

PLUS D'ÉLEC ?

*Éléments factuels sur le black-out ibérique du 28 avril
2025 et réflexions autour de cet événement*

Vincent krakowski – expert réseaux à Hespul

De quoi on parle ?

Le 28 avril 2025 à 12h33, un **black-out** (c'est à dire une coupure totale de l'alimentation électrique) historique touche la péninsule ibérique pendant près de 12 heures

29 ABRIL 2025
[Descargar portada](#)
[Comprar ejemplar](#)
[Comprar portada impresa](#)

Fundado en 1976
Año L
Número 17.439

EL PAÍS
EL PERIÓDICO GLOBAL

Edición Madrid
2.00 euros
Martes
29 de abril de 2025

UNA CAÍDA ELÉCTRICA MASIVA AFECTA A TODA LA PENÍNSULA IBÉRICA
El gran apagón

- El Gobierno no descarta ninguna hipótesis sobre la causa de un colapso energético sin precedentes
- El fenómeno interrumpe el teléfono, internet y el tráfico ferroviario, y crea enormes atascos en las ciudades
- A las 12.33 desaparecieron del sistema 15 gigavatios de potencia, equivalentes al 60% de la demanda

ÁLVARO SÁNCHEZ
CARLOS E. CUE
Madrid

El peor apagón eléctrico de la historia reciente de España paralizó ayer toda la península Ibérica. El corte energético empezó pasado el mediodía y paralizó la actividad en comercios e industria, comunicaciones, carreteras, trenes y aeropuertos, colegios y centros sanitarios. El fenómeno no se había resuelto a medianoche, pero se estaba restableciendo el servicio paulatinamente. A las 23.00, se había reanudado aproximadamente la mitad del suministro, según el Gobierno.

La causa del apagón no había sido aclarada. A las 12.33, desaparecieron del sistema de generación 15 gigavatios, equivalentes al 60% de la demanda, durante cinco segundos, lo que nunca había ocurrido, según explicó el presidente del Gobierno, Pedro Sánchez. "No había pasado jamás", recalcó. Los Ejecutivos de España y Portugal investigaron el origen del fallo sin que haya "información concluyente" sobre lo sucedido, según el presidente. "No descartamos ninguna hipótesis", dijo. El Gobierno



Le black-out le plus important depuis 20 ans



Ce qu'on a pu entendre sur cet événement

C'est une cyber-
attaque qui a
déclenché ce
black-out

Un incendie
survenu dans le
sud de la France
serait en cause

C'est la faute
aux EnR

Un événement
atmosphérique
exceptionnel a perturbé
le système électrique

Il n'y avait pas assez
d'inertie dans le
système

Menons l'enquête

Dès le 5 mai, RTE réalise une foire aux questions pour expliquer et répondre à 20 questions et idées reçues

Rapport officiel du gouvernement espagnol le 17 juin

Rapport ENTSO-E le 3 octobre :

- Rapport factuel : des faits rien que des faits
- Pas d'analyse ni de recommandations
- Il manque encore des informations de la part de GRD et de producteurs espagnols
- A suivre au 1er trimestre 2026...

Production type en Espagne au printemps

Prod totale : 32 GW

Conso totale : 25 GW

Exports : 3,4 GW

Prod = Conso + Exports + Pertes

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

Forte production dans le sud-ouest

Puissance VS énergie

- **Puissance en Watts (W) ou Volt-Ampère (VA)** et tous ses multiples : kW, MW, GW et kVA, MVA (*autre unité de puissance : le cheval-vapeur*)
 - notion « instantanée » : à telle heure très précise, on a tant de puissance
- **Energie en Joule (J) ou en Watt-heures (Wh)** et tous leurs multiples (kWh, MWh, GWh, TWh) – on utilise plutôt les Wh pour parler des systèmes énergétiques (*autre unité d'énergie : la calorie*)
 - peut correspondre à une quantité contenu dans un objet (nourriture, objet en hauteur...)
 - peut correspondre à une quantité produite ou consommée pendant 1 certain temps (1 Watt pendant 1 heure = 1 Wh)



Les grandeurs : ça représente quoi 25 GW ?

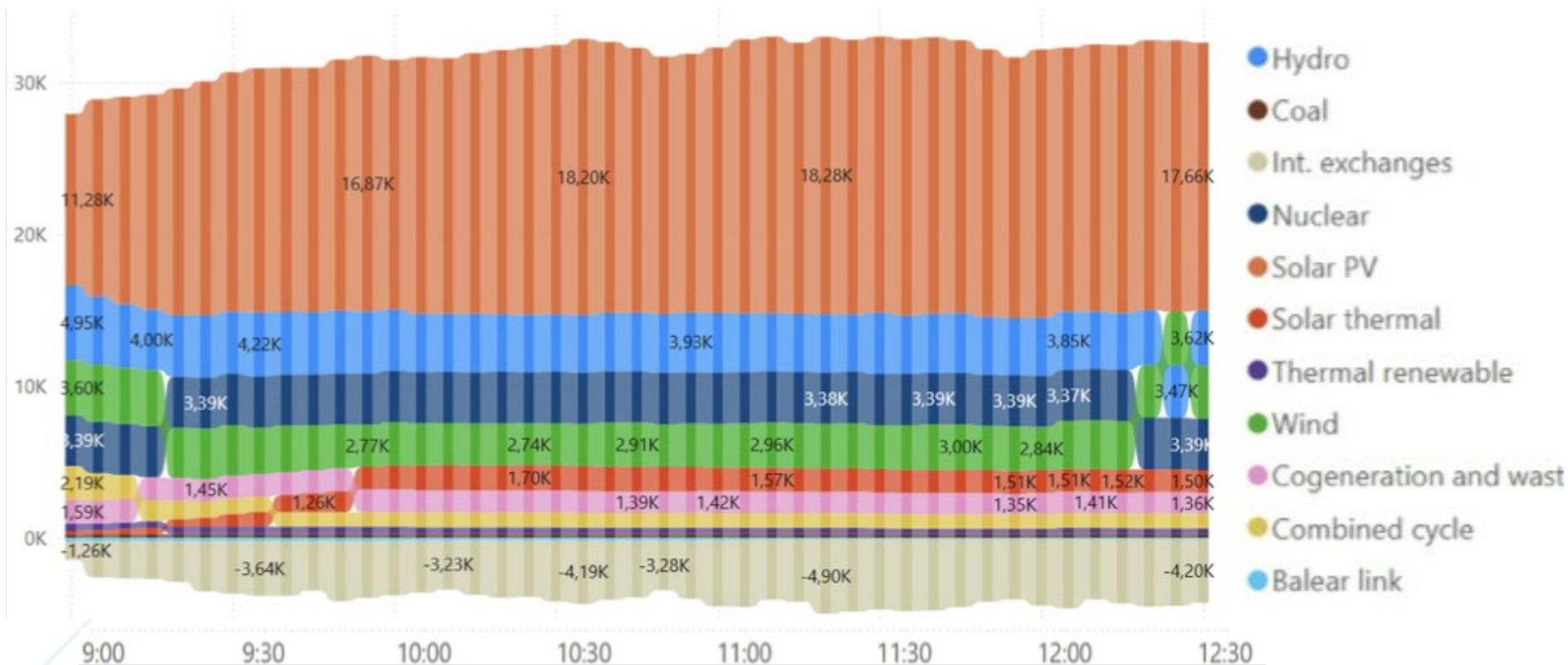
25 GW c'est à peu près la consommation d'électricité en Espagne au moment du black out. Ca représente :

La puissance maximale délivrée par environ 25 réacteurs nucléaires

La puissance maximale délivrée par environ 100 centrales photovoltaïques comme Cestas ou encore entre 25 000 et 50 000 ha de panneaux photovoltaïques

La puissance maximale soutirée d'environ 5 millions de ménage (qui consommeraient tous en même temps !)

