 1,290 MW
 Solar PV. Production = 1,260 MW
 Wind. Production = 110 MW
 Solar thermal. Production = 70 MW
 Cogeneration. Production = 520 MW
 Thermal RES + hydro. Production = 150 MW
Total production = 5,960 MW
Demand = 7,950 MW

200 MW

310 MW

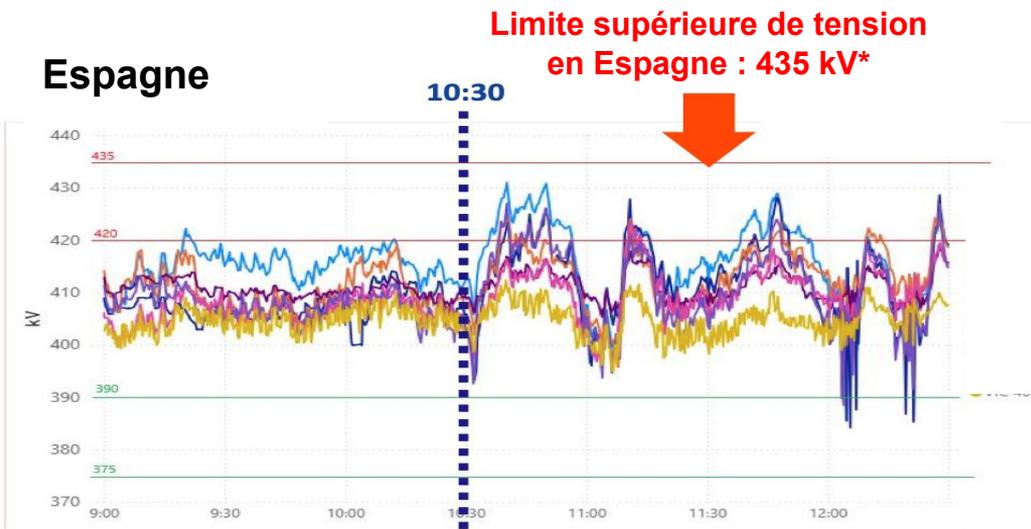
1,050 MW

1,850 MW

Forte production dans le sud-ouest

Séquence des événements précédents le black-out

Espagne

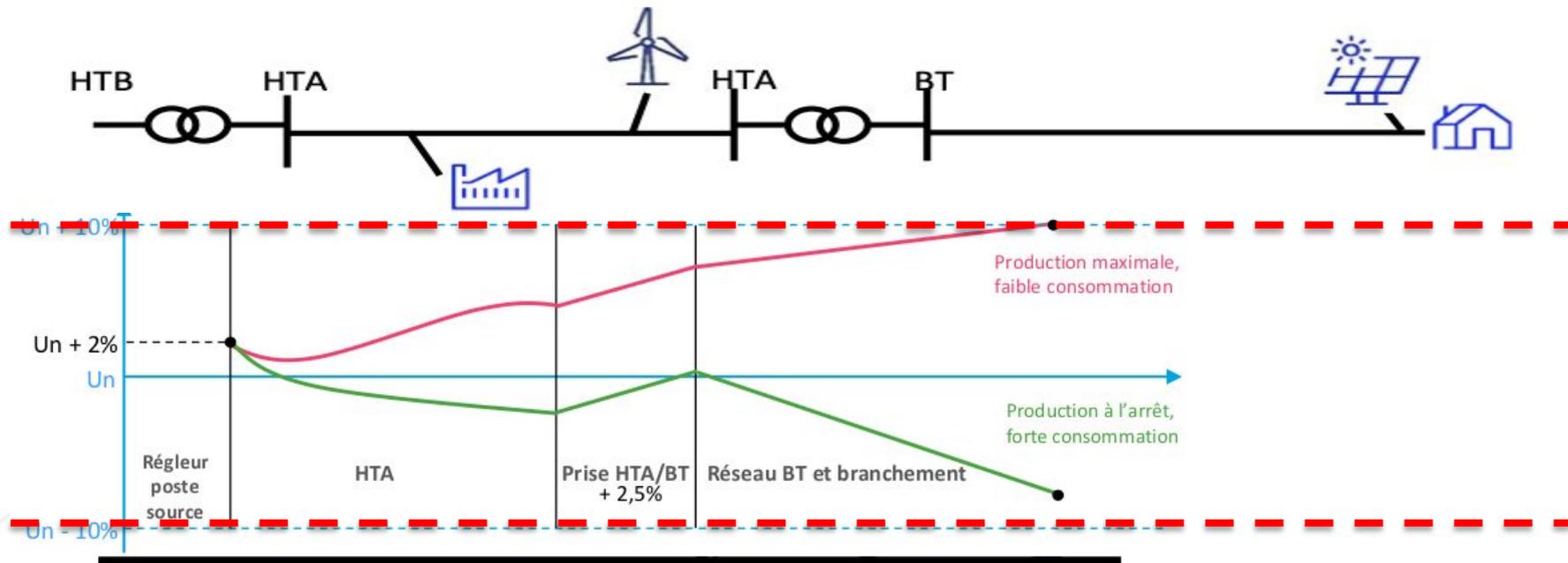


* Valeurs maximales potentiellement atteintes sur le réseau 400 kV espagnol (confirmé par l'autorité de régulation espagnole)

Premières variations significatives de tension à partir de 10:30 CEST

- Des 1^{ères} oscillations de tension et de fréquence observées entre 10h30 et 12h
- D'après les experts, ces oscillations étaient maîtrisées ($U < 435 \text{ kV}$, $\Delta f < 20 \text{ mHz}$)
- D'autres oscillations plus importantes après 12h03

La tension : une caractéristique locale des réseaux qui varie en fonction des soutirages et des injections



Source : Enedis, Plan de Développement des Réseaux, document préliminaire, 2023

➤ En haute tension, c'est surtout la **puissance réactive** qui fait varier la tension !

Conséquence des sous et sur-tensions

Que se passe-t-il lorsque l'on sort des plages de variation autorisées de la tension ?

- **Sous-tensions** : moins bon fonctionnement des équipements
- **Sur-tensions** : risque de détérioration des équipements

En cas de sur- ou sous-tensions prolongées,
des **appareils peuvent se déconnecter**

Si elles sont généralisées, il y a un **risque de déstabiliser le réseau électrique**
et de conduire à un **black-out**



Actions des gestionnaires de réseau pour maintenir la tension dans les plages contractuelles

Au moment du raccordement, proposition d'une solution qui permet de rester dans les plages admissibles

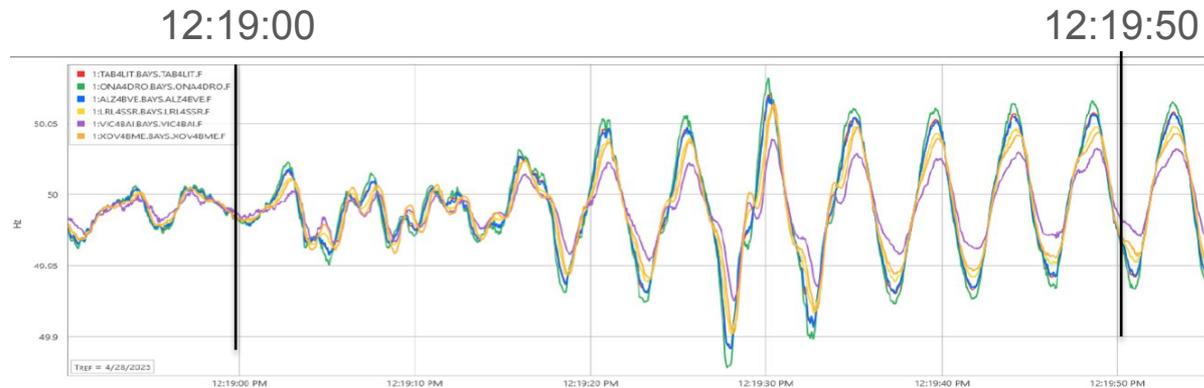
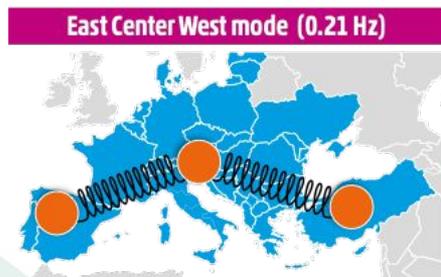
En exploitation :

- Des **actions manuelles** : déconnecter/reconnecter des lignes, des bancs de condensateurs ou des réactances, changer les prises dans les transformateurs
- Des **actions automatiques** : absorption / injection de puissance réactive par les utilisateurs du réseau, dispositifs automatiques sur le réseau (STATCOM)

Oscillations observées entre 12h et 12h30

2 séquences d'oscillations :

- Entre **12h03 et 12h08** Une oscillation “locale” à **0,63 Hz** pourrait être liée à un phénomène “d'oscillation forcée” – à confirmer
amplitude en fréquence : 100 mHz, amplitude en tension 32,7 kV
- Entre **12h19 et 12h22** Une oscillation à **0,21 Hz** correspond à un “mode typique est-centre-ouest de l'Europe”
amplitude en fréquence : 200 mHz, amplitude en tension 27 kV

