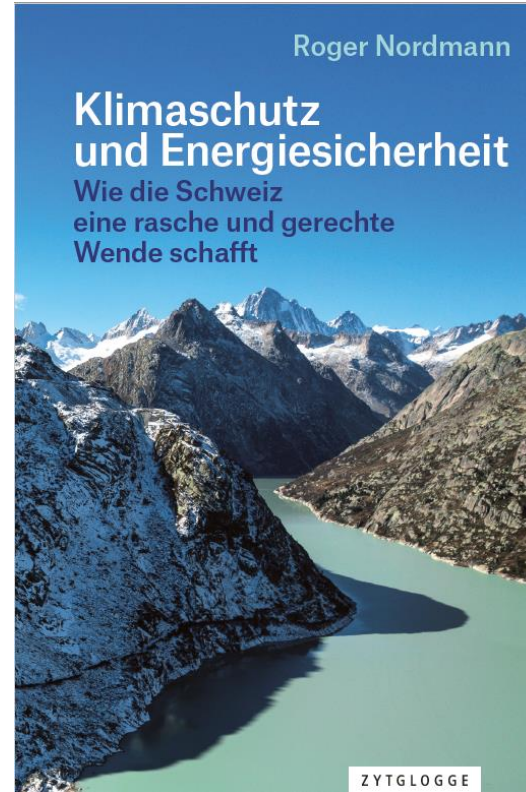


Congrès Hydrogène 28 mars 2023

AEE

# La place de l'hydrogène en Suisse pour l'approvisionnement énergétique



# Contenu

- 1) De l'hydrogène rêvé à l'hydrogène réaliste
- 2) Electricité: la situation actuelle en hiver en été
- 3) L'enjeu de la décarbonation de l'industrie
- 4) L'hydrogène permet la synergie entre industrie et approvisionnement hivernal en électricité
- 5) Le mix de production électrique dont nous avons besoin
- 6) Les enjeux de l'hydrogène
- 7) Les zones d'incertitudes: réseau et stockage
- 8) Les étapes

# 1. De l'hydrogène rêvé à l'hydrogène réaliste

L'approche hydrogène est celle de mon dernier livre.

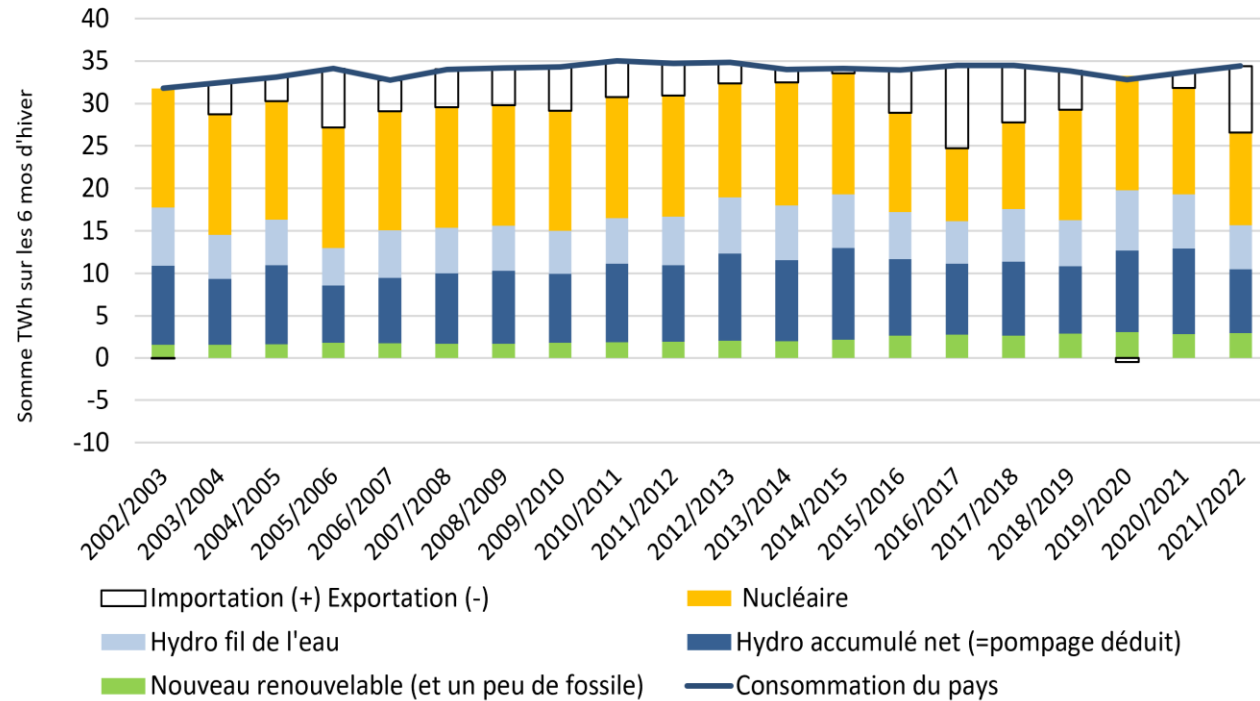
## Quatre constats:

1. H<sub>2</sub> pour le stockage d'électricité pas très efficace:
  - *2/3 de perte en roundtrip El → H<sub>2</sub> → El.*
  - *Dans la mobilité terrestre, beaucoup moins efficace que les batteries (sauf application de niche, et encore). Hydrogène dans la mobilité = gaspillage d'électricité précieuse.*
2. Dans l'industrie, il faudra du H<sub>2</sub> pour une partie de la décarbonation.
3. Pour le stockage saisonnier d'énergie, le H<sub>2</sub> ou ses dérivés (CH<sub>4</sub>, liquides) offrent un grand potentiel.
4. Intégration des stratégies I) hydrogène, II) électricité et III) décarbonation de l'industrie.

