

Réseaux électriques : passé, présent et... futur ?

Prof. Dr. Fabrizio Sossan

Gridlab

Institut Energie et environnement

Haute École d'Ingénierie

HES-SO Valais-Wallis

General audience seminar, Student Pitch Challenge

Monthey, August 2025



> Qu'est-ce qu'un réseau électrique ?

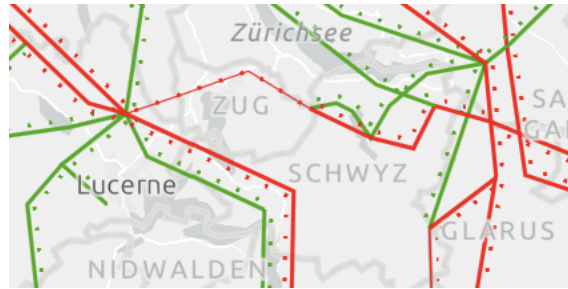
Ensemble vaste et diversifié de ressources et de procédures conçu pour fournir électricité aux consommateurs (citoyens, entreprises, services) de manière sûre, durable et équitable (energy trilemma).



Plus grand accomplissement du XX^e siècle [US National Academy of Engineering], dit la « machine la plus complexe jamais construite » en raison de son extension géographique et du nombre de composants connectés (avec des interactions dynamiques entre eux).

> Principes de base d'un réseau électrique, en bref

L'équilibre entre la demande et la production **doit être assuré** en permanence et en temps réel.




Les déséquilibres de puissance se traduisent par des écarts de la **fréquence du réseau** par rapport à 50 Hz, qui représentent la vitesse de rotation des centrales électriques.

> Principes de base ... (cont'd)

Les centrales électriques (qui tournent toutes à la même vitesse en régime permanent) **ajustent leur production** en mesurant la fréquence locale **pour rétablir l'équilibre**.


Un des rôles des **gestionnaires de réseau de transport** est de veiller à ce que **l'équilibre de puissance** soit respecté et que les autres **grandeurs électriques** restent dans les limites autorisées.


> De Tesla à Fukushima: une histoire des réseaux électriques

 (1882, New York) T. Edison construit la **première centrale électrique commerciale** à charbon (500 kW, courant continu 100 V DC) et alimente des ampoules dans un rayon d'environ 3 km autour de l'usine.

“We will make electricity so cheap that only the rich people will burn candles”, T. Edison

!! (1880 - 1890) « **War of currents** » : le DC ou le courant alternatif (AC) est-il le meilleur pour produire de l'électricité de manière rentable ?

 G. Westinghouse perfectionne le **transformateur de puissance** pour adapter la tension AC. Ça permet des tensions plus élevées, donc des câbles plus longs et plus de clients. Le générateur asynchrone de N. Tesla rend la conversion électricité–mécanique plus simple et plus fiable que les moteurs CC. **Le CA devient la norme.**

 (1910–1950) Les centrales à charbon deviennent de plus en plus grandes, jusqu'à 300 MW. Avec plus de connexions, le réseau s'étend. Le **pétrole** commence à remplacer le charbon dans le cycle vapeur.

> Pendant, en Suisse ... (merci **Prof. Gabioud** pour la recherche !)

Les Suisses ne restent pas les bras croisés:

(1879) Usine électrique et éclairage du réfectoire de l'hôtel Klum, St-Moritz, 7 kW DC et turbine hydraulique

(1886) **1er service industriel et transformateur en Europe** : centrale hydroélectrique de 140 kW des frères Treller à Thorenberg, Lucerne

(1908) 1ère **interconnexion entre centrales** : Beznau (fil de l'eau) – Löntschi (accumulation), 100 km à 27 kV (right)

(1910) **6'714** centrales électriques en Suisse



> De Tesla à Fukushima ... (cont'd)

(1949, Oklahoma City) **Première centrale à gaz** de 4,9 MW, et (1954, Obninsk) centrale **nucléaire** de 5 MW

(1965, north-east US) L'un des premiers grands **blackouts**, plus attention sur la **stabilité des réseaux**, (études, modèles, nouveaux équipements de surveillance, eg PMU, pour comprendre ces phénomènes)