Mix de production espagnol le 28 avril 9h-12h30



Mix électrique espagnol le 28 avril à 12h30 :

- 70% PV+éolien
- 10% hydro
- 10% nucléaire (4 réacteurs)
- 2% biomasse, déchets et autres EnR
- 7% gaz (6 centrales)
- 1% charbon

www.hespul.org

11 centrales thermiques
+ centrales hydro avec
**obligation de
régulation de tension**

pv magazine



News ▾ Features ▾ Events ▾ Awards Partner news ▾ pv magazine test ▾ Magazine ▾ About ▾

Spain hits first weekday of 100% renewable power on national grid

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.

APRIL 22, 2025 **PILAR SÁNCHEZ MOLINA**

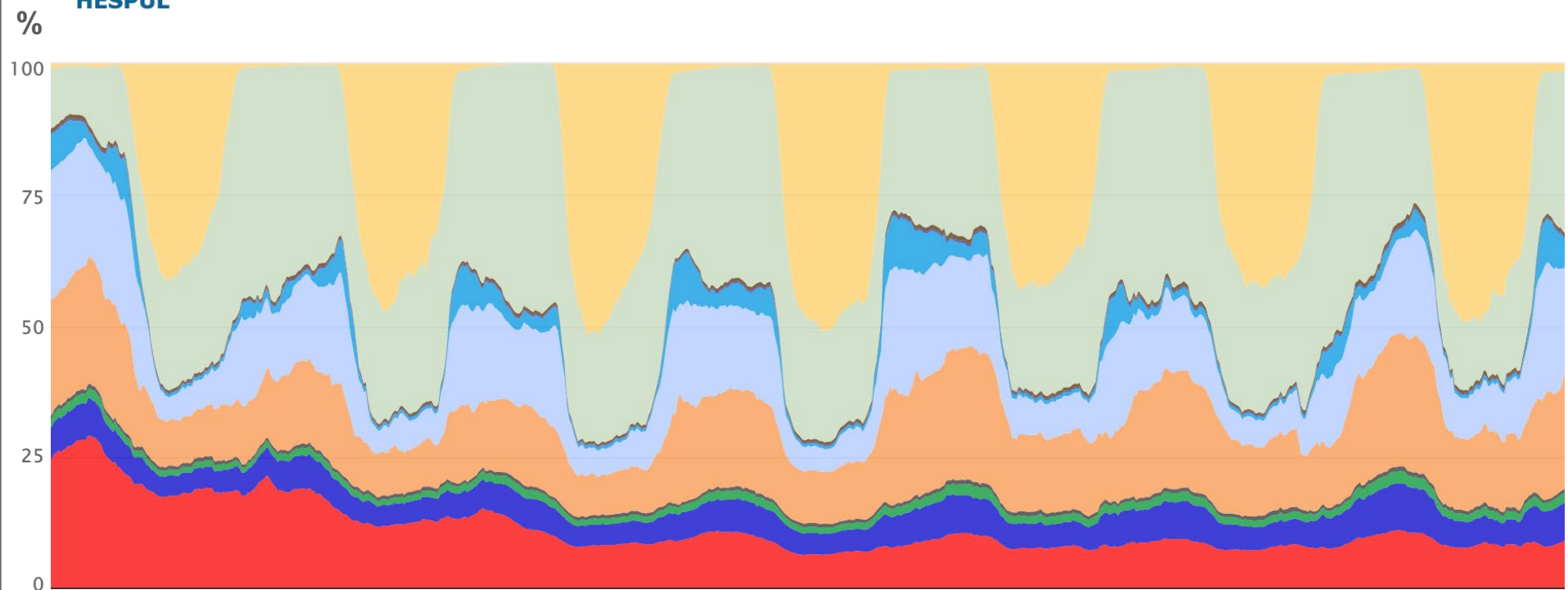
16 avril 2025 : 100% de la demande couverte par éolien + PV + hydro

➤ PV + éolien = 100,6% de la demande à 11h15 (et 72,3% du mix élec)

21 avril 2025 : record PV avec >20 GW produit

➤ soit 78,6% de la demande et 61,5% du mix élec

Le jour J ce n'était pas un record

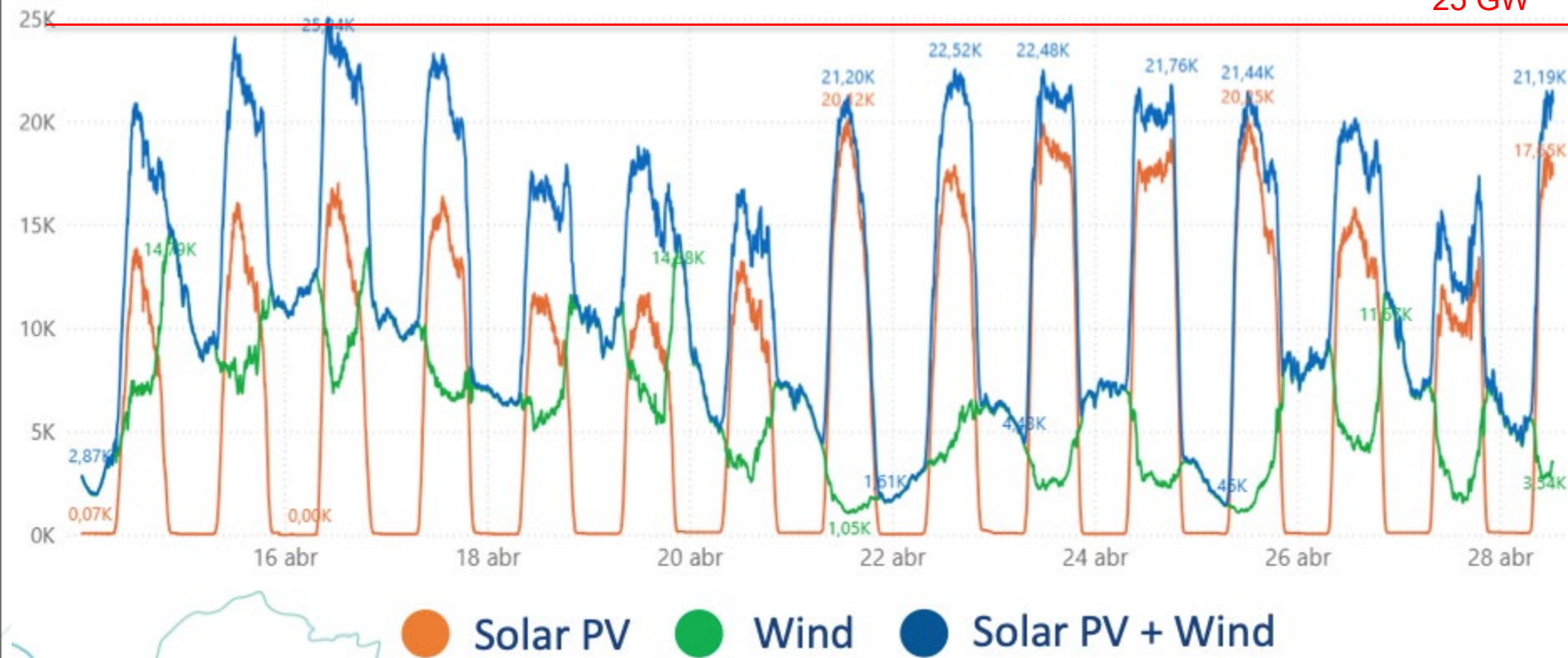


mix électrique espagnol la semaine 16 (du 14 au 20 avril 2025)
source : Energy-Charts (données originelles ENTSO-E)