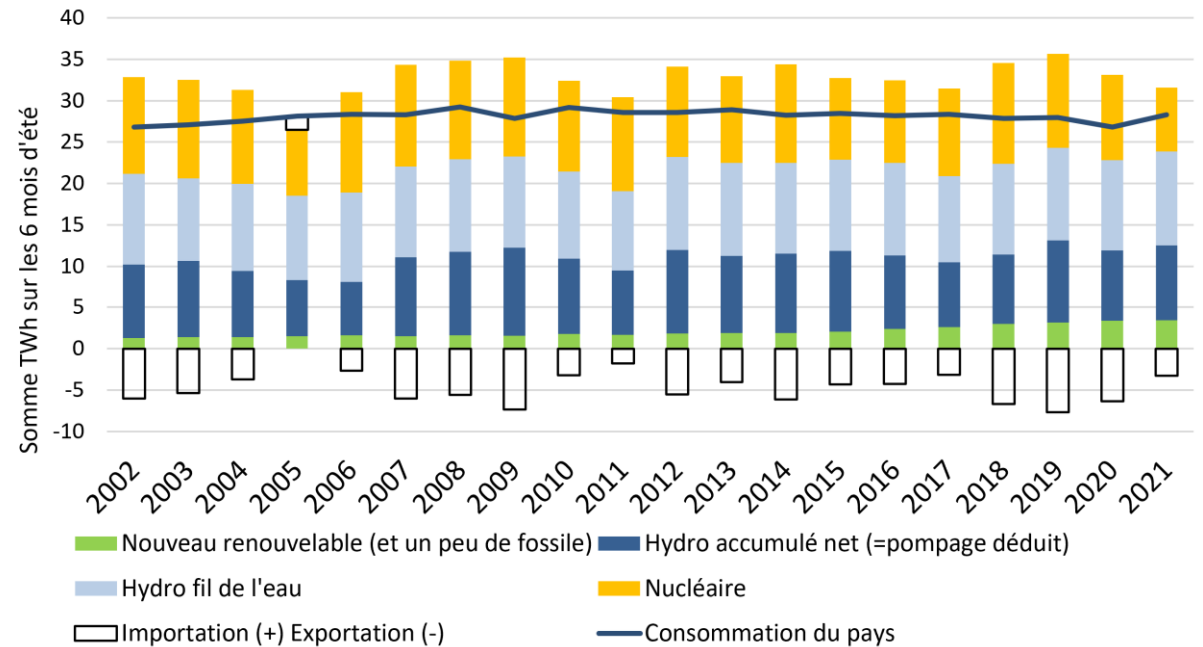


# 2. Electricité: la situation actuelle en hiver en été

Hiver 2002/03 à 2021/22 (octobre à mars)



Eté 2002 à 2021: (avril à septembre)



## Pour la neutralité climatique (hors aviation):

Remplacer le nucléaire déclinant

+ 6 TWh par an, principalement en hiver, pour le chauffage.

+ 17 TWh par an pour la mobilité (répartis régulièrement)