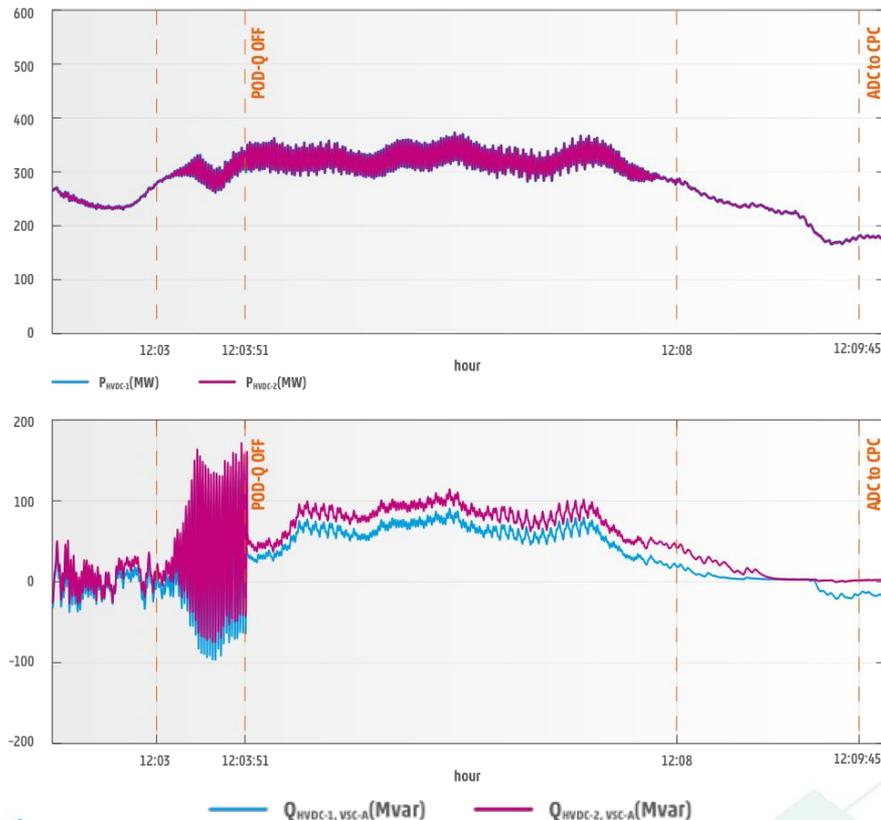


Diverses mesures prises pour amortir ces oscillations :

- Couplage de plusieurs lignes 400 kV dans le sud de l'Espagne
- Réduction des exports de l'Espagne vers la France et le Portugal
- Changement du mode d'exploitation de la ligne HVDC France-Espagne

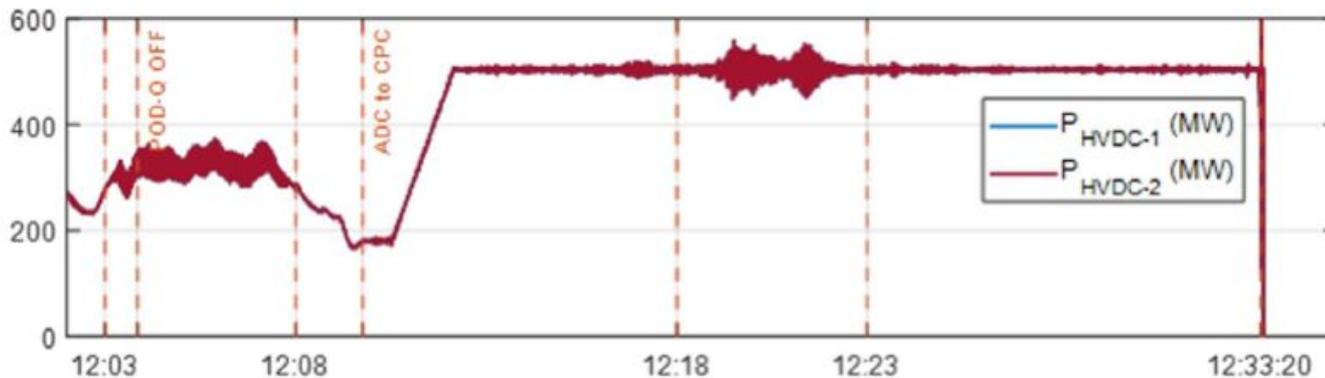
=> Augmentation de la tension sur le réseau 400 kV suite à ces actions

Flux de puissance active et réactive à PMU LIG4 ECSL bay 1
28 avril 2025 • 12:00:00 - 12:10:00



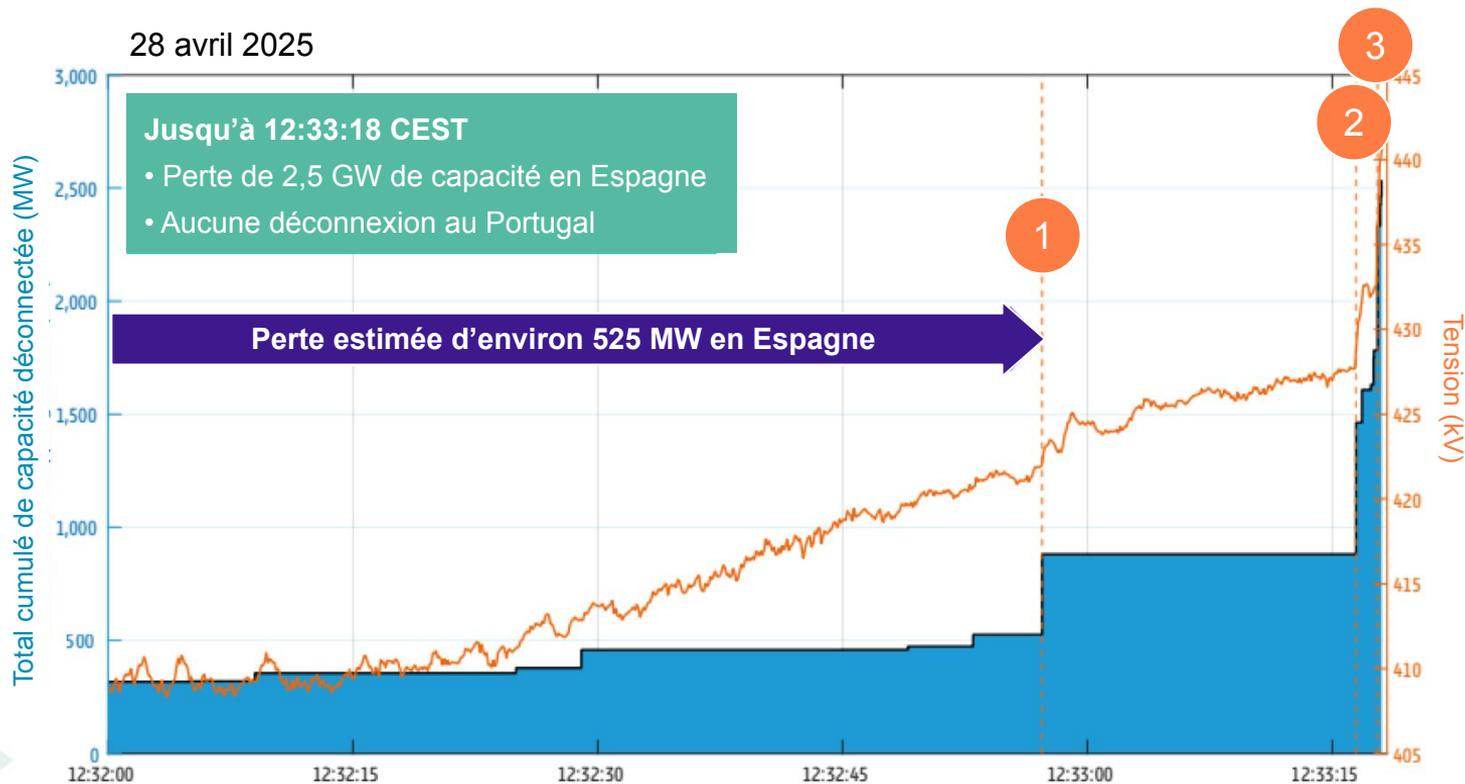
Exploitation de la ligne HVDC France-Espagne

- En régime normal : exploitation en mode “hybride” qui simule le comportement des lignes AC (“PMode3”)
- Possibilité de passer en mode P constant (“PMode1”)



Puissance active (MW) transitée sur les deux lignes HVDC dans le sens Espagne → France entre 12h03 et 12h33

Séquence des événements : le début de la fin



Séquence des événements : le début de la fin



OSM transmission lines
— 400 kV
— 220 kV

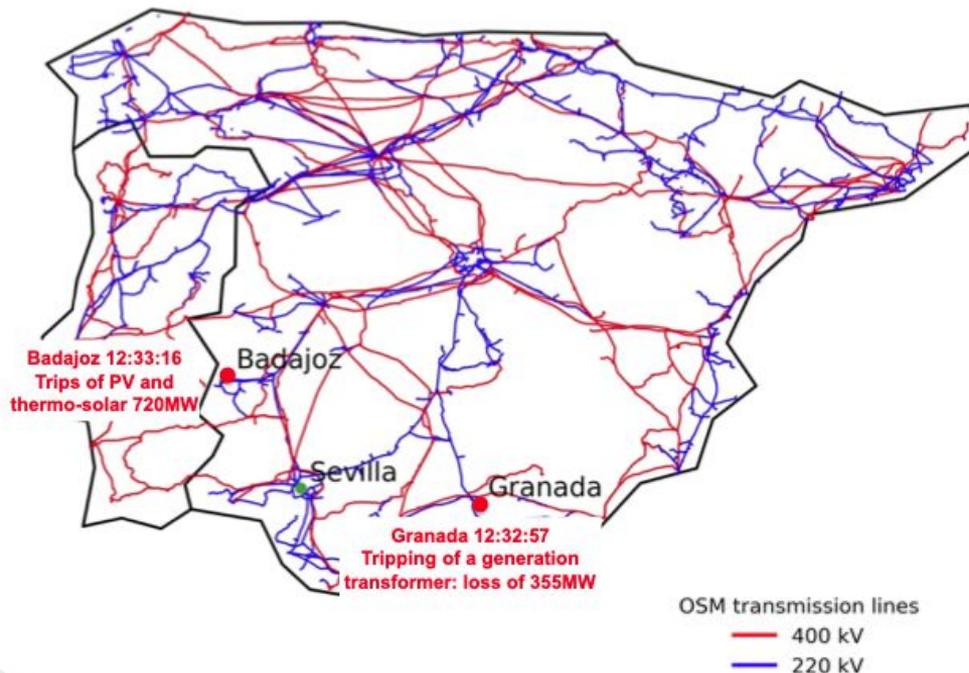
1

12:32:57

Perte d'un transfo de production
220/400 kV (355 MW) dans la région
de Grenade (activation des protections
contre les surtensions)