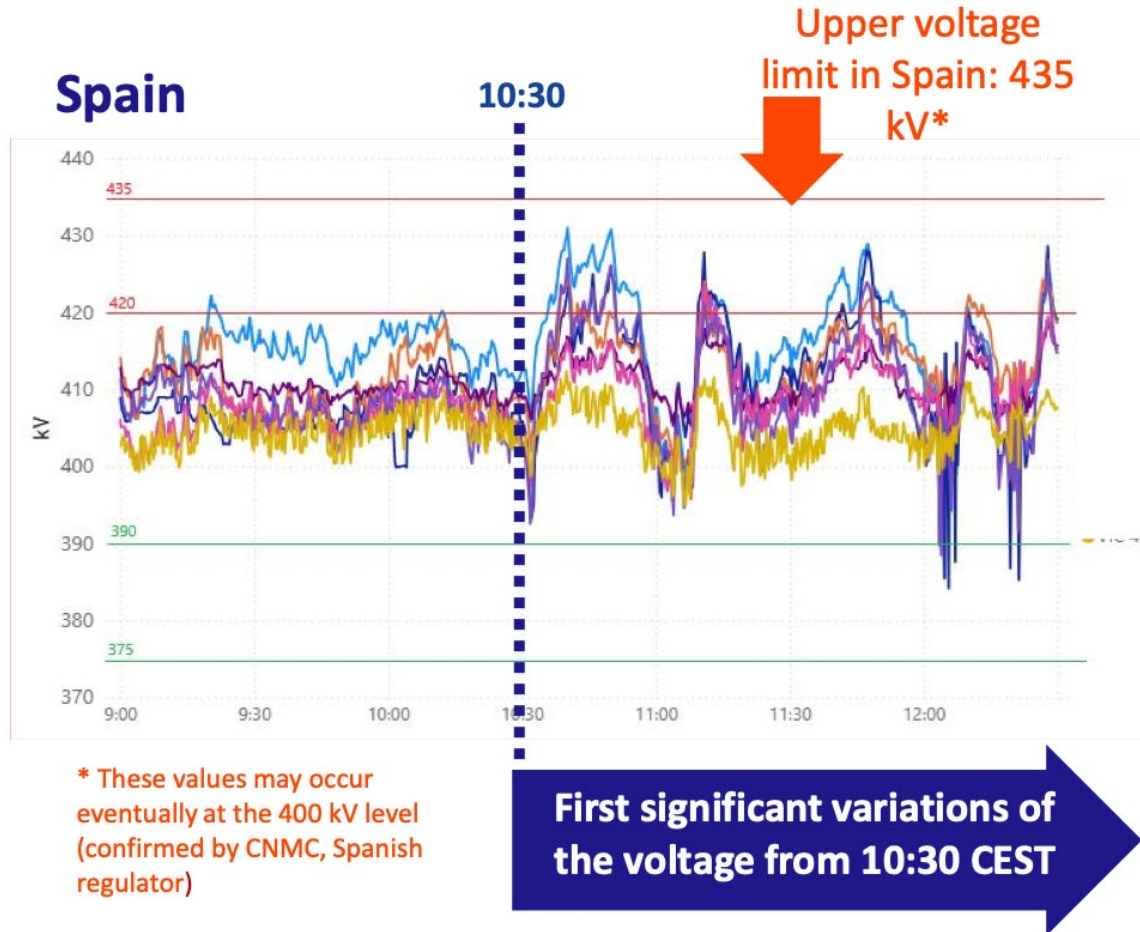


Le jour J ce n'était pas un record

25 GW

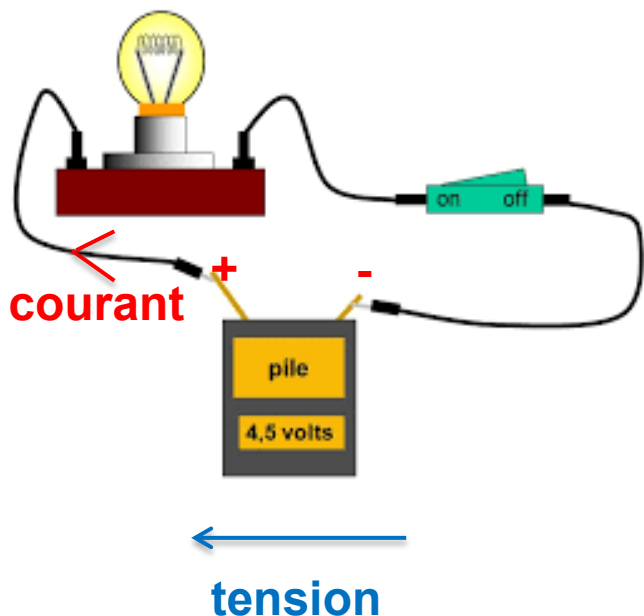


Séquence des événements précédents le black-out : le 1^{er} black-out pour surtension

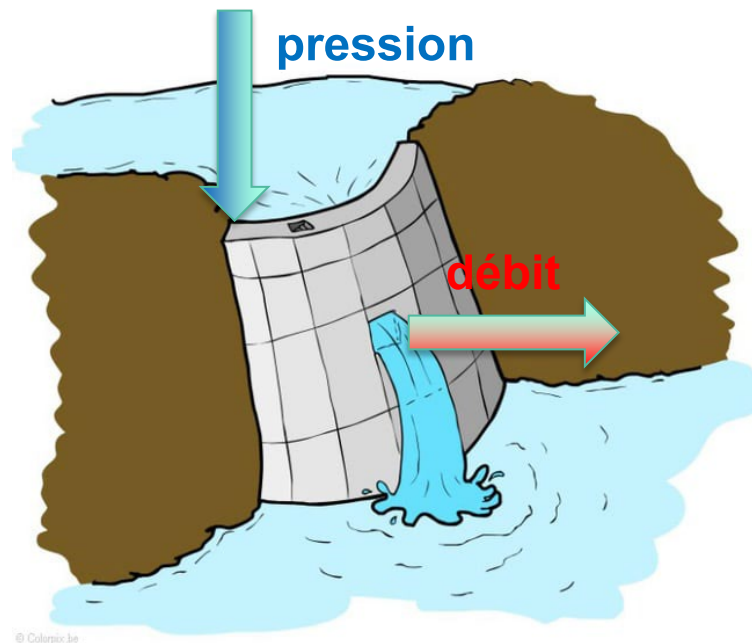


- Des oscillations de tension et de fréquence observées le matin même mais d'après les experts il n'y avait pas de risque particulier : l'incident démarre à 12h32

Mais au fait, c'est quoi la tension ?