+ Décarboner l'industrie

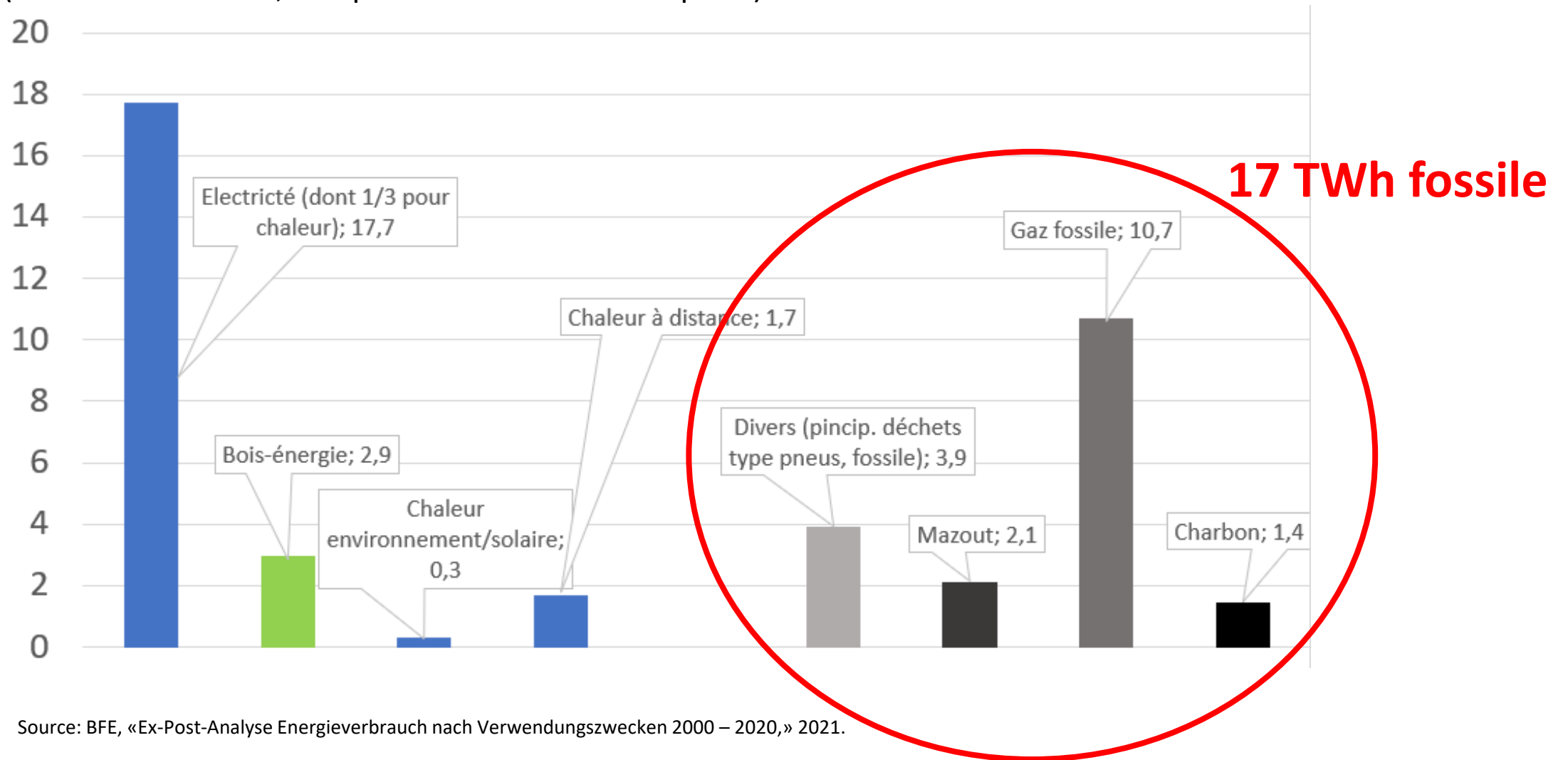
+ Ne pas utiliser de fossile en hiver pour produire de l'électricité

= Défi énorme → investir massivement

# 3. L'enjeu de la décarbonation de l'industrie

## Les agents énergétiques dans l'industrie en 2019 en Suisse

(sans les carburants, comptabilisés dans les transports).



Source: BFE, «Ex-Post-Analyse Energieverbrauch nach Verwendungszwecken 2000 – 2020,» 2021.

**Figure 23. Utilisation d'énergie pour la production de chaleur dans l'industrie selon le niveau de température (procédés et bâtiments)**

| Tous usages, sources renouvelables et non renouvelables    | TWh  | Part    |
|--|------|---------|
| Chauffage, eau chaude et chaleur des procédés jusqu'à 100° | 9,0  | 31,0 %  |
| 100-200 °C   | 3,3  | 11,4 %  |
| 200-400 °C   | 1,6  | 5,5 %   |
| 400-800 °C   | 8,9  | 30,5 %  |
| 800-1200 °C  | 4,4  | 15,3 %  |
| >1200 °C   | 1,8  | 6,3 %   |
| Total  | 29,2 | 100,0 % |

Source des données du calcul: [45]

# 4. L'hydrogène permet la synergie entre industrie et approvisionnement hivernal en électricité

## Si l'on traite les problèmes séparément

### Industrie:

17 TWh Fossile → 17 TWh Syngaz (gaz de synthèse) produit en été  
→ **34 TWh électricité** (car 50% pertes de conversion lors de la fabrication du syngaz).

### Manque d'électricité hivernale:

(avec transports terrestres et bâtiments décarbonés, 50 GW PV):

10 TWh → 20 TWh Syngaz produit en été (car à nouveau 50% pertes de conversion Syngas → électricité)  
→ **40 TWh électricité**

Total = **74 TWh électricité** en été pour produire syngaz+ et stockage de 37 TWh Syngaz.

= quantité monstrueuse! Peu réaliste

## En exploitant les synergies et l'efficacité

Electricité hivernale : récolter suffisamment d'électricité directement en hiver pour avoir rarement recours au syngaz

### Syngaz

#### Prod été en vue de l'hiver:

Essentiellement pour l'industrie, afin d'éviter les pertes de reconversion en électricité

#### Solde du surplus électrique estival:

Consommation directe dans l'industrie + syngaz «just in time» pour l'industrie



# Quelle stratégie pour remplacer les 17 TWh fossiles de l'industrie (y-c pneus)?

Stratégie d'efficacité maximum.