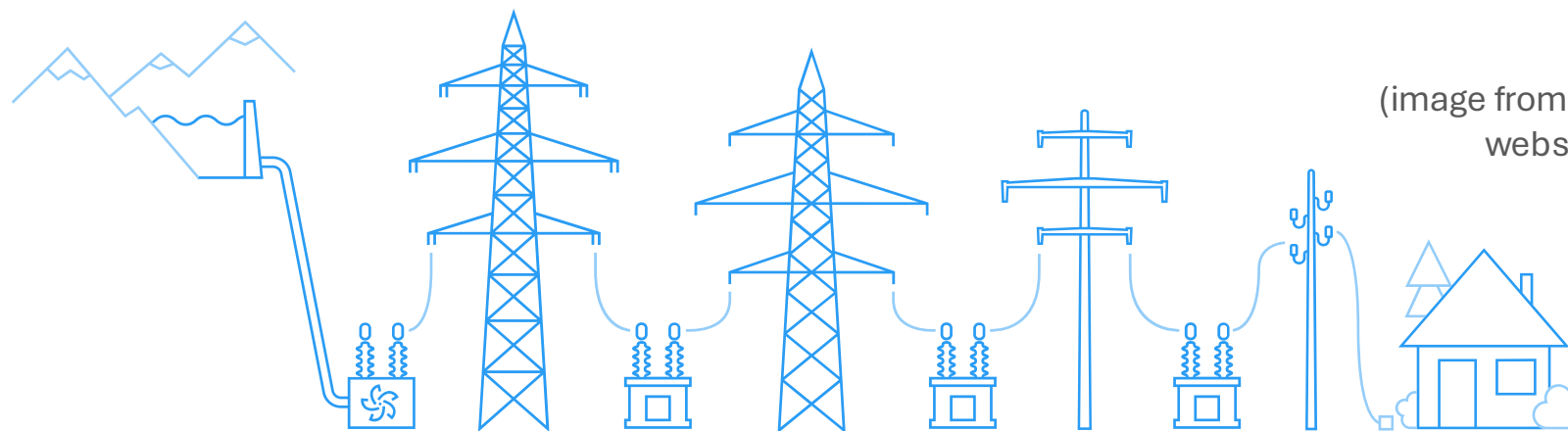
(1973, Arab-Israeli war) **Crise pétrolière**: réflexion sur formes de production d'électricité avec des **sources locales**, p.ex. éolien (début de développement en Danemark) et solaire (avec premières cellules PV)

(1980 – aujourd'hui) Prise de conscience sur le **changement climatique** de l'impact des combustibles fossiles sur les **émissions de GHG**. Intensification des efforts pour remplacer les combustibles fossiles par des sources alternatives (nucléaire et renouvelables) → **transition énergétique**

(1980 – 2000 et ongoing) Début discussion sur la libéralisation de marché de l'électricité afin de faciliter la concurrence et d'améliorer l'efficacité ouverture des réseaux nationaux (séparation verticale)

> Séparation verticale (et marché de l'électricité)

Les niveaux fonctionnels d'un réseau électrique national sont pris en charge par différentes entreprises (prérequis à la libéralisation des marchés de l'électricité) :



(image from Swissgrid website)

Generation
companies

Gestionnaires de réseaux de
transport et de sous-transport (GRT)

Gestionnaires de réseaux
de distribution (GRD)