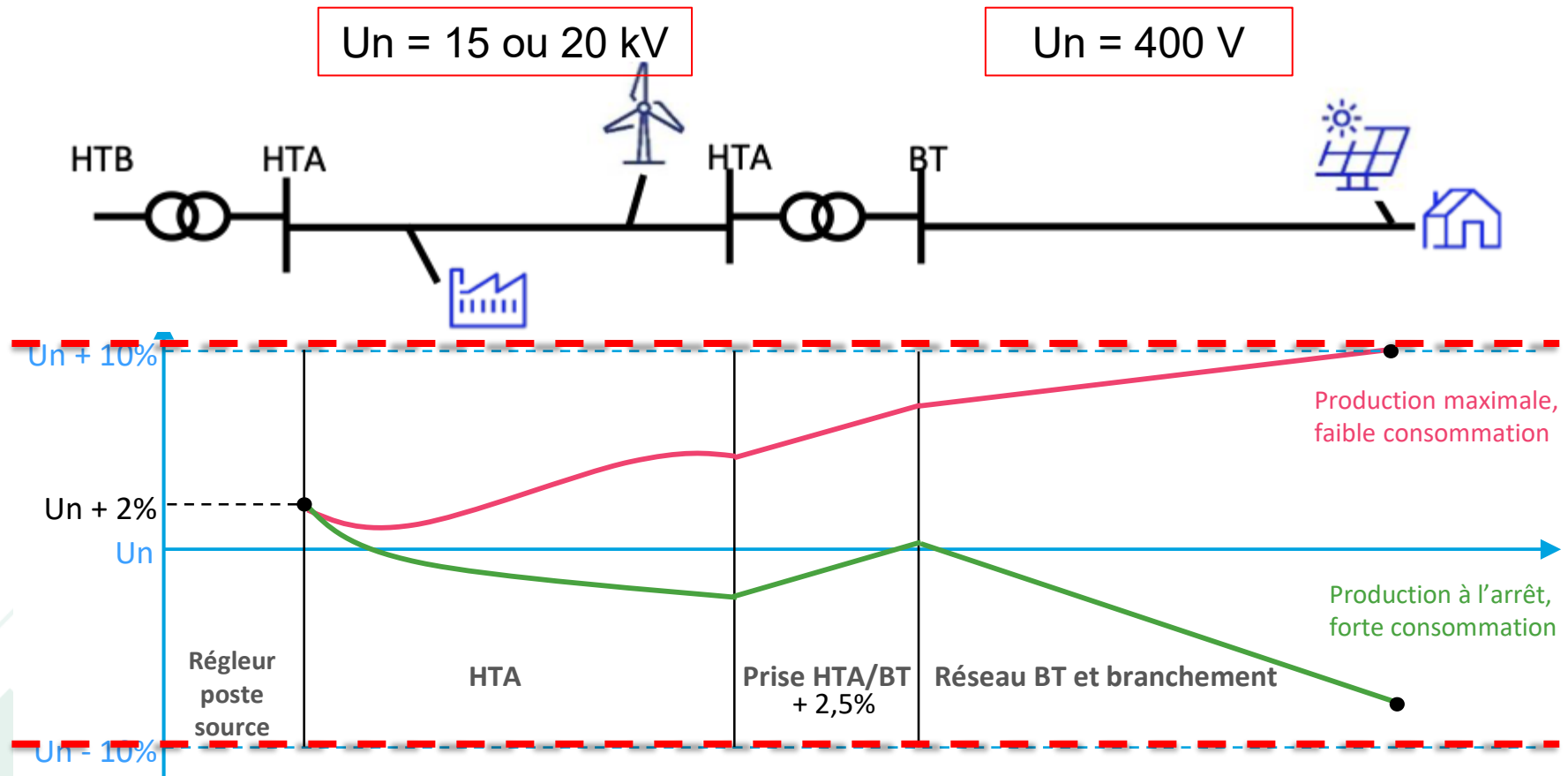
$$\text{Puissance} = \text{tension} \times \text{courant}$$



$$\text{Puissance} = \text{pression} \times \text{débit}$$

La tension c'est encore quelque sorte la « pression » dans le circuit électrique : sans pression, l'électricité « ne coule pas »

Comment la tension varie sur un réseau électrique ?



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

Le plan de tension : régime normal

Sur tous les réseaux **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*

Domaine de tension	Tension nominale Un	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 secours

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

Domaine de tension	Tension nominale U_n	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

Que se passe-t-il quand la tension sort des plages admissibles ?

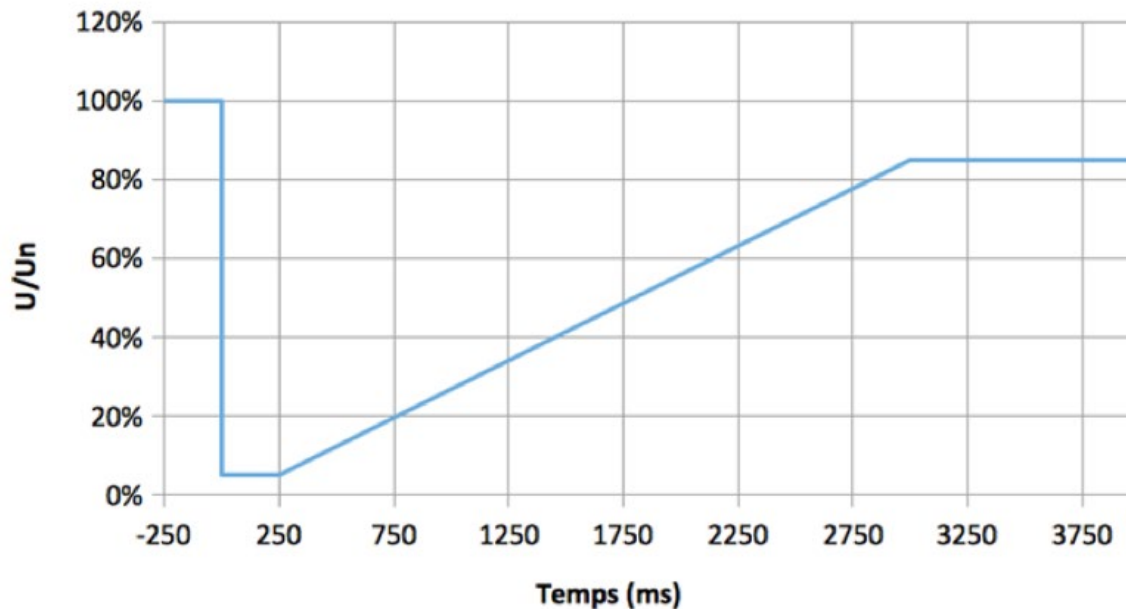
Que se passe-t-il lorsque l'on sort des plages de variation autorisées de la tension ?

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

« 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)

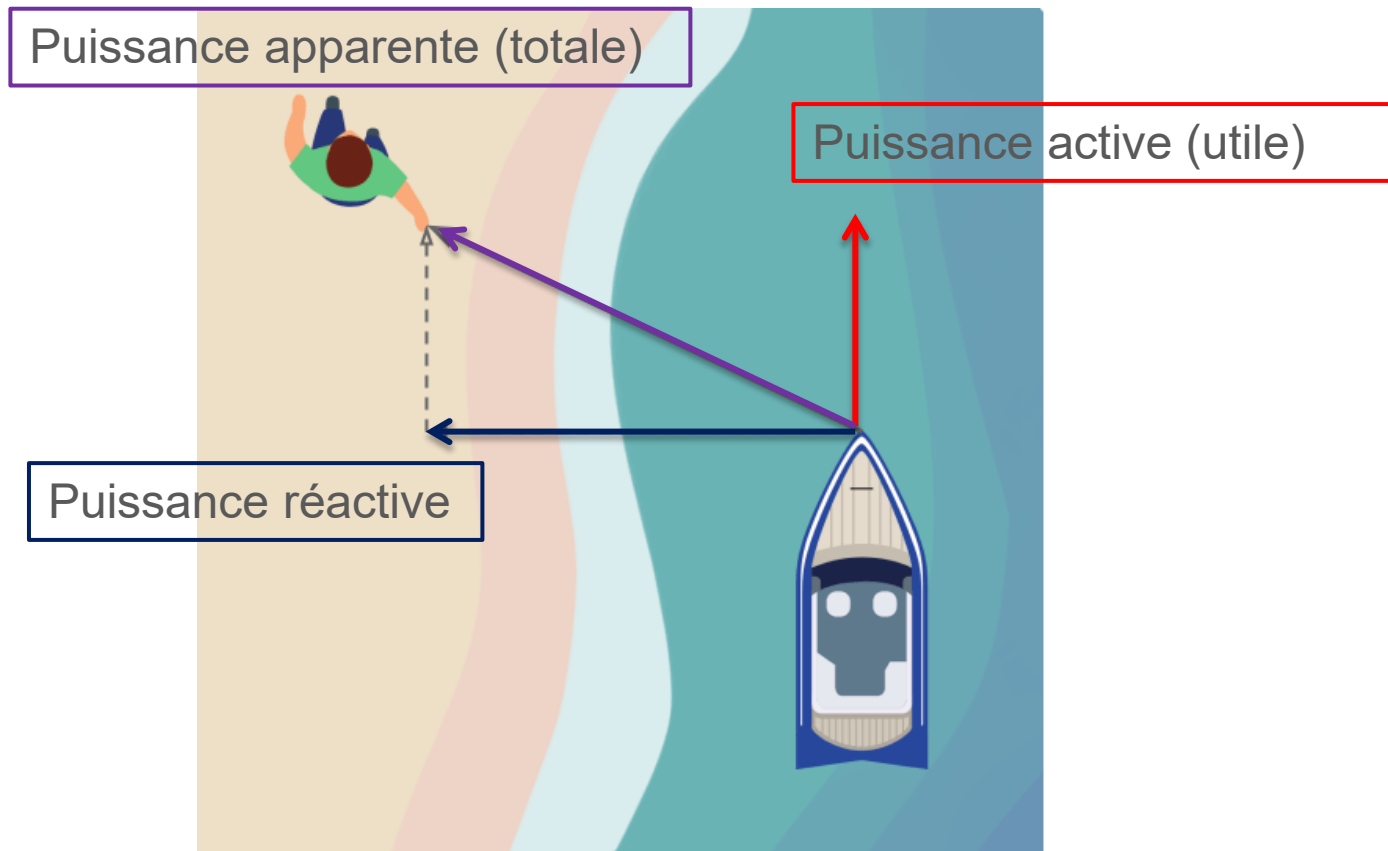
Comment les gestionnaires de réseau font pour que la tension restent dans les plages admissibles ?