Source : Prof. Lijun Cai, from ENTSO-E

Séquence des événements : le début de la fin



1 12:32:57

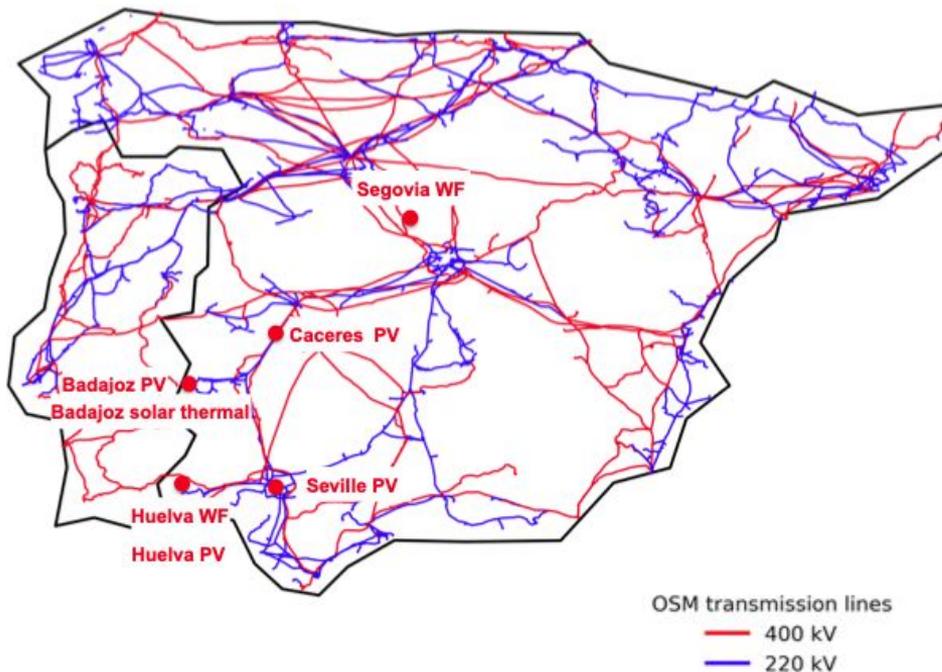
Perte d'un transfo de production 220/400 kV (355 MW) dans la région de Grenade (activation des protections contre les surtensions)

2 12:33:16

Perte de plusieurs installations solaires (725 MW) raccordées au réseau 400 kV à Badajoz

Source : Prof. Lijun Cai, from ENTSO-E

Séquence des événements : le début de la fin



Source : Prof. Lijun Cai, from ENTSO-E

1

12:32:57

Perte d'un transfo de production 220/400 kV (355 MW) dans la région de Grenade (activation des protections contre les surtensions)

2

12:33:16

Perte de plusieurs installations solaires (725 MW) raccordées au réseau 400 kV à Badajoz

3

12:33:18

Perte de plusieurs installations PV et éoliennes (800 MW) à Segovia, Huelva, Badajoz, Seville et Cáceres

Pourquoi la déconnexion des moyens de production a conduit à augmenter la tension ?

Phénomène 1

déconnexion des installations

=

moins de puissance réactive
soutirée du réseau

=

augmentation de tension

Phénomène 2

déconnexion des installations

=

lignes moins chargées

=

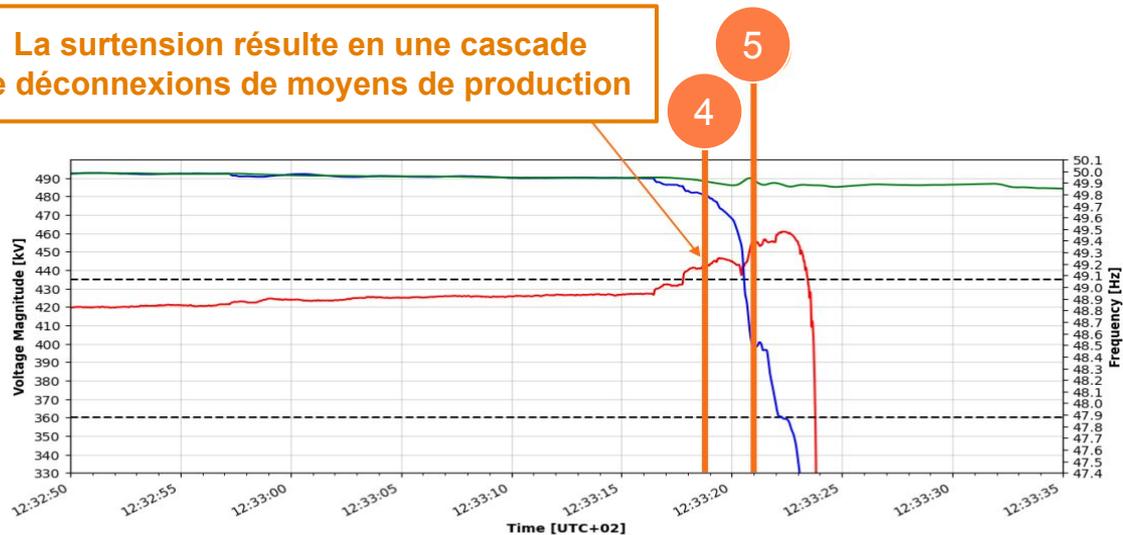
comportement capacitif

=

augmentation de tension

Séquence des événements : perte du synchronisme

La surtension résulte en une cascade de déconnexions de moyens de production



— Carmona (ES) - Fréquence — Carmona (ES) - Amplitude en tension
— Bassecourt (CH) - Fréquence - - - Limite de tension supérieure (435 kV)
- - - Limite de tension inférieure (360 kV)

- 4** 12:33:19
Baisse de fréquence sur la péninsule ibérique et perte du synchronisme avec le reste de l'Europe
Plan de défense du système activé
- 5** 12:33:31
Déconnexion de toutes les interconnexions avec la France et le Maroc

Résumé des différentes étapes

28 avril 2025

09:00 - 12:00

Phase 0 : oscillations contrôlées de la tension et de la fréquence

12:03 - 12:22

Phase 1 : oscillations plus importantes et actions d'amortissement de ces oscillations

12:32:57 - 12:33:18

Phase 2 : pertes de production dues à la surtension

12:33:19 - 12:33:31

Phase 3 : effondrement de la tension et de la fréquence provoquant la situation de **black-out**

12:33:32 - 07:00

Phase 4 : rétablissement de l'alimentation avec un rétablissement complet à 14:36



Échanges



Vincent KRAKOWSKI,
association Hespul

Causes & enseignements • 2

Les causes (1/2)

*Le rapport ENTSO-E ne se prononce pas complètement sur ce point :
des analyses complémentaires sont menées jusqu'en début 2026*

Plusieurs conclusions ressortent du **rapport du gouvernement espagnol** :

1. Défaillance d'équipements

- Un groupe électrogène avec capacité de réglage de tension situé dans le sud de l'Espagne est tombé en panne la veille et n'a pas été remplacé
- Un groupe diesel dans le sud de l'Espagne a également eu un comportement anormal

2. Des problèmes de réglage de tension et puissance

- Moindre absorption de réactif par les groupes couplés ayant une capacité de réglage de tension
- Des mauvais réglages du facteur de puissance de différents types d'utilisateurs (réseau de distribution, consommateurs...)

3. Des défauts de réaction aux oscillations

- Les réactions du système électrique pour protéger le système contre les oscillations de fréquence ont fait augmenter la tension
- Certaines déconnexions de générateurs sont survenues trop tôt

Une production EnR typique du mois d'avril

Le 28 avril, la production éolien + PV n'était à un niveau record ni en puissance, ni en proportion



The screenshot shows the top of a pv magazine article. The header is dark blue with 'pv magazine' in white. Below the header is a navigation menu with items: News, Features, Events, Awards, Partner news, pv magazine test, Magazine, and About. The main article title is 'Spain hits first weekday of 100% renewable power on national grid'. The text below the title states: 'Spain's grid ran entirely on renewable energy for the first time on April 16, with wind, solar, and hydro meeting all peninsular electricity demand during a weekday. Five days later, solar set a new record, generating 20,120 MW of instantaneous power – covering 78.6% of demand and 61.5% of the grid mix.' The date 'APRIL 22, 2025' and author 'PILAR SÁNCHEZ MOLINA' are listed at the bottom of the article snippet.