Toute  
année

**Chaleur dans l'industrie pour le chauffage, les processus jusqu'à 100 ° : 5 TWh**, dont la moitié pour les processus (constant sur l'année) et l'autre moitié pour le chauffage (principalement en hiver)

Pompes à chaleur haute température, principalement hiver. Les pompes à chaleur consomment **2,5 TWh**

→ **Davantage d'électricité, dont les 2/3 en hiver**

Sem.  
été

**1<sup>ère</sup> Moitié de la chaleur > 100° d'origine fossile dans l'industrie, semestre d'été 3 TWh**

Utilisation directe de l'électricité pour produire de la chaleur > 100° : **3 TWh**

(installation hybride élect & gaz ! Pas de gain d'efficacité, car pas de pompe à chaleur !)

→ **Davantage d'électricité pendant l'été**

**2<sup>ème</sup> moitié de la chaleur > 100° d'origine fossile dans l'industrie, semestre d'été : 3 TWh**  
(Cas où électricité pas praticable)

Utilisation de 3 TWh de syngaz, ce qui nécessite d'utiliser **5 TWh** d'électricité pour le fabriquer, pas de stockage saisonnier.

→ **Davantage d'électricité pendant l'été**

Sem.  
hiver

**Remplacement de 6 TWh de chaleur industrielle > 100° pendant le semestre d'hiver.**

Utilisation de 6 TWh de syngaz renouvelable à fabriquer pendant l'été et à stocker pour l'hiver. Nécessite **12 TWh** pendant l'été

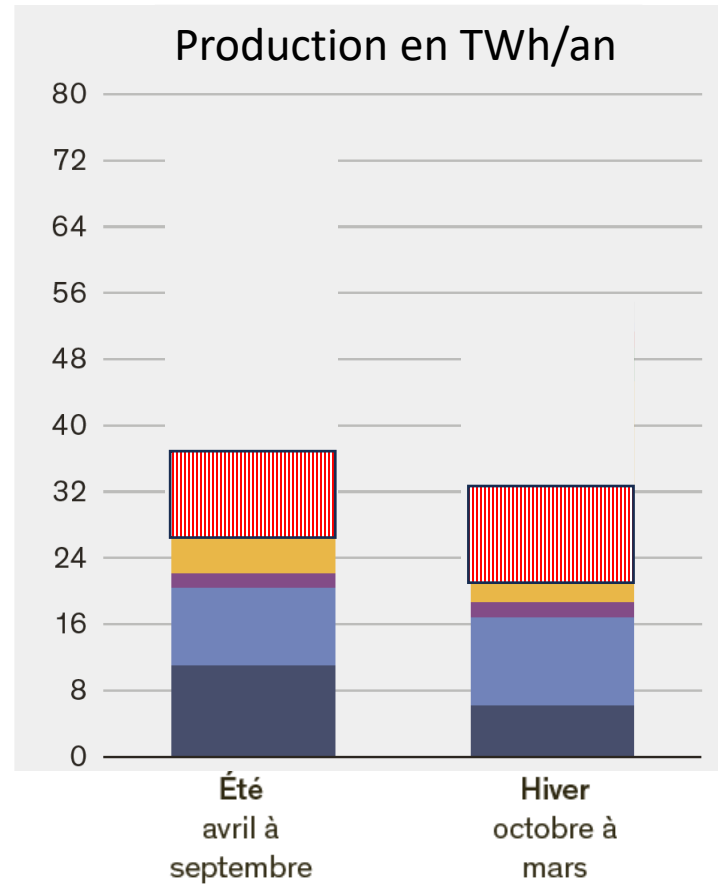
→ **Davantage d'électricité pendant l'été**



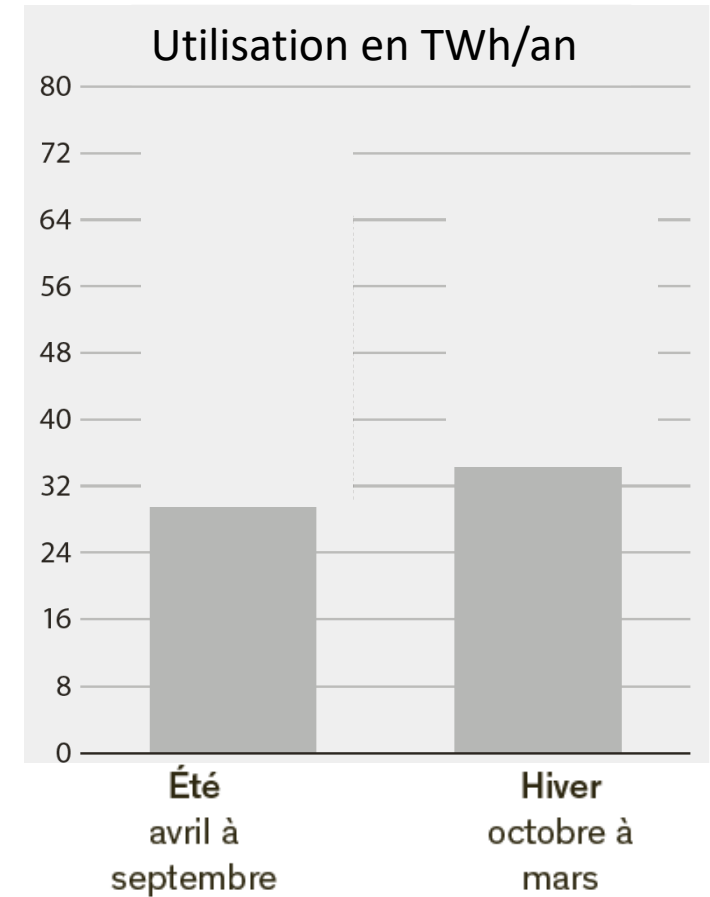
## 5. Le mix de production électrique dont nous avons besoin