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

En exploitation :

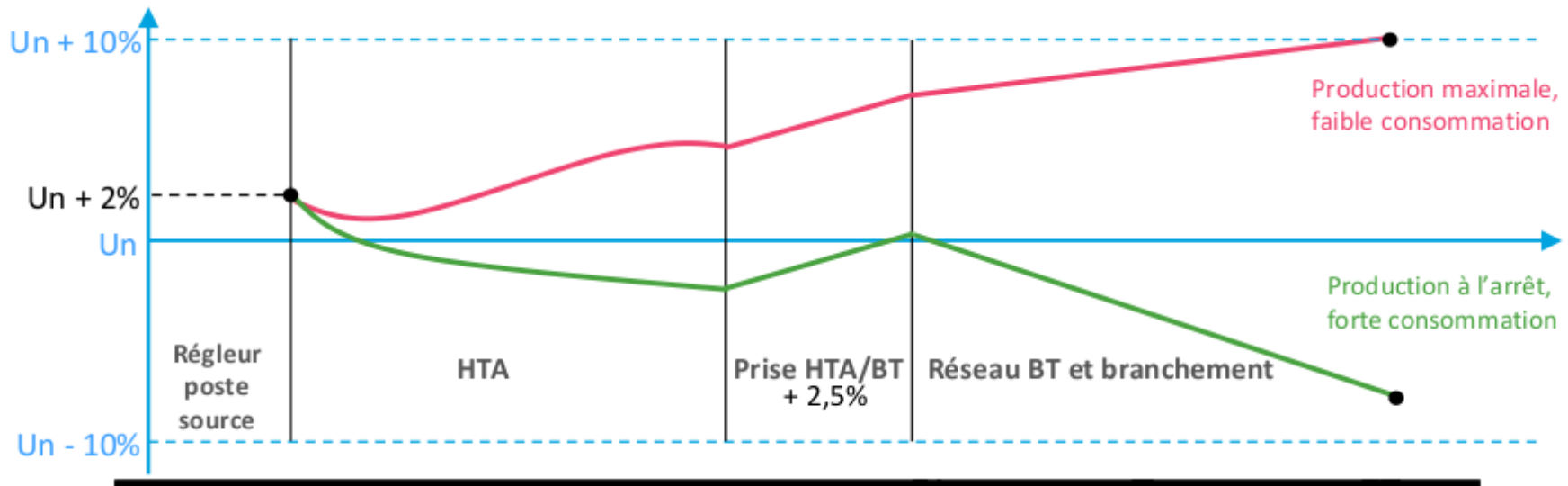
- Des **actions manuelles** : déconnecter/reconnecter des lignes, des bancs de condensateurs ou des réactances, changer les prises dans les transformateurs
- Des **actions automatiques** : absorption / injection de puissance réactive par les utilisateurs du réseau, dispositifs automatiques sur le réseau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

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

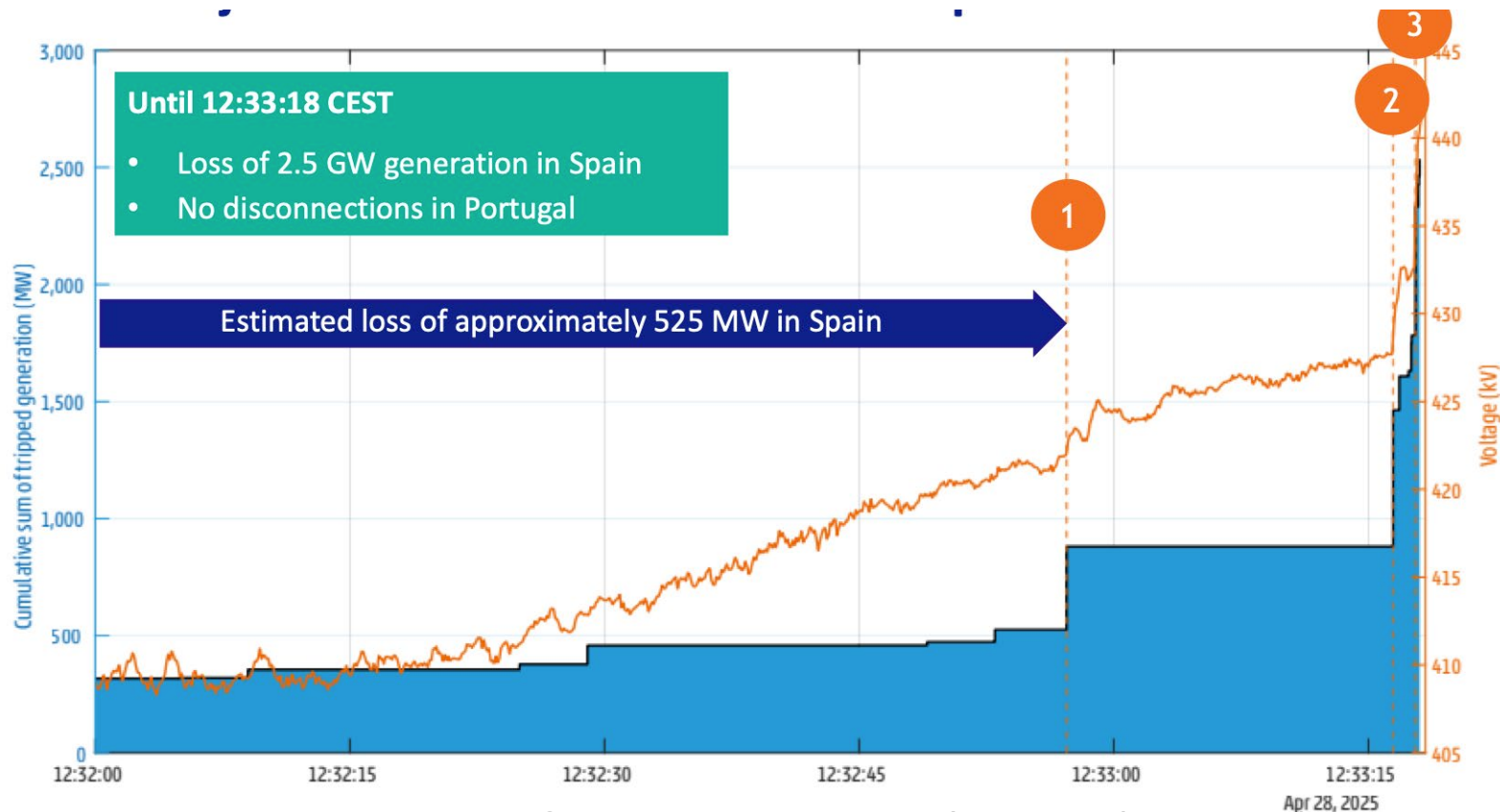
- En haute tension, c'est surtout la **puissance réactive qui fait varier la tension !**