> Libéralisation de le marché de l'électricité

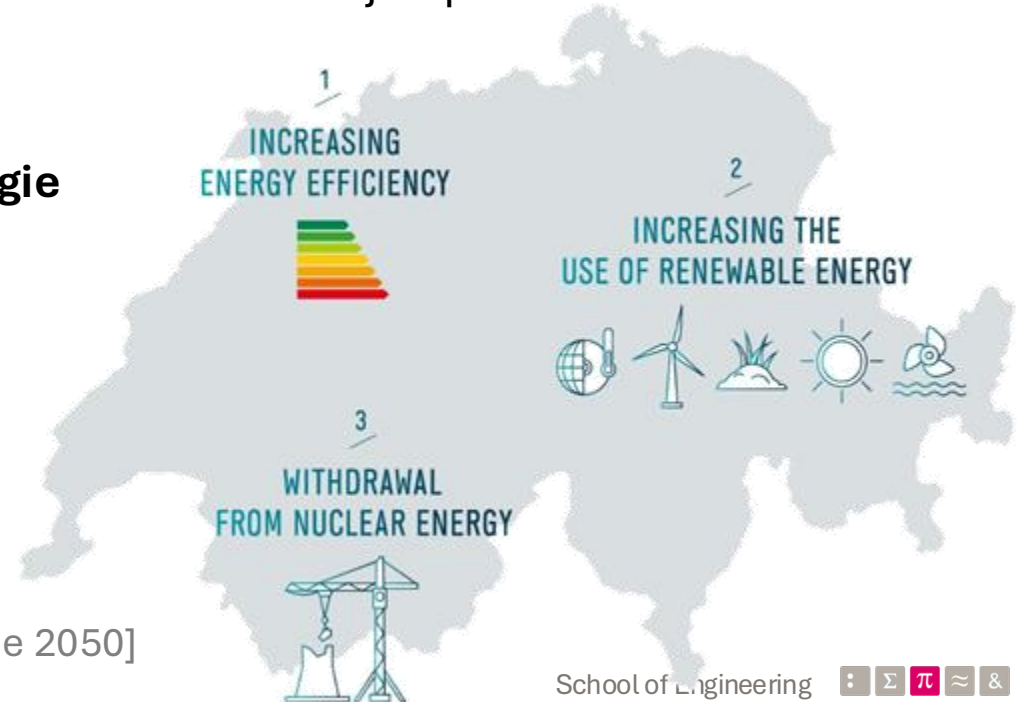
Libéralisation des marchés à deux niveaux :

- **Marché de gros** : ouvert aux producteurs et aux acheteurs d'électricité (en Suisse, les producteurs et les grands distributeurs participent au marché day-ahead commun européen, EPEX Spot).
 - **Marché de détail** : les consommateurs peuvent choisir leur fournisseur d'électricité (en Suisse, pas encore mis en œuvre, sauf pour les grands consommateurs)
- « Services-système » : pour maintenir un système stable et sur. En Suisse, acquis par Swissgrid, parfois via marchés ouverts (p. ex. pour l'énergie de réglage).

> De Tesla à Fukushima ... (cont'd)

(2011) À la suite de l'accident de **Fukushima**, l'Allemagne sort du nucléaire en fermant 8 centrales et en laissant les 9 autres actives jusqu'en 2022. La Suisse adopte une approche similaire.

(2017) La Suisse approuve la **Stratégie énergétique 2050**



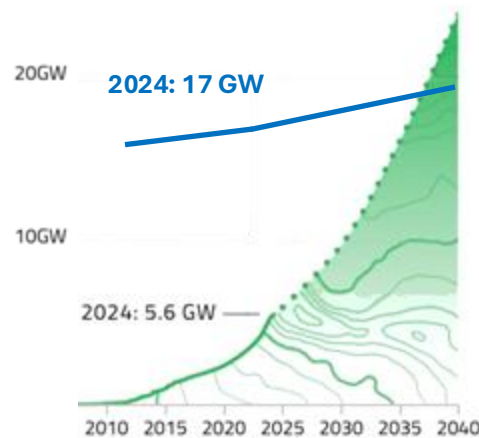
[BFE, Energiestrategie 2050]

> Production d'électricité renouvelable en Suisse

Capacité de production installée (GW)