16 avril 2025 :

100% de la demande couverte par éolien + PV + hydro

11h15 :

PV + éolien = 100,6% de la demande (et 72,3% du mix de production)

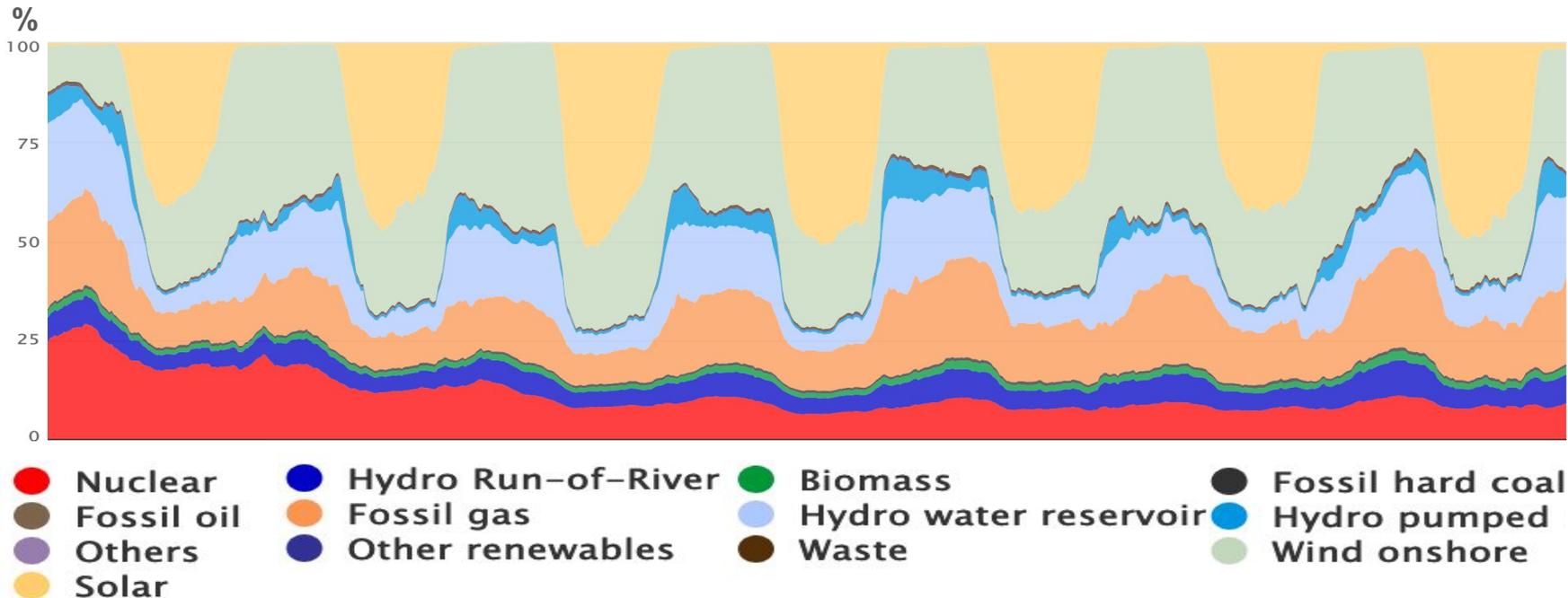
21 avril 2025 :

record PV avec >20 GW produit soit 78,6% de la demande et 61,5% du mix de production



HESPUL

Une production EnR typique du mois d'avril

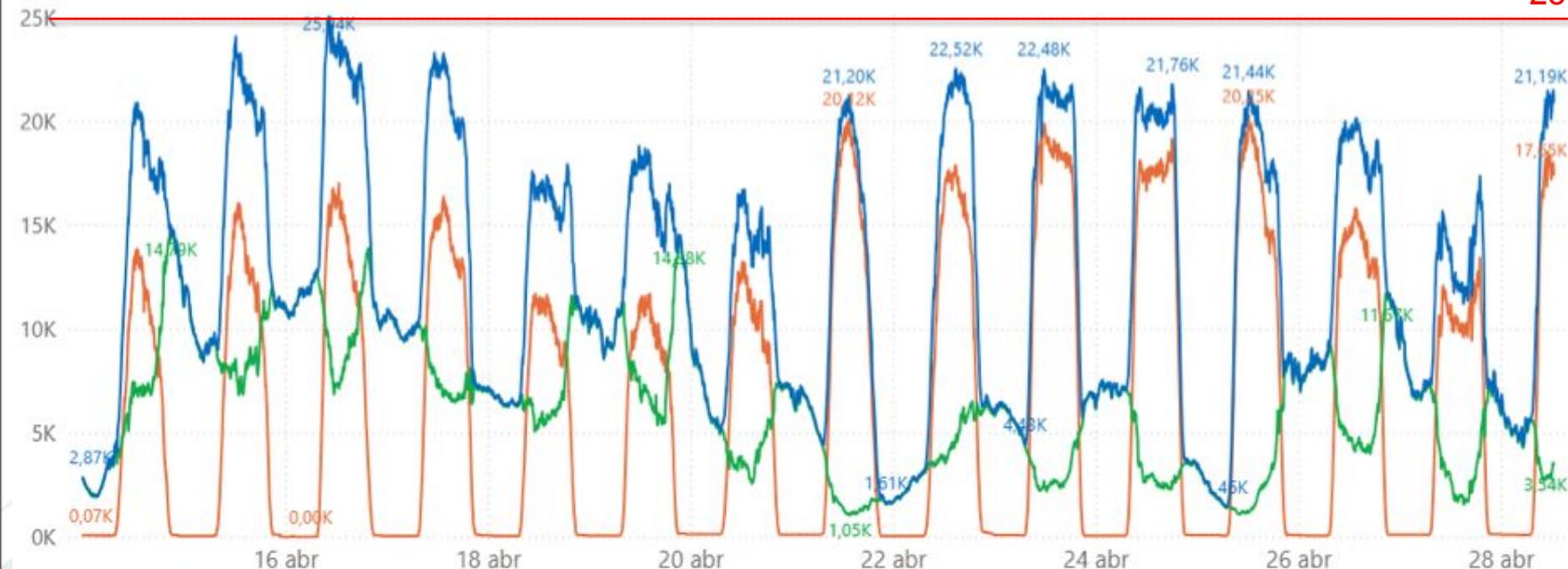


mix électrique espagnol la semaine 16 (du 14 au 20 avril 2025)

Source : Energy-Charts (données originales ENTSO-E)

Une production EnR typique du mois d'avril

25 GW



● Solar PV
 ● Wind
 ● Solar PV + Wind

L'inertie du système électrique ibérique était dans les plages adéquates

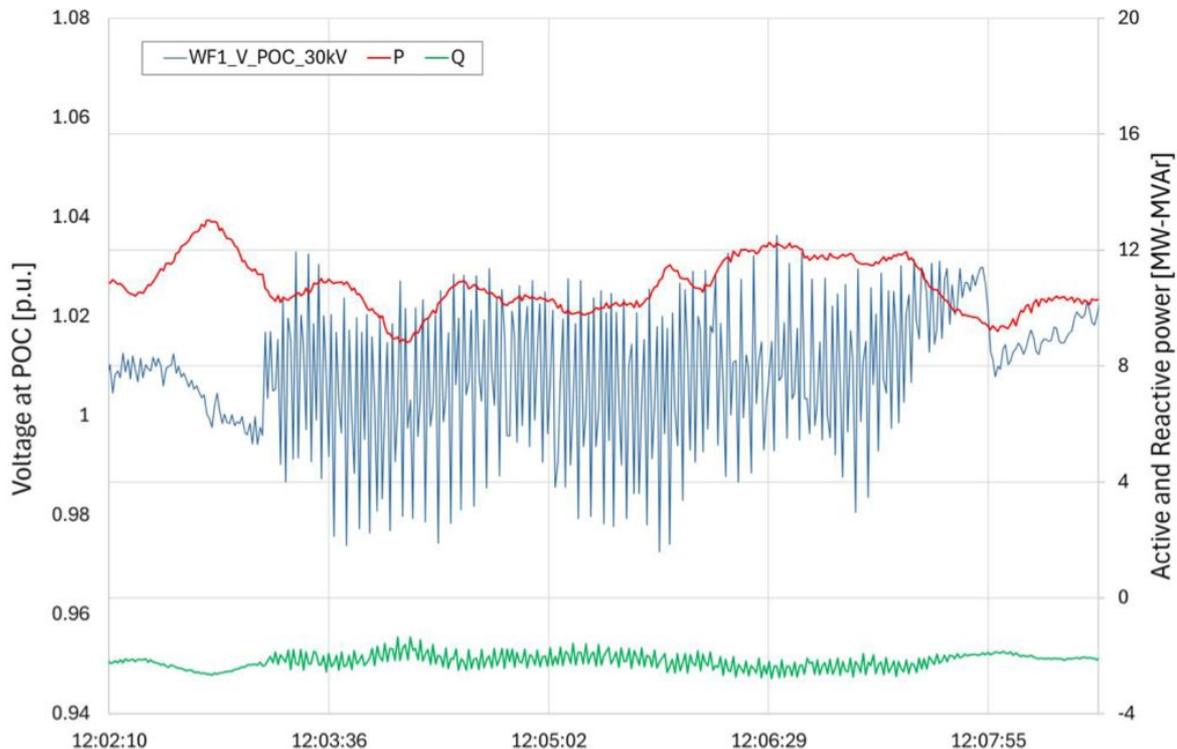
| Spain | | Portugal | | Iberian Peninsula | |
|----------|---------------|----------|---------------|-------------------|---------------|
| KE (MWs) | H_{tot} (s) | KE (MWs) | H_{tot} (s) | KE (MWs) | H_{tot} (s) |
| 97,590 | 2.17 - 2.67 | 21,884 | 2.45 - 2.95 | 119,474 | 2.21 - 2.71 |

Inertie en Espagne, au Portugal et sur l'ensemble de la péninsule ibérique juste avant l'incident (à 12h30)



Puissance installée minimale des installations conventionnelles (>30 MW) sur le réseau espagnol atteinte du 1er janvier au 28 avril 2025