Puissance réactive prévue et réelle en Espagne avant l'incident



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

Séquence des événements : le début de la fin



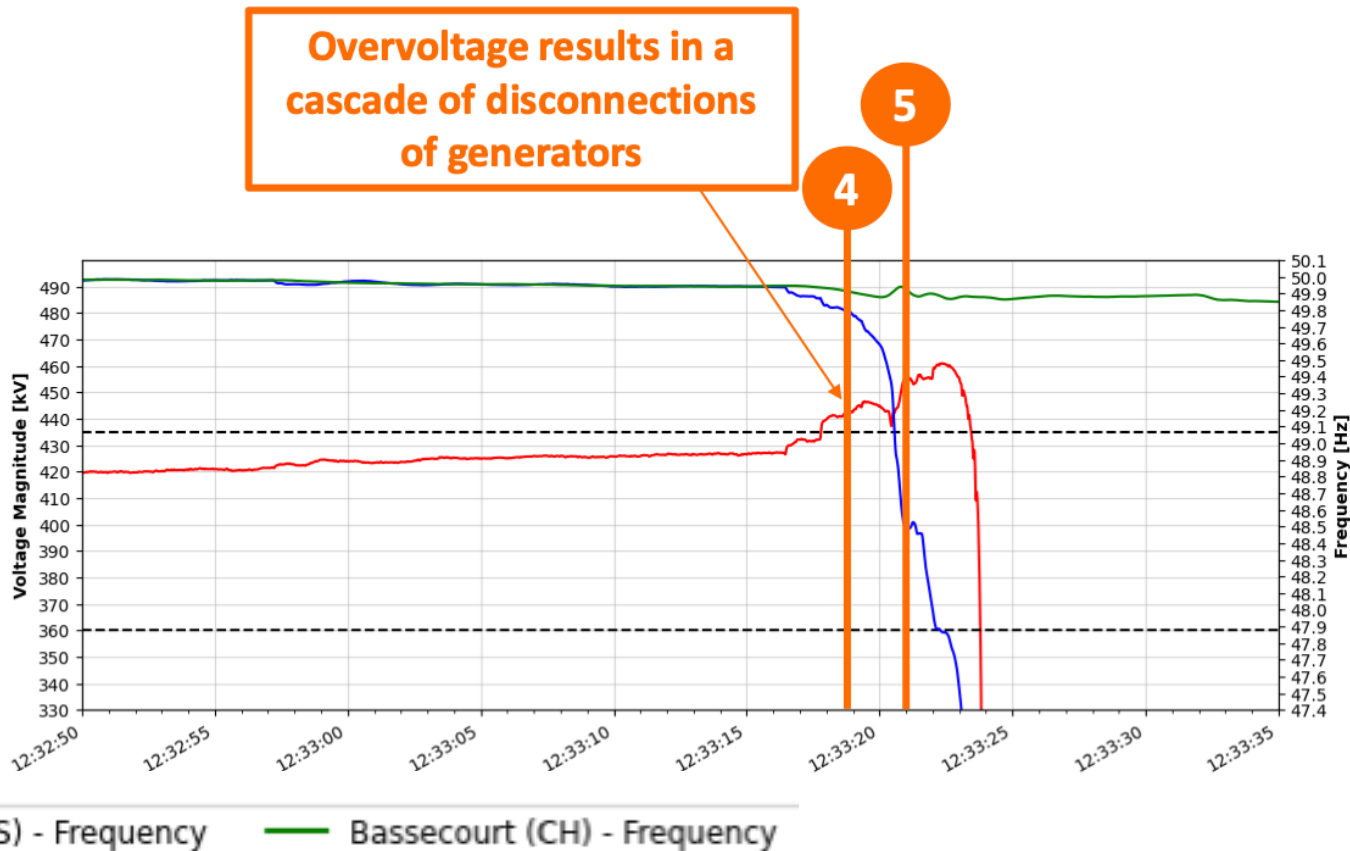
- 1) 12:32:57 : perte d'un transfo de production 220/400 kV (355 MW) dans la région de Grenade (activation des protections contre les surtensions)
- 2) 12:33:16 : perte de plusieurs installations solaires (725 MW) raccordées au réseau 400 kV à Badajoz
- 3) 12:33:18 : perte de plusieurs installations PV et éoliennes (930 MW) à Segovia, Huelva, Badajoz, Seville et Caceres

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

Parce que les unités de production consommaient de la puissance réactive ce qui a pour effet de faire baisser la tension (plus que l'augmentation induite de tension due à l'injection de puissance active sur les réseaux 220kV et 400 kV)

=> Déconnexion des installations = moins de puissance réactive soutirée du réseau = augmentation de tension

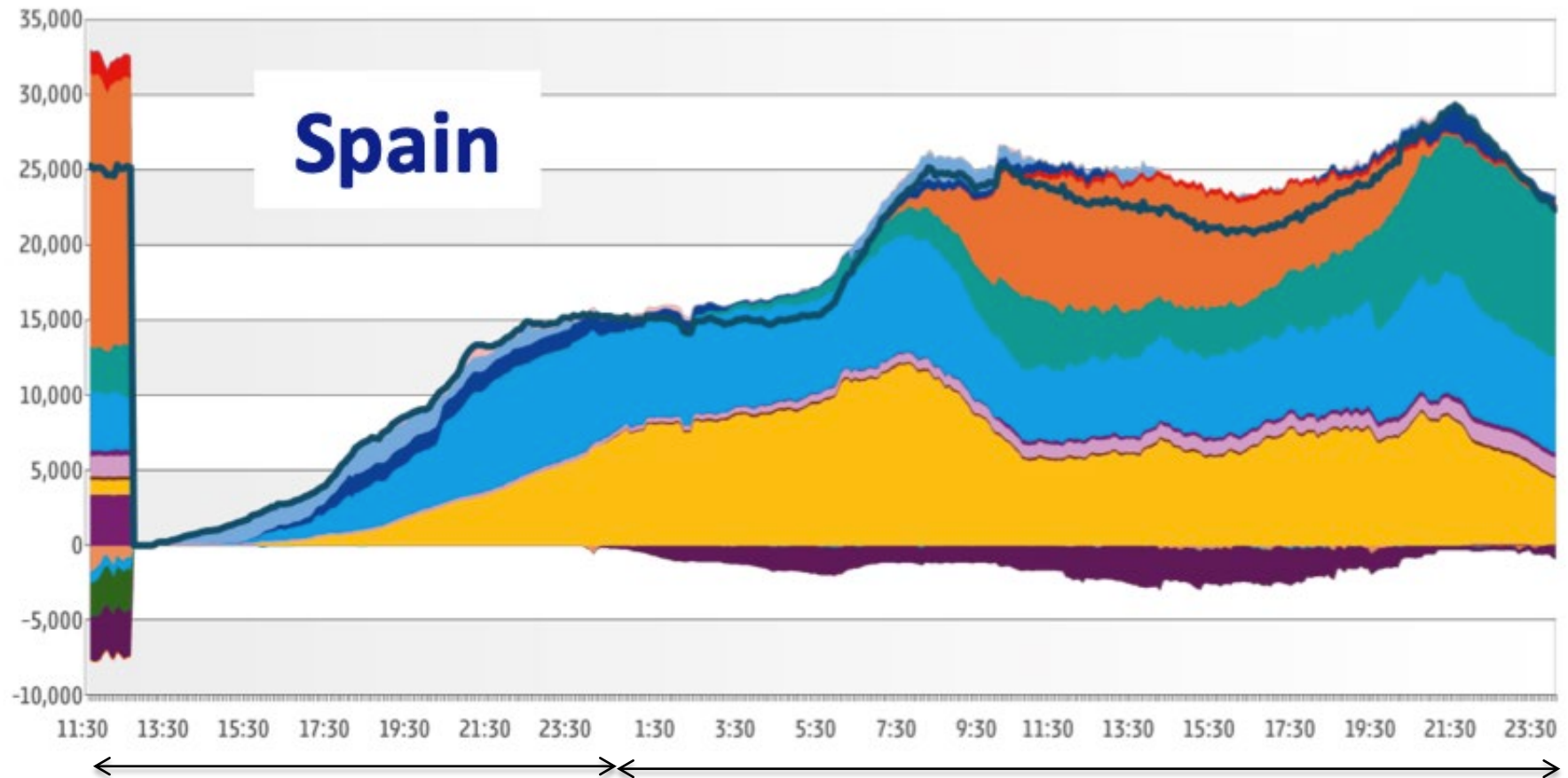
La séquence des événements : perte du synchronisme