Photovoltaic

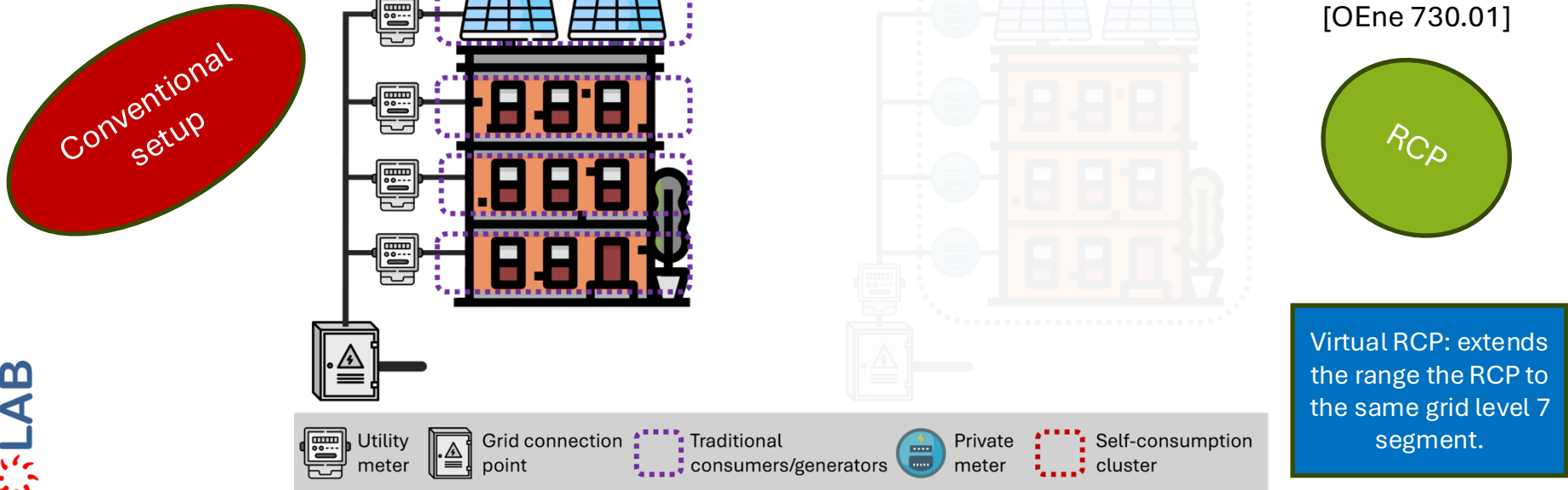
Hydropower



+ Cadre légal adapté pour améliorer les conditions économiques d'intégration du photovoltaïque dans le contexte des prosommateurs

[Swissgrid image and BFE data]

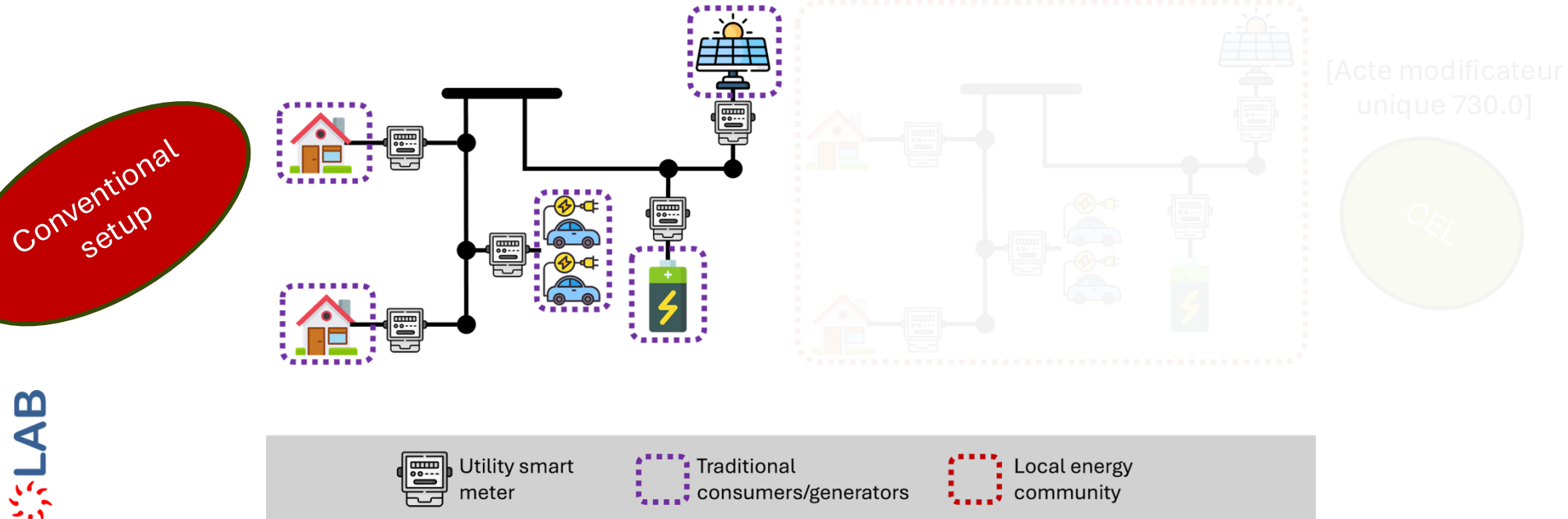
> Regroupement dans le cadre de la Consommation Propre (RCP)