- L'hydroélectricité existante
- La biomasse existante
- 4 GW éolien (1000 machines) → 6 TWh, dont 4 en hiver
- 15 projets «Table ronde»: 2 TWh de stockage hydro supplémentaire
- Au total 72 GW Photovoltaïque → 76 TWh (16x plus qu'aujourd'hui).
  - Actuellement: **5,8% du potentiel des toits est utilisé pour le PV, pour environ 5 GW**  
(source: [https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/DO\\_Energierporter/](https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/DO_Energierporter/) )

# La situation moyenne pendant les semestres d'été et d'hiver

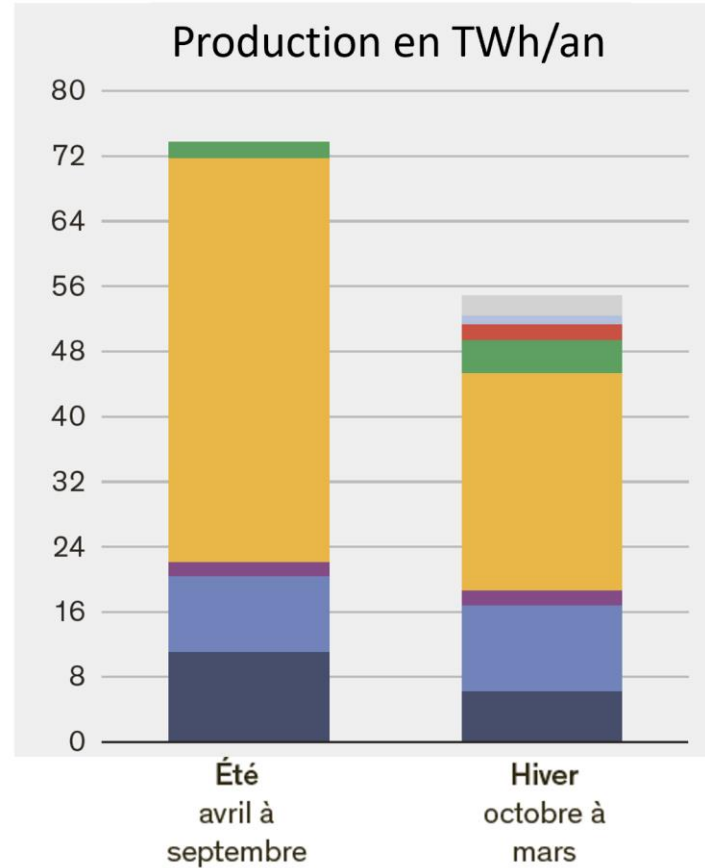


- Importation d'électricité
- Électricité produite à base de syngaz
- Nouveau hydro accumulation 2 TWh selon Table ronde
- Production éolienne additionnelle
- Photovoltaïque production brute
- Biomasse, éolien et déchets incl. part fossile
- Hydraulique à accumulation usage optimisé
- Fil de l'eau

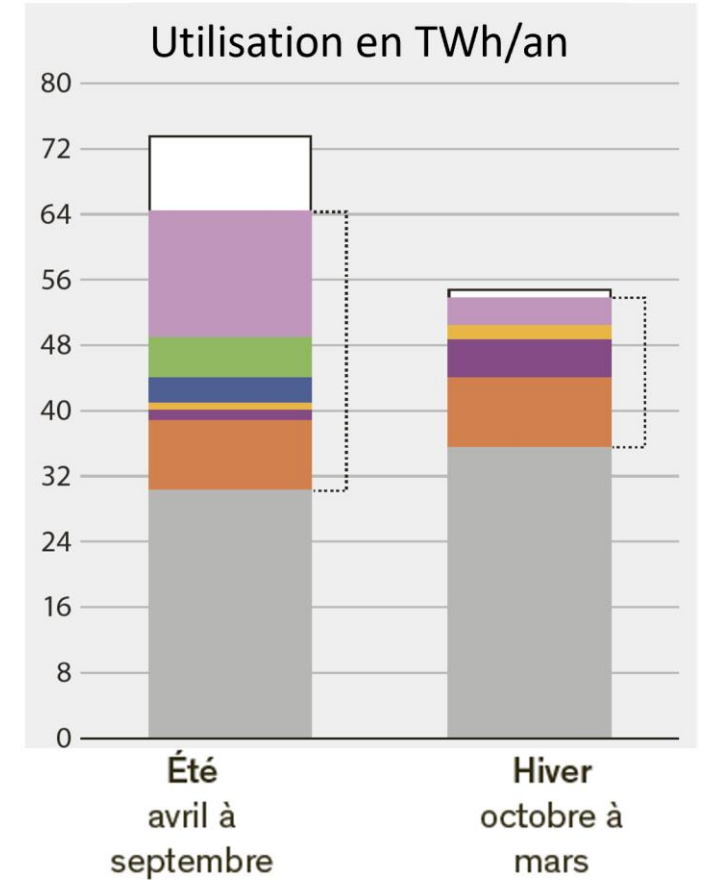


- Peak-shaving, pertes stockage intermédiaire été ou export
- Électricité pour production de syngaz en vue du stockage saisonnier
- Électricité pour production d'hydrogène en été
- Électricité pour haute température dans l'industrie
- Électricité pour pompes à chaleur dans l'industrie
- Électricité pour décarbonisation chauffage et eau chaude sanitaire
- Électricité pour remplacement diesel et essence
- Consommation actuelle, y c. pertes et pompage