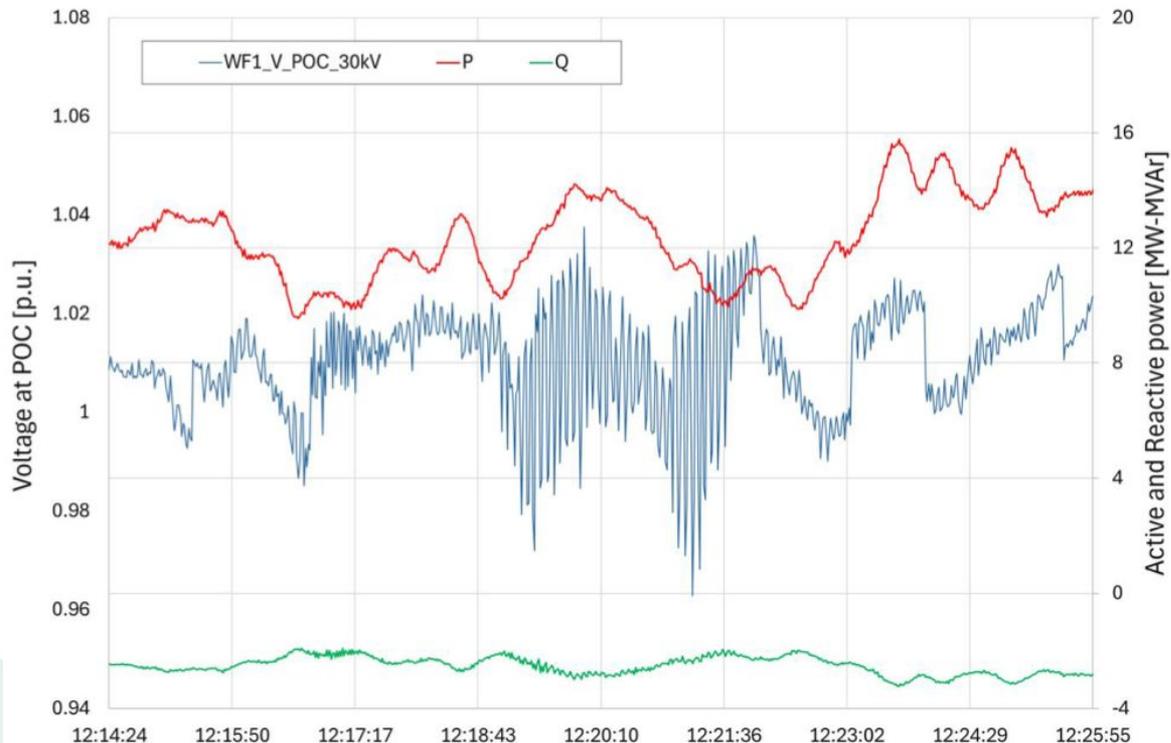
Comportement d'éoliennes durant l'incident : oscillation 0,63 Hz



Source : Nordex

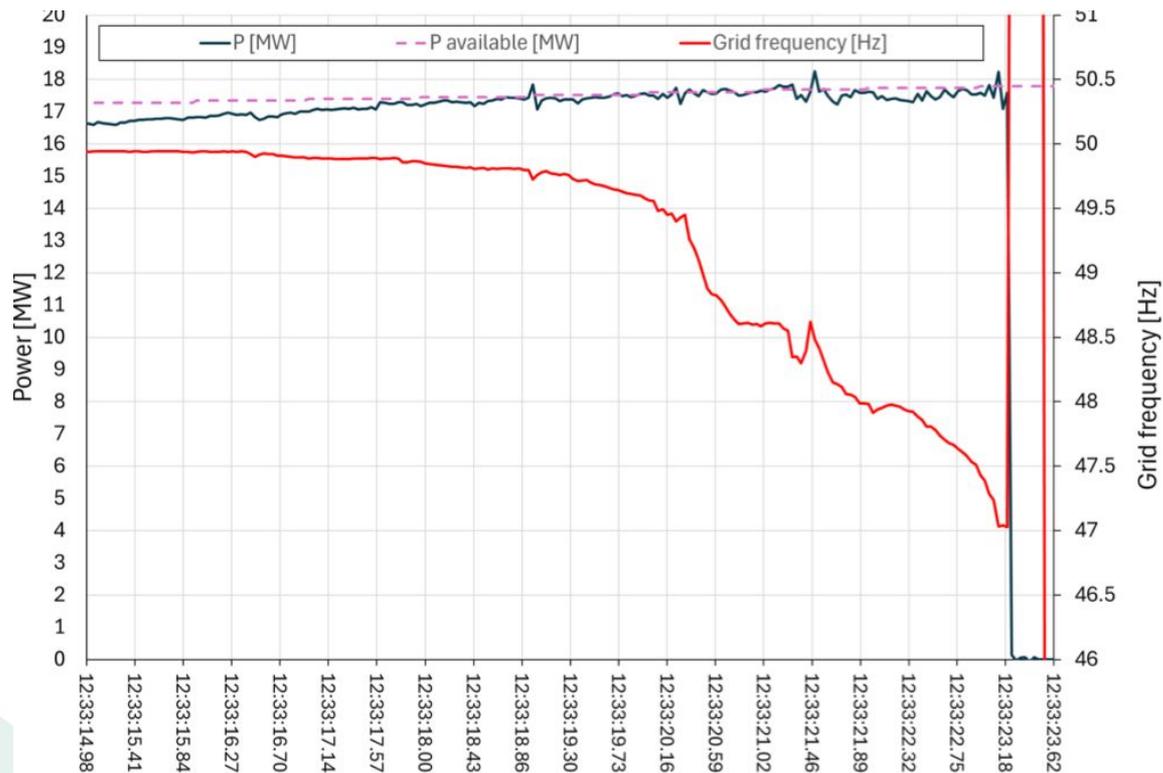
www.hespul.org

Comportement d'éoliennes durant l'incident : oscillation 0,21 Hz



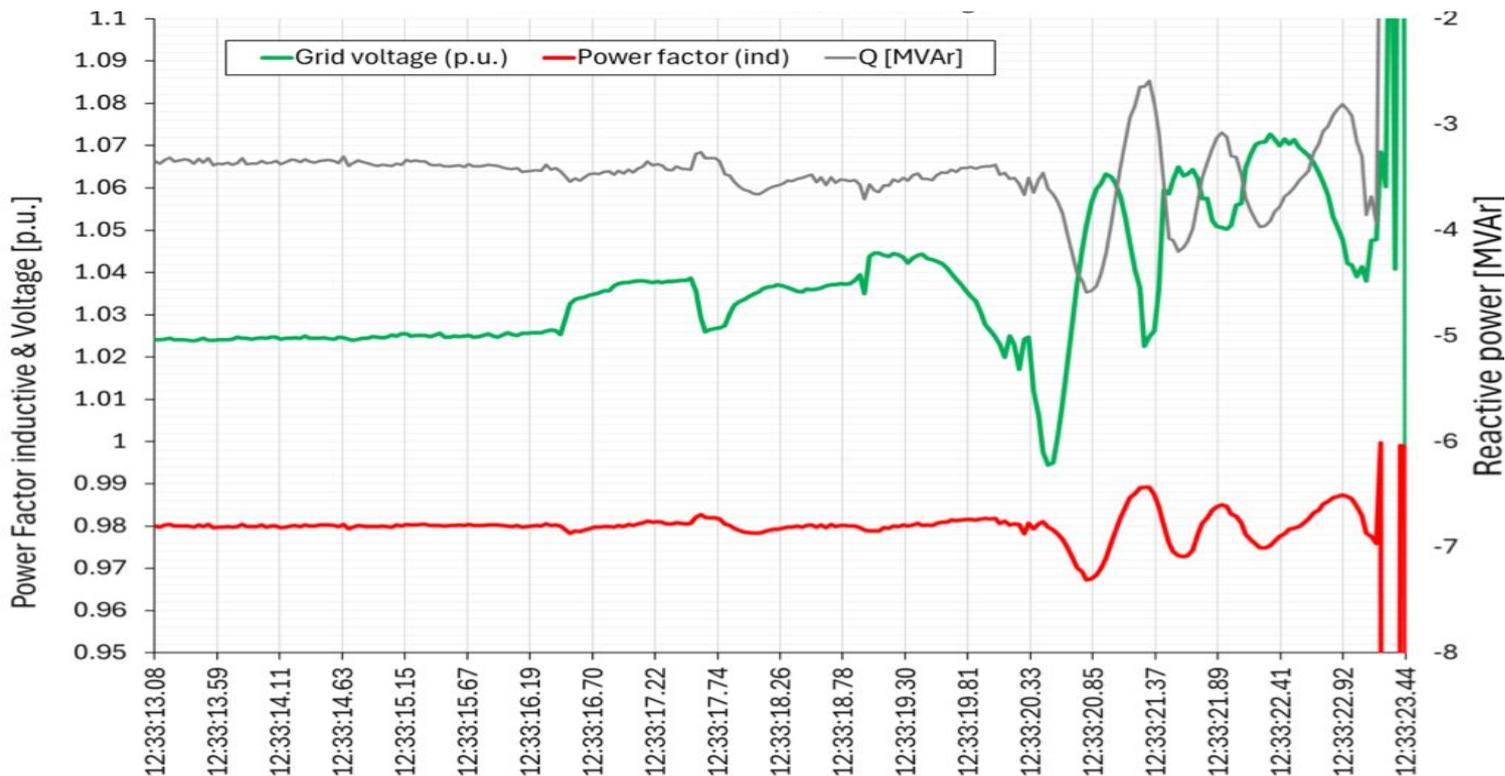
Source : Nordex

Comportement d'éoliennes durant l'incident : phase finale – comportement en puissance active



Source : Nordex

Comportement d'éoliennes durant l'incident : phase finale – comportement en puissance réactive



Un élément à éclaircir sur le PV diffus



3 oscillations ont eu lieu le 28 avril avant l'incident et ont provoqué une hausse de la consommation résiduelle peut-être due à une perte de production PV décentralisée (< 1 MW) => à confirmer



Marc JEDLICZKA,
Association négaWatt

Prise de recul • **3**

Des certitudes :

- Pas de faits(s) déclenchant(s) du black-out formellement identifié(s) à date, plutôt un enchaînement d'incidents et d'anomalies
- Pas un problème d'inertie ni de surproduction d'EnR
- Pas de comportement anormal des moyens de production EnR vis-à-vis des attentes du réseau, y compris en matière de soutien (cas des éoliennes)

Des interrogations :

- Aurait-on pu éviter le black-out ou en limiter les effets ?
- Le black-out remet-il en cause la faisabilité d'un système électrique 100% EnR ?