La production PV en toiture est rémunérée à un tarif inférieur à celui de la consommation, ce qui ne favorise pas l'autoconsommation PV par les ménages.

L'autoconsommation n'est plus facturée au tarif du réseau, mais à un tarif (potentiellement) plus bas, négocié localement avec le propriétaire de l'installation photovoltaïque.

> Communautés électriques locales (CEL)

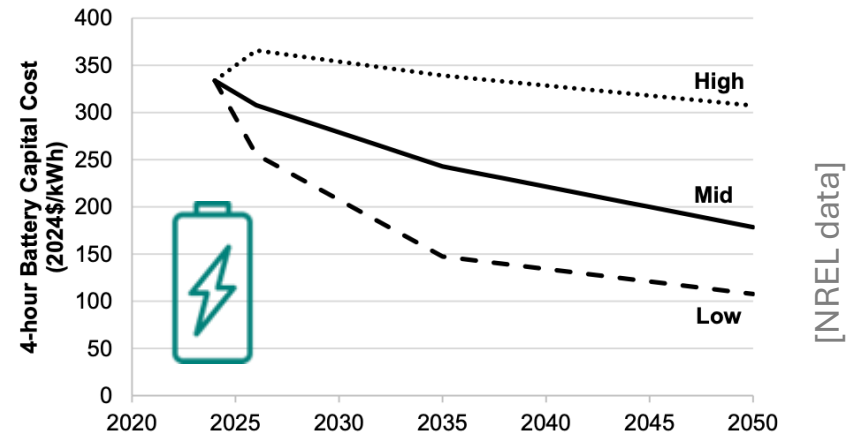
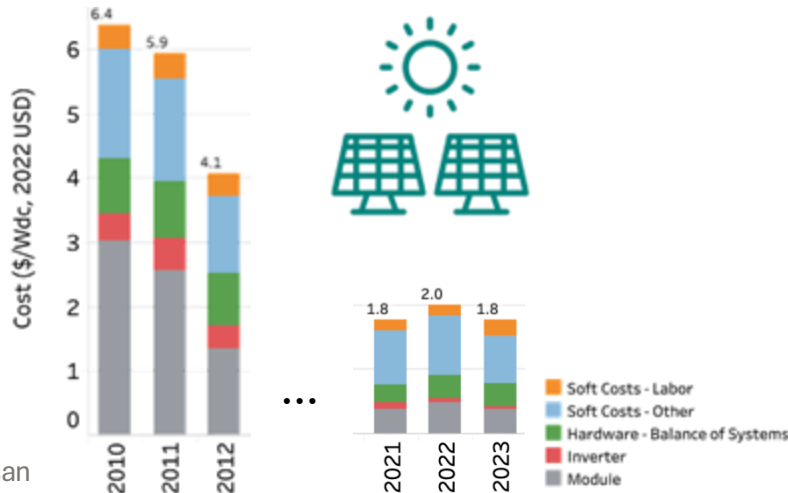


Même principe que le RCP/vRCP, mais avec une extension plus large incluant le niveau réseau 5 (MT). L'opérateur de réseau est impliqué et peut facturer l'utilisation de l'infrastructure aux niveaux 5 et 6.

> Démocratisation des «technologies réseau»

Historiquement, les technologies de production d'électricité relevaient du seul domaine de l'**industrie électrique**.

Nouvelles technologies comme le photovoltaïque (PV) et systèmes batteries sont désormais accessibles à l'industrie comme aux **consommateurs**, et à des prix de plus en plus abordables.