# La situation moyenne pendant les semestres d'été et d'hiver

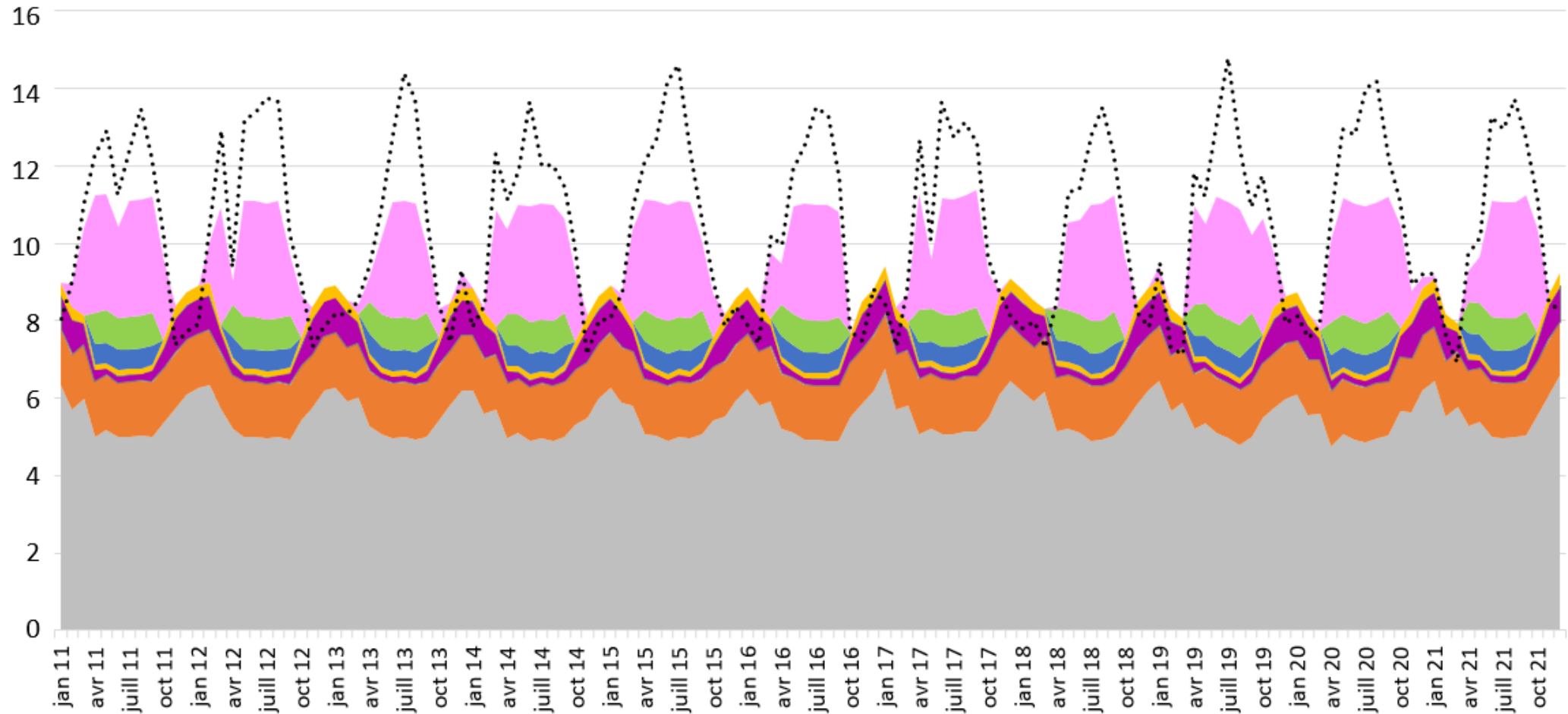


- Importation d'électricité
- Électricité produite à base de syngaz
- Nouveau hydro accumulation 2 TWh selon Table ronde
- Production éolienne additionnelle
- Photovoltaïque production brute
- Biomasse, éolien et déchets incl. part fossile
- Hydraulique à accumulation usage optimisé
- Fil de l'eau