La réponse de RTE

Conclusion du GT
"équilibre du système
électrique" des Futurs
énergétiques 2050
(avril 2020)

Synthèse : les différentes solutions envisageables

- ① Conserver une part de production classique dans le mix de production
- ② Améliorer le contrôle des onduleurs *grid-following*, avec des contrôles du type inertie virtuelle
- ③ Installer des compensateurs synchrones
- ④ Avoir une partie des convertisseurs qui soient *grid-forming*.

} Solutions qui permettent d'atteindre 100% de production ENR à base de convertisseurs

→ « La » solution résidera probablement dans un mix de ces solutions

La comparaison des coûts en matériel et pertes montre à ce stade que les ordres de grandeurs sont similaires entre l'utilisation de *grid forming* ou de compensateurs synchrones (analyses à prolonger)

La réponse de RTE

Conclusion du GT
“équilibre du système
électrique” des Futurs
énergétiques 2050
(avril 2020)

Conclusions

RTE se prépare à assurer le fonctionnement du réseau quelque soit le mix énergétique

- Dans un mix 100% ENR, la stabilité devrait pouvoir être assurée
 - sous réserve d'installer des compensateurs synchrones
 - ou d'avoir une partie des onduleurs qui se comportent en *grid-forming*.
- Conserver une part de machines tournantes dans le mix énergétique permettrait aussi d'assurer la stabilité, mais pourrait limiter la pénétration des EnR
- Le déploiement de solutions spécifiques pour assurer la stabilité doit être anticipé avant même d'arriver sur des taux très importants d'EnR
- Dans la phase transitoire, la présence d'onduleurs *grid-forming* aura un effet stabilisant sur les machines synchrones encore présentes.
- La transition se ferait doucement, et les problèmes qui pourraient se poser pourront être étudiés au fur et à mesure avec l'expérience acquise



Rapport AIE - RTE Janvier 2021

Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050

4 conditions strictes pour atteindre le 100% renouvelable :

1. Disposer de solutions pour maintenir la stabilité du système électrique (compensateurs synchrones, onduleurs grid forming)
2. Développer des flexibilités en quantité suffisante (pilotage demande, stockage, centrales de pointe, interconnexions)
3. Dimensionner correctement les réserves opérationnelles et améliorer la prévision de production renouvelable
4. Développer les réseaux électriques (transport et distribution)

pv magazine

Actualités ▾ Opinion et analyse Articles de fond ▾ Événements ▾ À propos ▾

Le gestionnaire du réseau espagnol autorise les EnR à assurer le contrôle dynamique de la tension

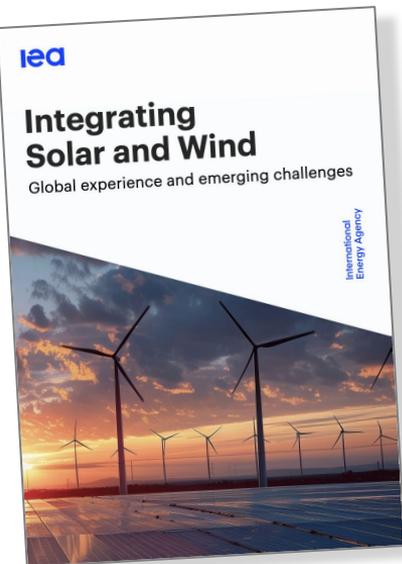
Le gestionnaire du réseau espagnol a approuvé 24 centrales d'énergie renouvelable pour fournir des services de contrôle dynamique de la tension à partir de janvier, leur accordant une priorité d'accès dans le cadre d'un nouveau programme opérationnel.

OCTOBRE 31, 2025 PILAR SÁNCHEZ MOLINA

PV AU SOL RACCORDEMENT ESPAGNE

- Le contrôle dynamique de la tension est une fonctionnalité native des onduleurs inexploitée par le réseau espagnol avant le black-out
- En attente depuis 2020, la décision de la rendre opérationnelle pour le réseau a été prise en juin 2025
- C'est une première réponse très partielle au retard pris par REE pour adapter les règles de conduite de son réseau et les mettre aux normes européennes

Septembre 2024



Six phases d'intégration des énergies renouvelables variables (ERV)

Phase 1 : les ERV n'ont pas d'impact significatif dans le système électrique

Phase 2 : les ERV ont un impact mineur à modéré dans le système électrique

Phase 3 : les ERV déterminent les schémas d'exploitation du système électrique

Phase 4 : les ERV couvrent presque toute la demande à certaines périodes

Phase 5 : les ERV génèrent des volumes significatifs en surplus au cours de l'année

Phase 6 : la fourniture sécurisée d'électricité repose presque exclusivement sur les ERV

“La plupart des solutions technologiques pour traiter les défis émergents (...) sont mûres ou disponibles sur le marché, l'enjeu résidant plutôt dans l'adaptation du cadre politique et réglementaire nécessaire (...).”

“Pour les phases 4 et 5, il s'agit pour l'essentiel de déployer des technologies existantes plutôt qu'en développer de nouvelles.”

“Pour la phase 6, des technologies viables existent, mais leur déploiement à la bonne échelle reste limité, et demande plus de tests et d'incitation économique.”

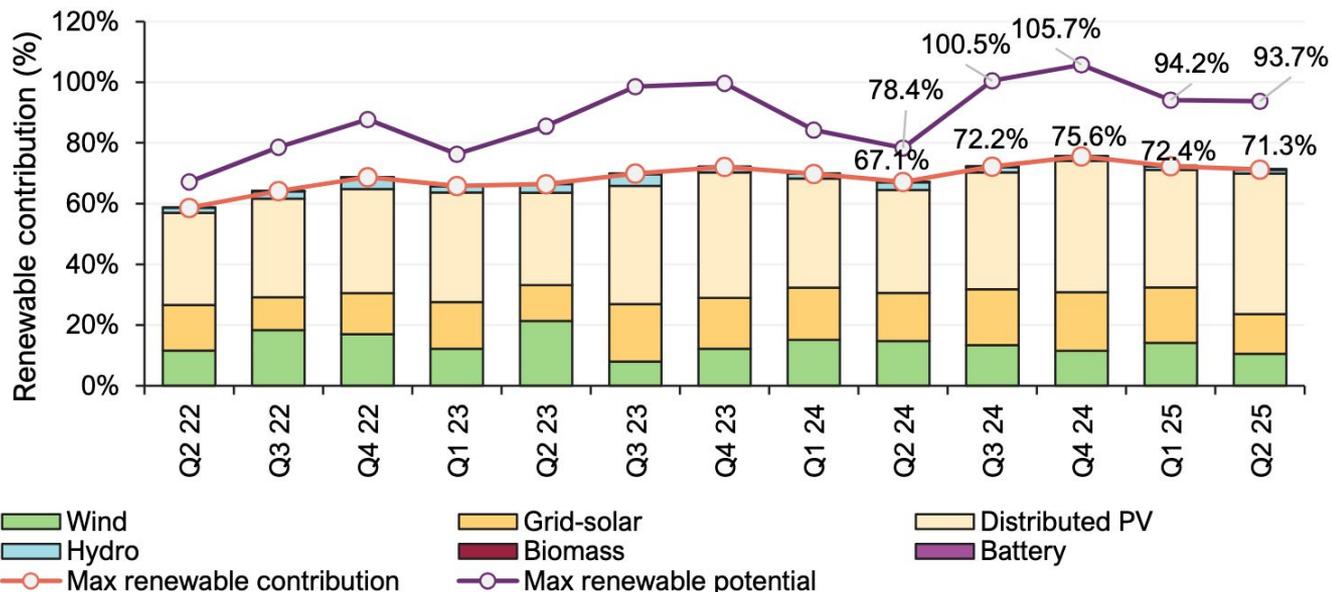
Le cas de l'Australie : une pénétration record des EnR



Australie est et sud-est (NEM)

Percentage of NEM supply from renewable energy sources at time of peak renewable contribution

NEM = National Electricity Market
88% de la population, 65% du territoire



Potentiel moyen sur 1 an : 98%

Taux moyen sur 1 an : 72%

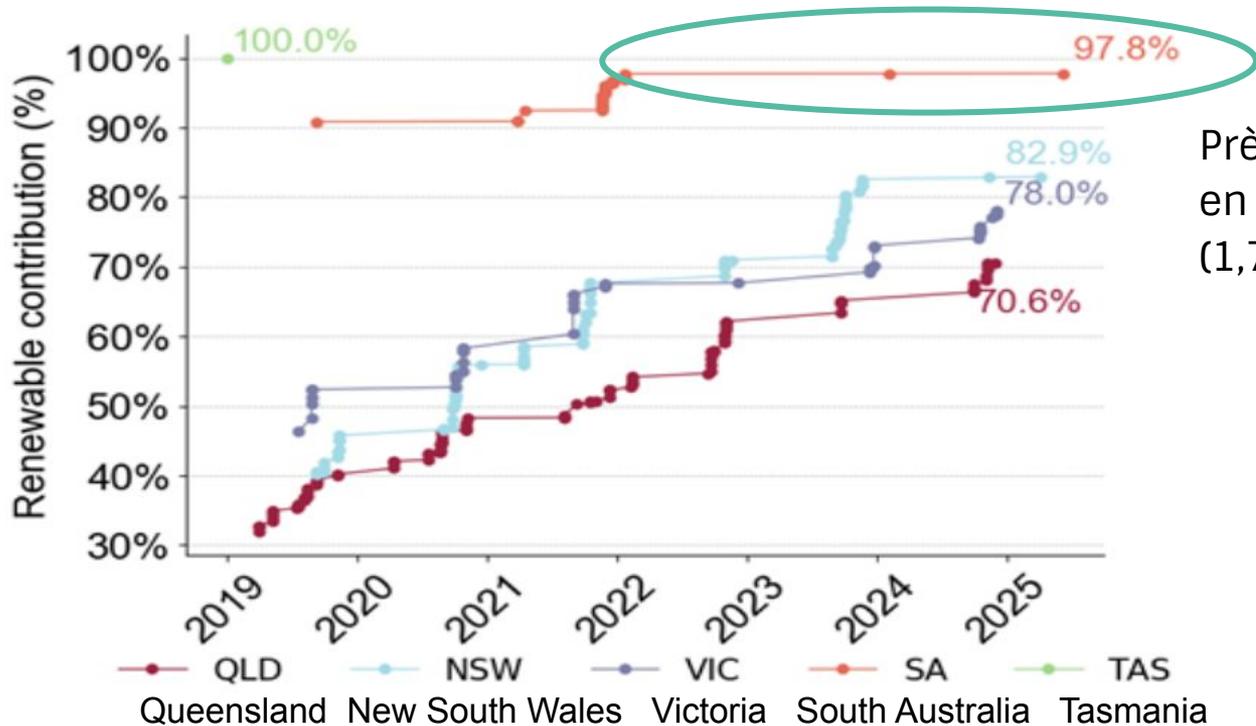
Aucun incident notable !