> Démocratisation des technologies ... (cont'd)

Avec ces perspectives de prix, dans 5–15 ans, le kWh d'un système PV + batterie **pourrait coûter moins cher que celui du réseau.**

Considérations:

- Une diffusion massive peut bouleverser des **modèles économiques** des entreprises existantes (principalement les producteurs, les fournisseurs et les distributeurs)
- **Le réseau comme « assurance »** : le réseau restera nécessaire en hiver ou en l'absence de production PV → nécessité de revoir les notions actuelles de tarifs d'électricité

> Intégration des énergies renouvelables (stochastiques) : défis

Source de production variable (toutes échelles de temps) → besoins accrus d'équilibrage, rampes plus raides (inertie réduite), plus de flexibilité, stockage d'énergie est clé (historiquement coûteux)

Paradigmes d'intégration : **grandes centrales** (> 100 MW), en Suisse pas généralement une option (sauf parcs solaires alpins), ou **production distribuée** (petites unités)

Réseau actuel (distribution) **peu adapté** à une forte part de production décentralisée. Nouvelles tendances d'électrification (pompes à chaleur, véhicules électriques) accentuent la pression.

Non seulement un « problème de conception » mais aussi un « problème opérationnel » : nécessité de revoir pratiques d'exploitation au niveau système, de redéfinir les indices de fiabilité, prédictions, d'adapter les marchés de l'électricité (et de repenser les modèles économiques)

> Iberian peninsula blackout on April 2025 en brief

Le 28 avril 2025 à 12h30, un blackout a frappé l'Espagne et le Portugal. Événements:

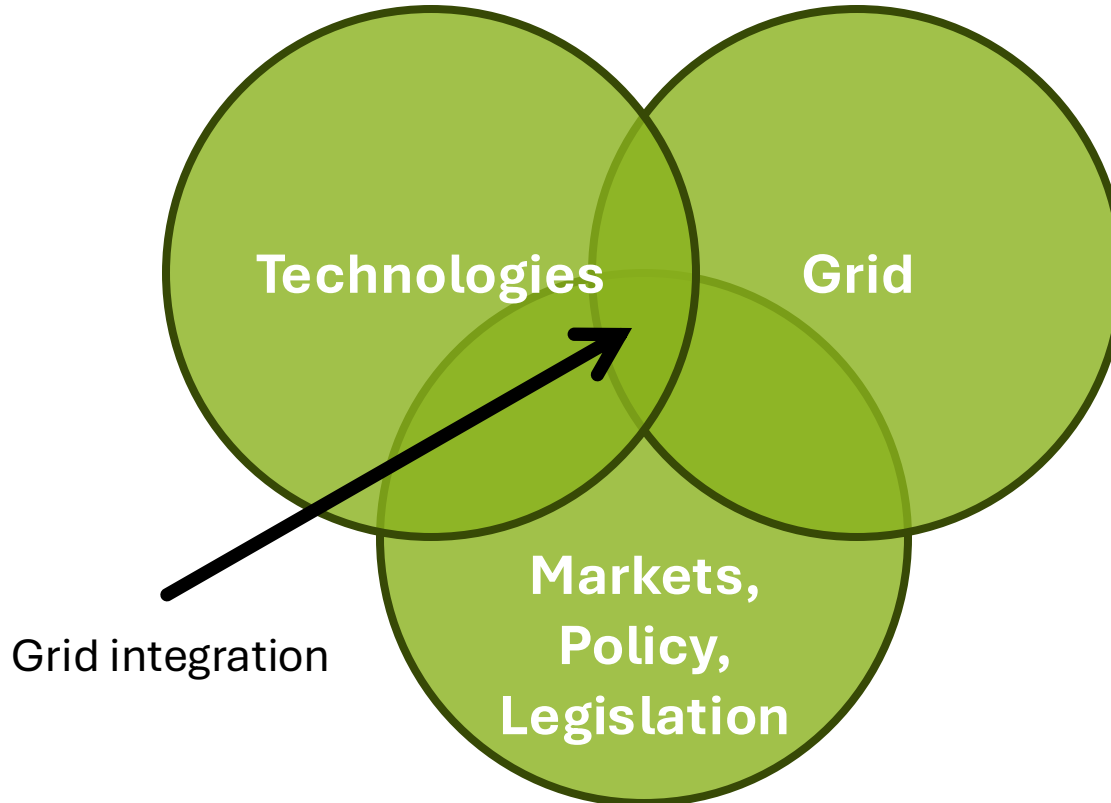
- 12h33 : perte de 2,2 GW (3 centrales déconnectées en séquence rapide, dans le SO de l'ES)
- Peu après : déconnexion des lignes ES-FR & ES-MA → péninsule isolée, et perte de la majorité de la production