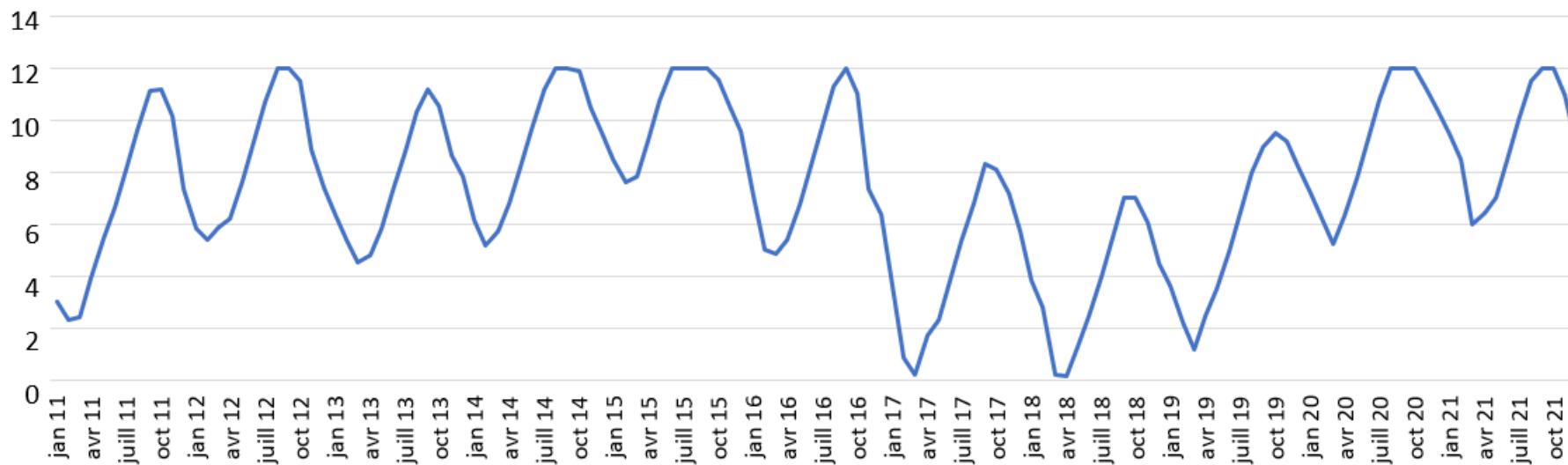
- Peak-shaving, pertes stockage intermédiaire été ou export
- Électricité pour production de syngaz en vue du stockage saisonnier
- Électricité pour production d'hydrogène en été
- Électricité pour haute température dans l'industrie
- Électricité pour pompes à chaleur dans l'industrie
- Électricité pour décarbonisation chauffage et eau chaude sanitaire
- Électricité pour remplacement diesel et essence
- Consommation actuelle, y c. pertes et pompage

## L'utilisation de l'électricité TWh/mois



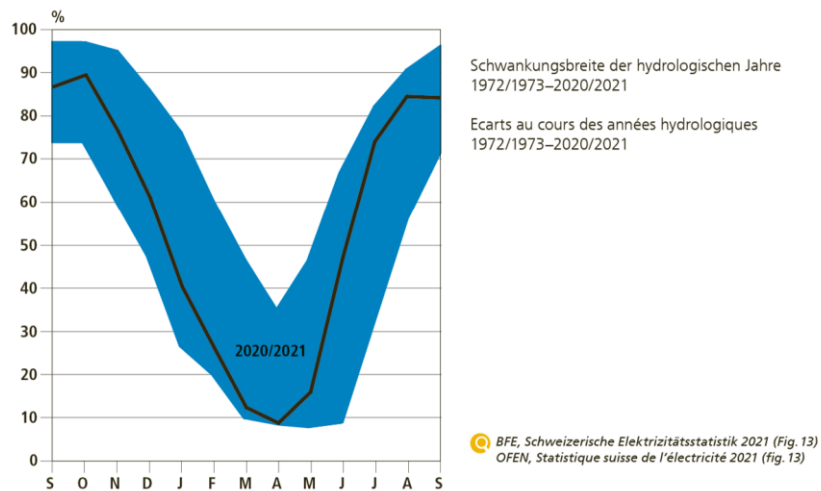
- Electricité pour production de syngaz en vue du stockage saisonnier
- Electricité pour production d'hydrogène en été
- Electricité pour haute température dans l'industrie
- Electricité pour pompes à chaleur dans l'industrie
- Electricité pour décarbonisation chauffage et eau chaude sanitaire
- Electricité pour remplacement diesel et essence
- Consommation actuelle, y c. pertes et pompage
- ⋯ Production d'électricité du PSC 2.0 y compris à base de syngaz

Stock de syngaz (plafonné), TWh



Besoin max stock Syngaz = 12 TWh = fraction des stocks actuels de produits pétroliers

Figure 25 : Variation du contenu des bassins d'accumulation à la fin du mois



Résumé:

| TWh                                  | Actuellement | Tout décarboné sauf aviation |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| Essence, diesel, gaz fossile, mazout | 121          | 0                            |
| Electricité (consommation brut)      | 67           | 118                          |
| <b>Total</b>                         | <b>188</b>   | <b>118</b>                   |
| (kérozène)                           | (20)         | (20)                         |

## 6. Les conclusions pour l'hydrogène

- L'hydrogène est utilisé pour l'essentiel dans l'industrie, pour éviter les pertes de reconversion en électricité.
- Besoins importants d'hydrogène, mais pas gigantesques: 9 TWh pour l'industrie, dont 6 à stocker de l'été à l'hiver, 2 TWh pour l'électricité (Total 11)!
- La production de H<sub>2</sub> en été permet d'équilibrer le système électrique en valorisant le surplus estival (et donc contribuant à rentabiliser des capacités de production électrique installées pour la sécurité hivernale).
- Beaucoup d'arguments pour produire l'hydrogène de manière décentralisée dans les zones industrielles (pas besoin de transporter les surplus électriques, utilisation sur place de l'hydrogène, connexion existante au réseau de gaz).
- Il faut un stockage saisonnier d'hydrogène (ou dérivé, comme le méthane) pour 6 TWh.