- 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



Retour à la normale : évolution du mix espagnol

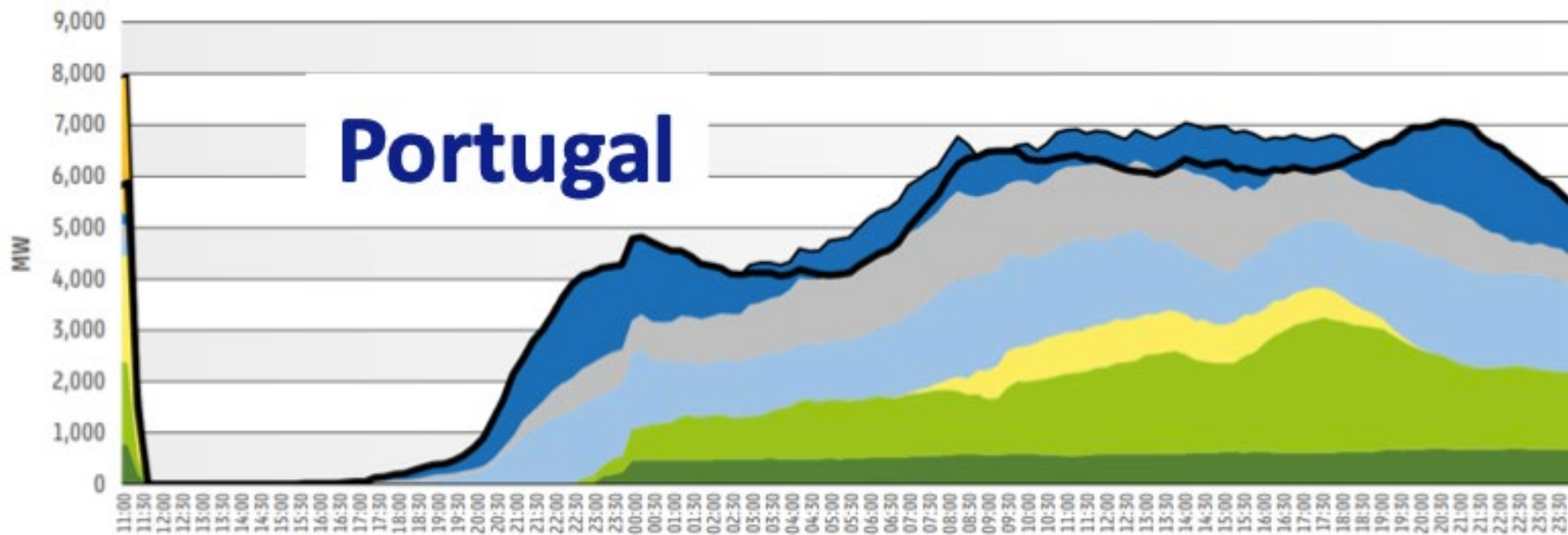


28 avril

29 avril



Retour à la normale : évolution du mix portugais



28 avril

29 avril

Other renewables Wind Solar run-of-the-river
 Consumption Consumption + Pumps
 CCGT Reservoirs Import

Résumé des différentes étapes

- **Phase 0 : instabilités de la tension et de la fréquence** entre 9h et 12h le 28 avril (avec quelques plus petites oscillations encore plus tôt)
- **Phase 1 : oscillations du système** entre 12:00 et 12:30
- **Phase 2 : pertes de production** dues à la surtension entre 12:32 et 12:33:18
- **Phase 3 : effondrement** de la tension et de la fréquence (black-out) entre 12:33:18 et 12:33:30
- **Phase 4 : rétablissement de l'alimentation** entre 12:33:30 le 28 avril et 7:00 le 29 avril (avec un rétablissement complet à 14:36)

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

Conclusions du **rapport du gouvernement espagnol** :

- Un groupe électrogène avec capacité de réglage de tension situé dans le sud de l'Espagne tombé en panne la veille et pas remplacé
- Un groupe diesel également dans le sud de l'Espagne ayant eu un comportement anormal
- 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...)
- Réactions du système électrique pour protéger le système contre oscillations de fréquence ayant contribué à augmenter la tension
- Certaines déconnexions de générateurs sont survenus trop tôt

Alors, c'est la faute aux EnR ou pas ?

A priori non (communications en ce sens suite aux 1ères analyses) mais...

- La gestion du système électrique change avec plus de **variabilité** côté production, des moyens raccordés via de **l'électronique de puissance** et des générateurs plus **diffus** => **complexité accrue**
- La production des EnR raccordées au **réseau de distribution** est moins bien connue (**observabilité**) et avec moins de capacité de régulation par les gestionnaires de réseau (**pilotabilité**)

Alors, c'est la faute aux EnR ou pas ?



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)

Prise de recul : peut-on atteindre un système 100% EnR reposant majoritairement sur l'éolien et le solaire ?