Causes : surtensions, exacerbées par les faibles transferts entre ES et FR (et les lignes peu chargées) et les délestages sous-fréquence successifs

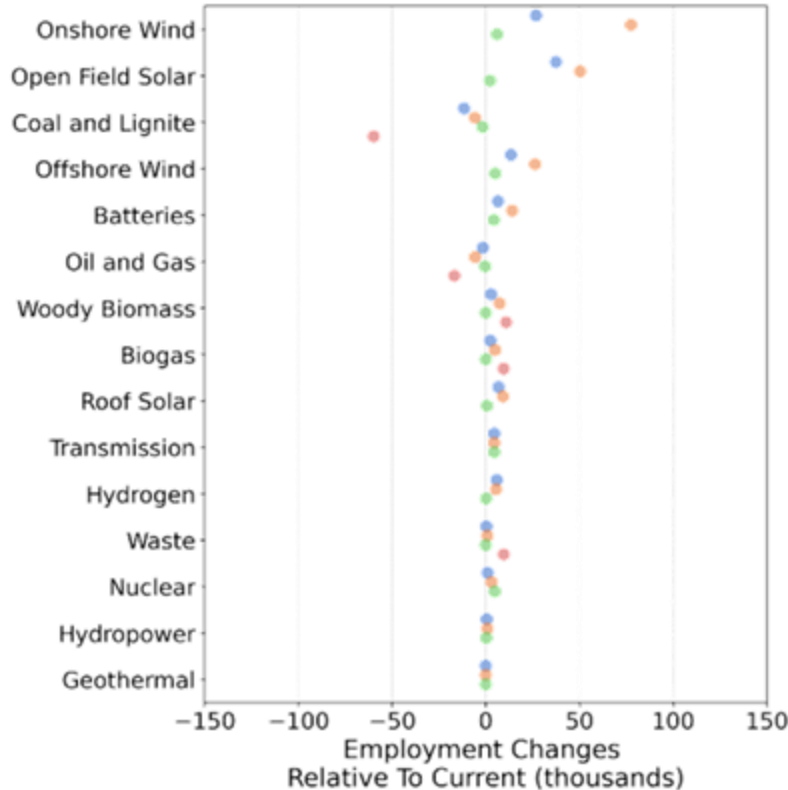
Restauration via interconnexions & black-start hydro → 4h du matin.

Enquête préliminaire par ENTSOE conclue, enquête principale toujours en cours. Problème non lié aux renouvelables, mais plutôt à la planification opérationnelle et aux réglages de protections.

> R&D et activités dans le secteur des réseaux élec'



> Employment perspectives in the energy sector



Job perspectives for year 2035, EU level, Fit for 55 scenario.

Maguire, A., Torné, A., & Trutnevyte, E. (2025). Regional electricity sector employment and skills under different European policy scenarios, preprint.

STORE.

Energy storage infrastructure for 100% renewable in Switzerland

Flagship
supported by



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Innosuisse – Swiss Innovation Agency



Quelles infrastructures de stockage d'énergie (dimensionnement, localisation, mix technologique) pour assurer 100 % de production renouvelable en Suisse ?



axes de R&D : hydroélectricité, power to gas, derrière-le-compteur, réseaux de distribution, réseau de transport



Novelis

FLASA
High Performance Yarns

OIKEN

VALGRID^{SA}

Leading partner:

Hes·so VALAIS
WALLIS



THELER

RELL

swissgrid



Natron Energy

PLANAIR
Ingénieurs de la transition énergétique

MISSIUM

ETH
EPFL




Merci pour l'attention ... mais surtout:

Bonne chance à nos futurs ingénieurs !

Prof. Fabrizio Sossan

Director, GridLab - <https://gridlab.hevs.ch>

HES-SO Valais-Wallis

 fabrizio.sossan@hevs.ch