Source : Australian Energy Market Operator, quarterly energy dynamics Q2 2025

↘ Le cas de l'Australie : une pénétration record des EnR



Change in peak renewable contribution record by region



Près de 100% EnR depuis 3 ans en Australie méridionale (1,7 million d'habitants)

pv magazine

'Grid-forming' battery goes online in Australia

The 185 MW / 370 MWh Koorangie battery energy storage project in Victoria has reached a major milestone with developer Edify Energy confirming the system has successfully exported power to the grid for the first time.

FEBRUARY 17, 2025 DAVID CARROLL

ENERGY STORAGE GRIDS & INTEGRATION MARKETS UTILITY SCALE STORAGE AUSTRALIA



Image: Sosteneo Infrastructure Partners

Un exemple à échelle significative en Australie :

- Puissance totale : 125 MW
(2,6 GW de batteries prévu dans l'État de Victoria en 2030)
- Contribution à la stabilité du réseau, y.c. inertie
- Contrat entre opérateur et réseau sur 20 ans
- Objectif : fermeture des 16 centrales à charbon encore en activité en Australie

→ Aurait-on pu éviter le black-out ou en limiter les effets ?

De nombreux éléments laissent penser qu'une meilleure exploitation des fonctionnalités avancées de l'électronique de puissance présente sur le réseau aurait permis sinon d'éviter le black-out, du moins d'en limiter fortement les effets.

Cela passe par un dialogue plus poussé et une meilleure coopération entre les gestionnaires des réseaux et les exploitants d'actifs de production, de stockage et de flexibilité, si besoin en faisant évoluer le cadre réglementaire.

→ Le black-out remet-il en cause la faisabilité d'un système électrique 100% EnR ?

Loin de remettre en cause cette faisabilité, le black-out ibérique incite au contraire à accélérer la transition vers un système électrique réellement intelligent en exploitant mieux les technologies aujourd'hui disponibles dans une logique gagnant-gagnant pour tous les acteurs et pour la collectivité.



Yves MARIGNAC,
Association négaWatt

Synthèse & échanges

Analyse des causes

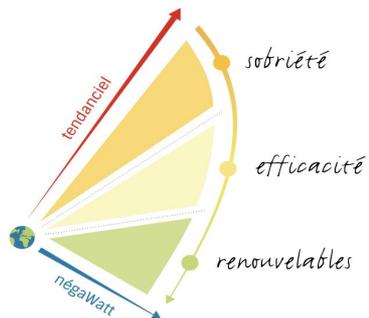
- Les causes du black-out ibérique restent encore confuses...
- ... mais l'analyse permet d'écarter l'hypothèse d'une panne déclenchée par les énergies renouvelables
- Aussi, l'incident ne remet pas en cause la perspective d'une forte pénétration des renouvelables...
- ... mais montre la nécessité d'une évolution rapide des règles de gestion du système pour s'y adapter

Enseignements et suites

- La forte pénétration des énergies renouvelables impose d'intégrer leur contribution aux dispositifs de sécurité du système
- Cela passe notamment par l'exploitation du mode grid-forming des onduleurs de puissance
- D'autres solutions (compensateurs synchrones, services système des batteries...) doivent également être déployées
- Ces évolutions doivent être techniquement, économiquement et réglementairement anticipées, d'autant plus dans le contexte spécifique français



À vous pour les commentaires et questions !



<https://www.negawatt.org>

La démarche nW,
le scénario négaWatt
pour la France
et nos propositions



Clever

A Collaborative Low Energy Vision
for the European Region

<https://clever-energy-scenario.eu>

Le premier scénario
basé sur la sobriété
à l'échelle
européenne



FULFILL

Fundamental decarbonisation
through sufficiency
by lifestyle changes

<https://fulfill-sufficiency.eu>

Le premier projet
UE Horizon 2020
entièrement dédié
à la sobriété

**Merci pour votre
participation !**



ASSOCIATION
négaWatt

Contact[at]negawatt.org



Annexes

Le plan de tension : régime normal

La **tension doit être maintenue dans des plages admissibles** : dans ces plages, les installations de production doivent fonctionner sans s'arrêter *pendant une durée indéterminée*

Exemple pour la France :

| Domaine de tension | Tension nominale U_n | Plage de variation de la tension |
|--------------------|------------------------|----------------------------------|
| HTB1 | 63 kV | [55 kV ; 72 kV] |
| | 90 kV | [78 kV ; 100 kV] |
| HTB2 | 225 kV | [200 kV ; 245 kV] |
| HTB3 | 400 kV | [380 kV ; 420 kV] |

Article 8 de l'arrêté du 9 juin 2020

Le plan de tension : régime secouru

Il existe également des **plages de fonctionnement « exceptionnel »** durant lesquelles est défini une *durée minimale de fonctionnement*

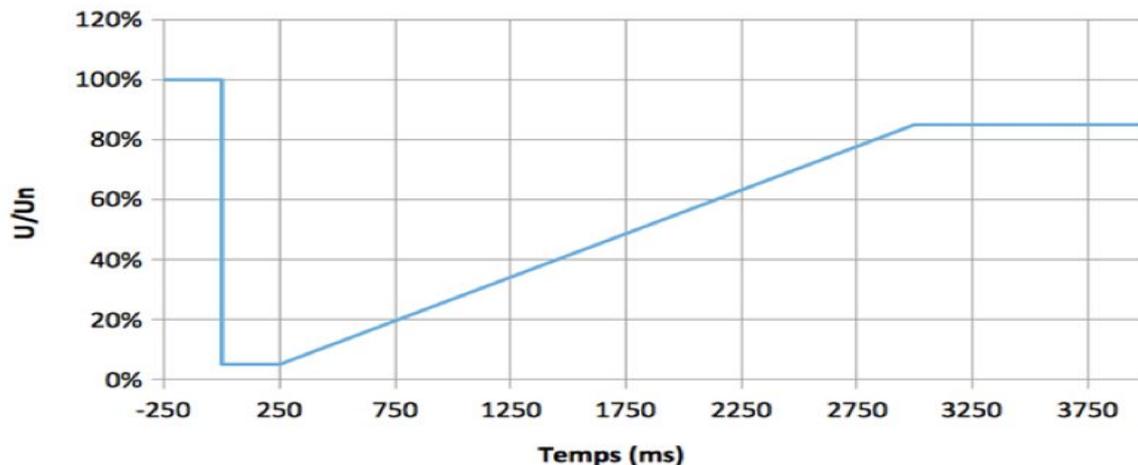
Exemple pour la France :

| Domaine de tension | Tension nominale Un | Tension de référence (1pu) | Plage exceptionnelle de variation de la tension au point de raccordement | Durée minimale de fonctionnement |
|--------------------|---------------------|----------------------------|--|----------------------------------|
| HTB2 | 225kV | 220 kV | [1,118pu ; 1,15 pu] soit [245kV ; 253kV] | 20 minutes |
| HTB3 | 400kV | 400 kV | [1,05 pu ; 1,10 pu] soit [420kV ; 440kV] | 20 minutes |

Article 44 de l'arrêté du 9 juin 2020

« Défauts », tension et comportement attendu des générateurs

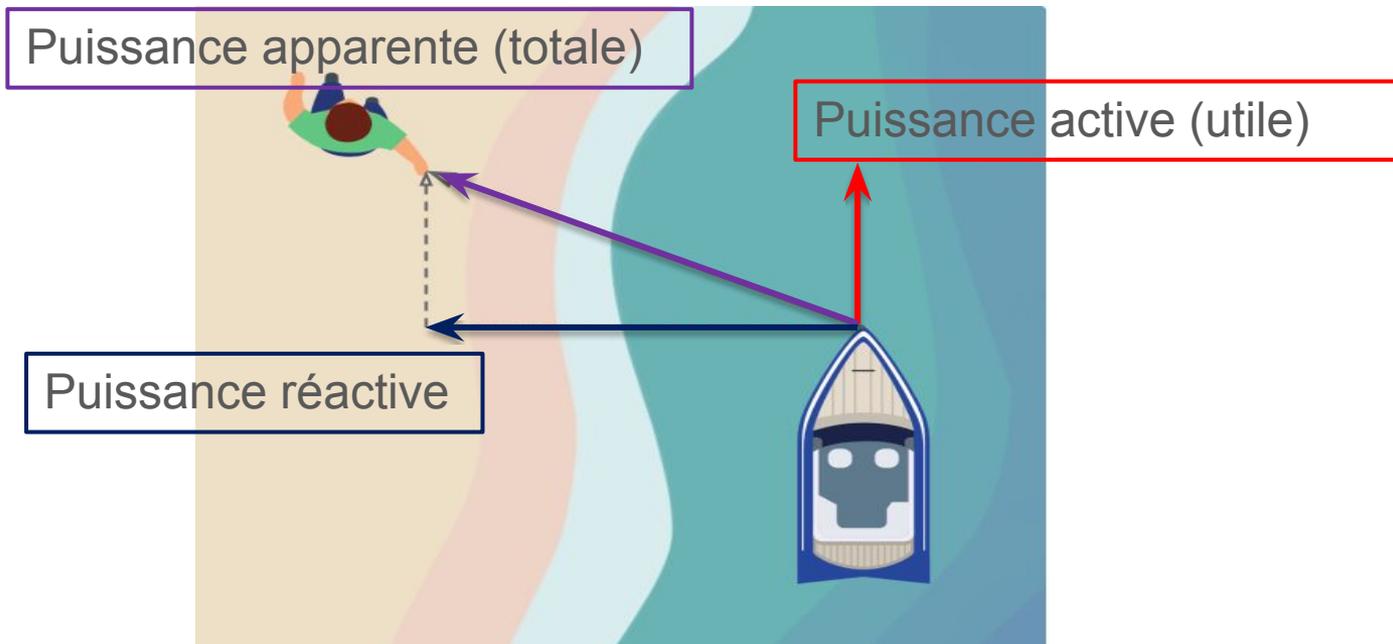
En cas de défaut sur le réseau : apparition d'un « creux de tension »