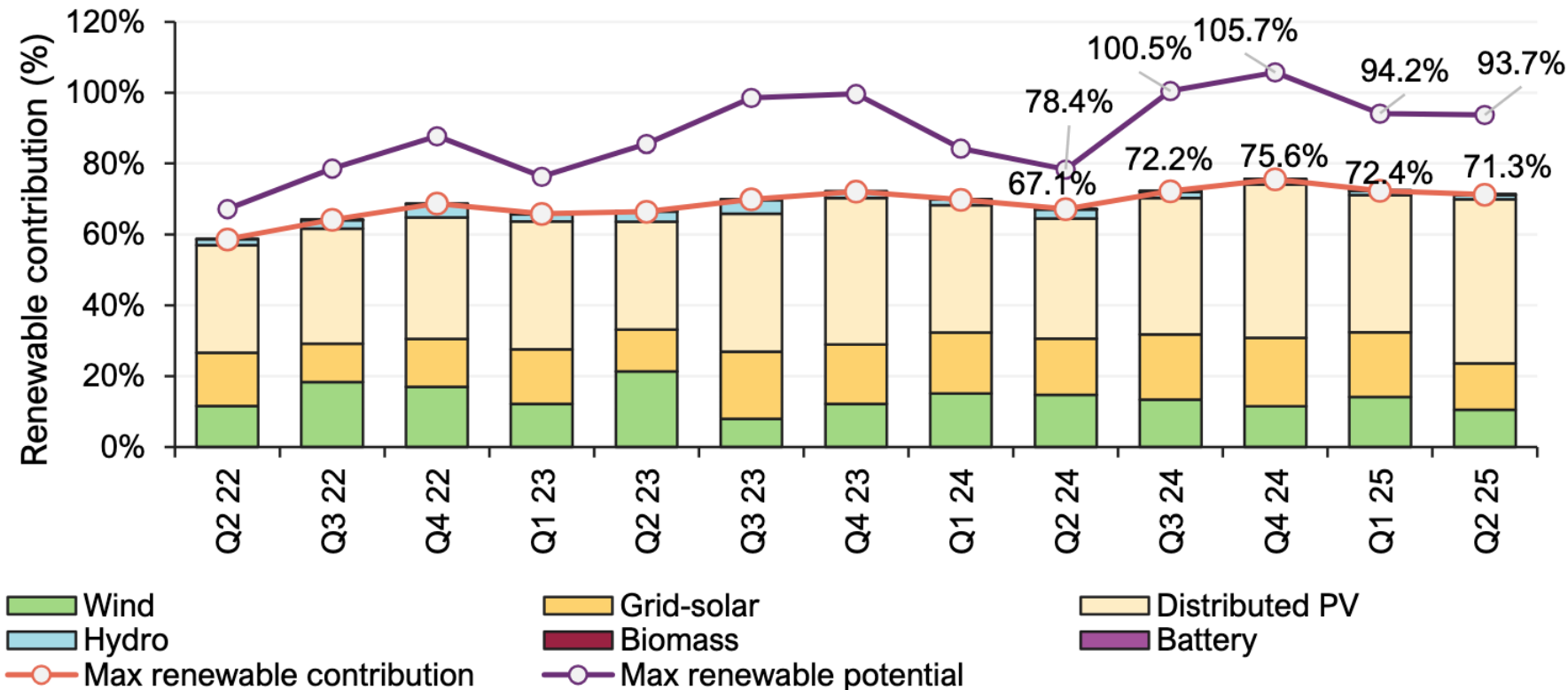
Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050

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)

Prise de recul : des records ailleurs dans le monde – Australie est et sud-est (NEM)

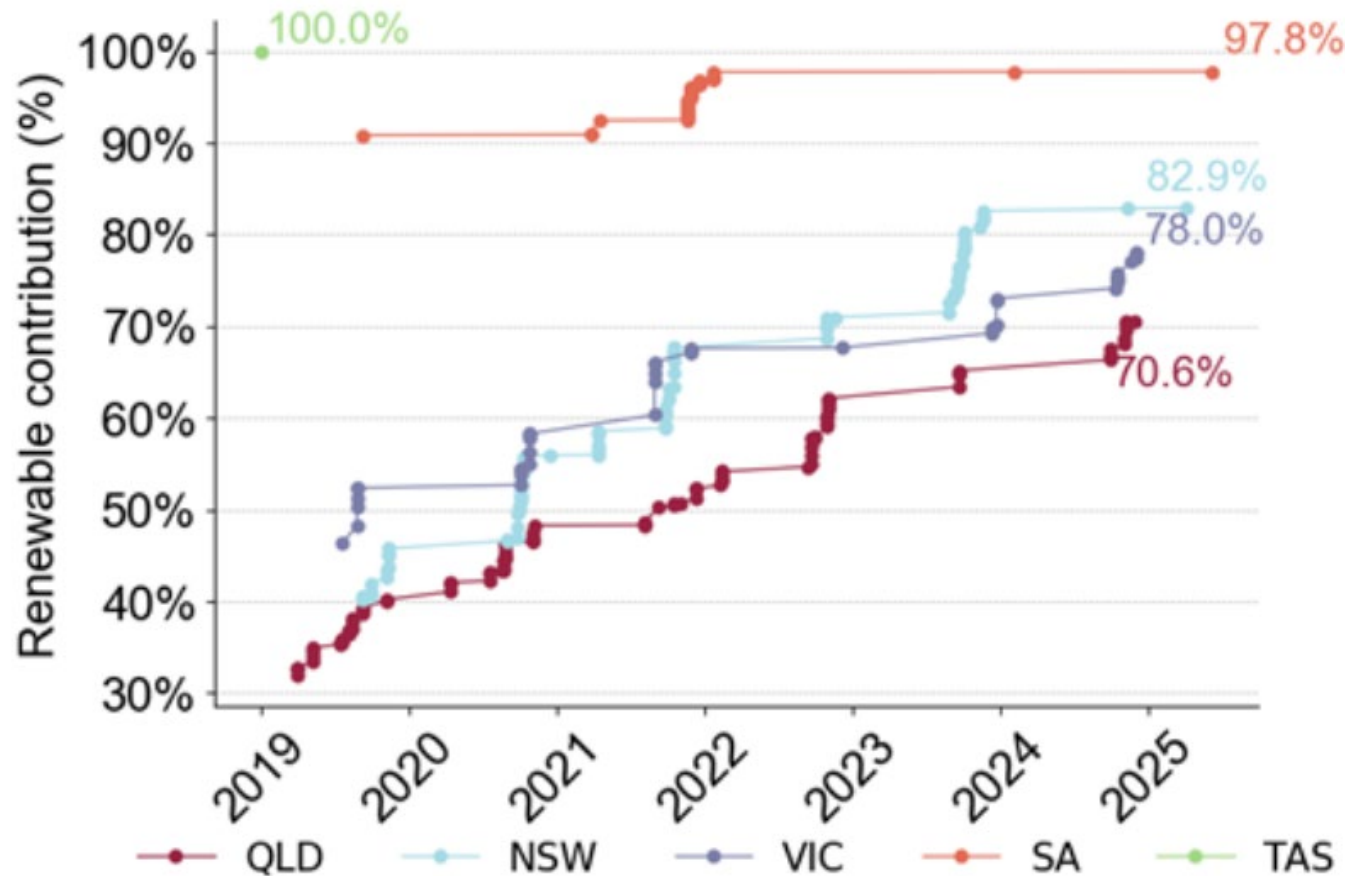
Percentage of NEM supply from renewable energy sources at time of peak renewable contribution



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

Prise de recul : des records ailleurs dans le monde – Australie est et sud-est (NEM)

Change in peak renewable contribution record by region



SA : South Australia (Australie méridionale)

NSW : New South Wales (Nouvelles-Galles du Sud)

VIC : Victoria

QLD : Queensland

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



Prise de recul : des records ailleurs dans le monde - Californie

California Independent System Operator Clean Energy Calculations since 2022

Year	Occurrences	Total Hours	Equivalent Days	Max Percent	Max Daily (hours)	Days When at Least One 5-minute Interval CE > Demand
2022	1,764	147.00	6.1	126%	9.4	43
2023	8,250	687.50	28.6	149%	10.1	136
2024	14,721	1,226.75	51.1	175%	11.1	219
Through August 2025	18,565	1,547.08	64.5	192%	11.3	217

Attention : ça ne veut pas dire que c'est simple

- Les 4 conditions du rapport RTE/AIE sont strictes et ne sont pas triviales
- On a démontré en « labo » qu'on savait géré un système 100% électronique de puissance (projet européen Migrate) mais ce n'est pas évident sur un système grandeur nature
- Pas encore de stockage saisonnier en fonctionnement à grande échelle (power-to-gas-to-power)
- On avance sur les flexibilités mais il y a encore du chemin
- Le réseau met longtemps à être construit
- La participation des EnR aux services au réseau commence tout juste (en France)
- Des enjeux de compatibilité des protocoles de communication entre les équipements côté production et côté réseau, de cybersécurité etc.

MERCI

pour votre attention



www.hespul.org



[@hespul](https://twitter.com/hespul)



[@HespulAsso](https://facebook.com/HespulAsso)



[HESPUL](https://www.linkedin.com/company/HESPUL)



Votre contact

Vincent Krakowski

Expert réseaux électriques

vincent.krakowski@hespul.org