# 7. Les zones d'incertitudes: réseau et stockage

- Construire un réseau d'hydrogène et le stocker de l'été à l'hiver
  - plus efficace sur le plan énergétique
  - énormes volumes,
  - peu de synergie avec le réseau de gaz existant

ou

- Capturer du CO<sub>2</sub> et le combiner avec le H<sub>2</sub> pour transporter et stocker sous forme de CH<sub>4</sub>
  - pas de réseau à construire
  - stockage plus facile, besoin d'énergie pour capture et méthanation, mais en été assez d'énergie
  - usage dans les équipements existants
- Variante: cycle de l'ammoniac NH<sub>3</sub>, bien connu, LOHC...



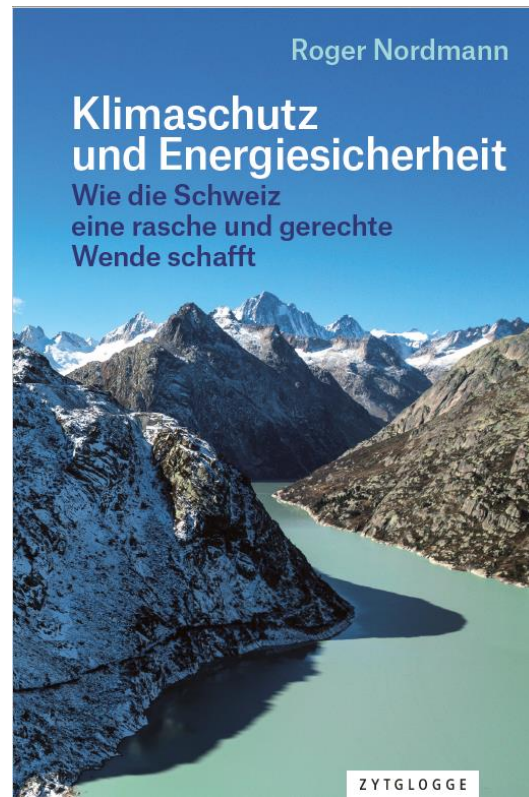
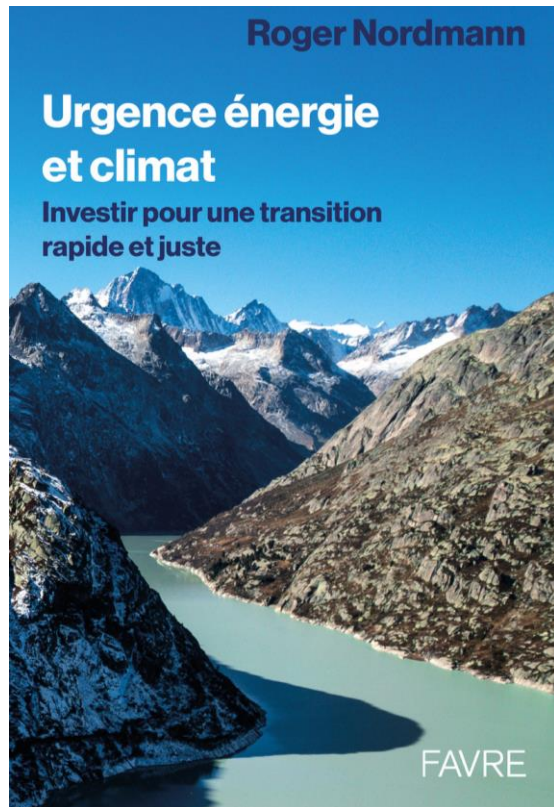
Les réservoirs Iberdrola  
Env. 20 MWh de H<sub>2</sub> par réservoir

(extrait vidéo publicitaire  
<https://www.iberdrola.com/about-us/what-we-do/green-hydrogen>).



## 8. Les étapes

- **Phase 1** : Les modestes excédents électriques de l'été sont transformés en hydrogène et directement injectés dans le réseau de gaz naturel. Les premières installations bi-énergies sont installées dans l'industrie : lorsque l'électricité est abondante en été, remplacement du méthane fossile par de l'électricité.
- **Phase 2** : l'usage direct d'hydrogène se répand dans l'industrie. Pendant l'été, certaines installations industrielles à haute température switchent du méthane fossile à l'hydrogène (premiers stockages tampons décentralisés).
- **Phase 3** : La production d'hydrogène monte en puissance en parallèle aux excédents électriques. Dès qu'elle dépasse les besoins estivaux de gaz de l'industrie, début du stockage saisonnier
- **Phase 4** : Plein développement du stockage saisonnier du syngaz



*Libro in italiano, come pdf, da leggere  
allo schermo o da stampare a casa*

[www.roger-nordmann.ch](http://www.roger-nordmann.ch)