Article 44 de l'arrêté du 9 juin 2020

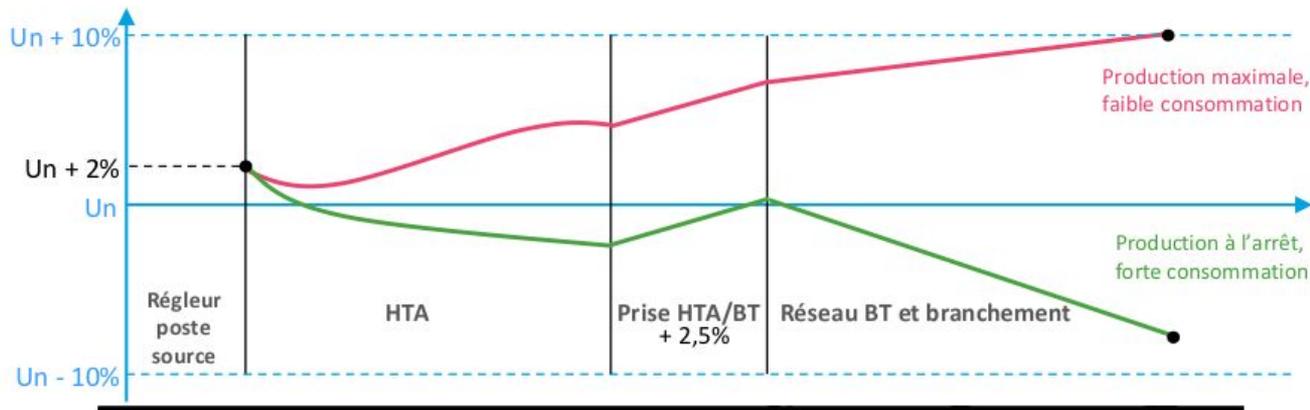
Dans ce gabarit de tension, l'installation de production (> 10 kVA) **doit rester connectée** mais **au-delà, elle doit se déconnecter** (protection de découplage)

La puissance réactive, c'est quoi ?



La **puissance réactive** n'est pas directement utile pour faire fonctionner des installations électriques mais est tout de même **responsable de pertes**
=> il faut dimensionner les appareils, les câbles etc. sur la puissance apparente !

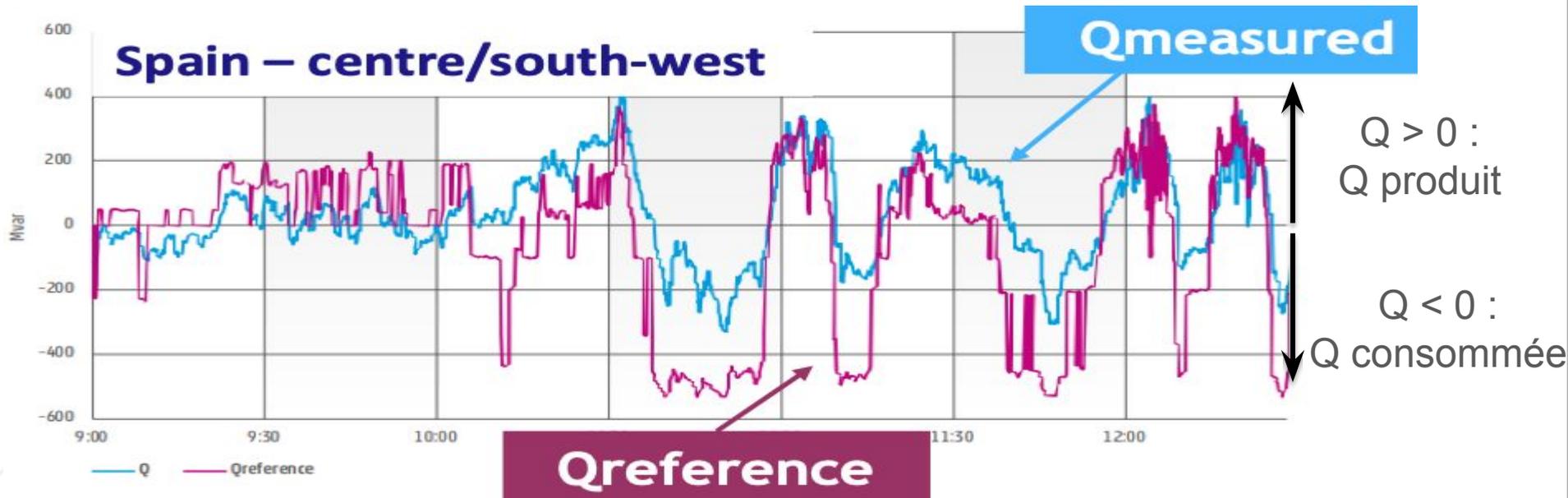
Comme la puissance active, la puissance réactive fait varier la tension sur le réseau



Consommation de puissance réactive = baisse de la tension
Production de puissance réactive = augmentation de la tension

- En haute tension, c'est surtout la **puissance réactive qui fait varier la tension !**

Puissance réactive prévue et réelle en Espagne avant l'incident



Puissance réactive agrégée pour tous les groupes thermiques de plus de 100 MW

Interconnexions France - Espagne

4 interconnexions AC pour une capacité totale de 1,4 GW :

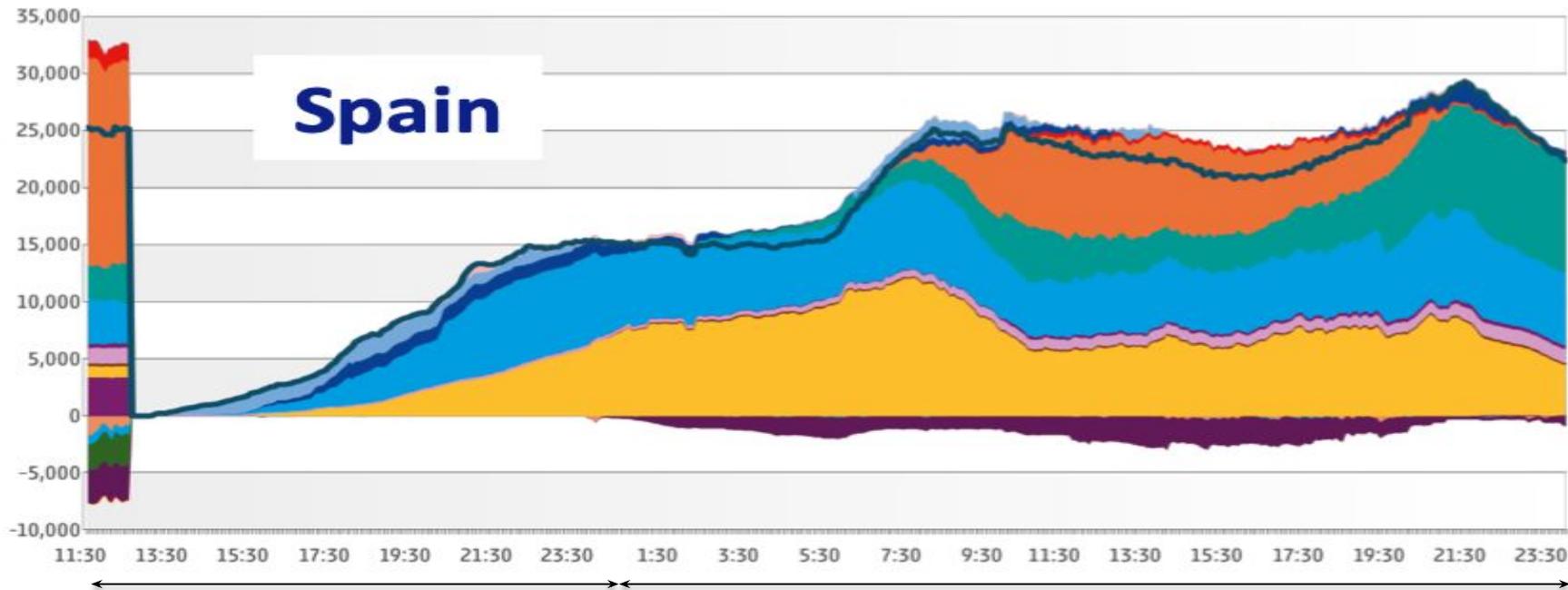
- 2 interconnexions 400 kV (Argia-Hernani à l'ouest et Baixas-Vic à l'est)
- 2 interconnexions 225 kV (Argia-Arkale et Biescas-Pragnères toutes les deux à l'ouest)

1 interconnexion DC Baixas - Santa Llogaia pour une capacité de 2 GW
(2 lignes de 1 GW chacune)

- 2ème interconnexion de type "VSC" (convertisseurs alimentés en tension) dans le monde et la plus puissante



Retour à la normale : évolution du mix espagnol



28 avril

29 avril



Retour à la normale : évolution du mix portugais

