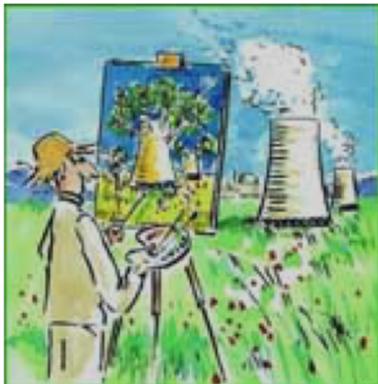


Raconte-moi la France ...

pourquoi elle seule a réussi sa transition écologique en cette première moitié du 21^{ème} siècle



Nous sommes en 2040 : toute la France est libérée.

→ Toute ? Oui, toute

Nous sommes en 2040 : toute la France est libérée.

→ Toute ? Oui, toute. Enfin presque

→ *alors, c'est pour cela qu'on voit de moins en moins d'éoliennes ?*

→ euh ... eh bien pour cela faisons un petit retour en arrière

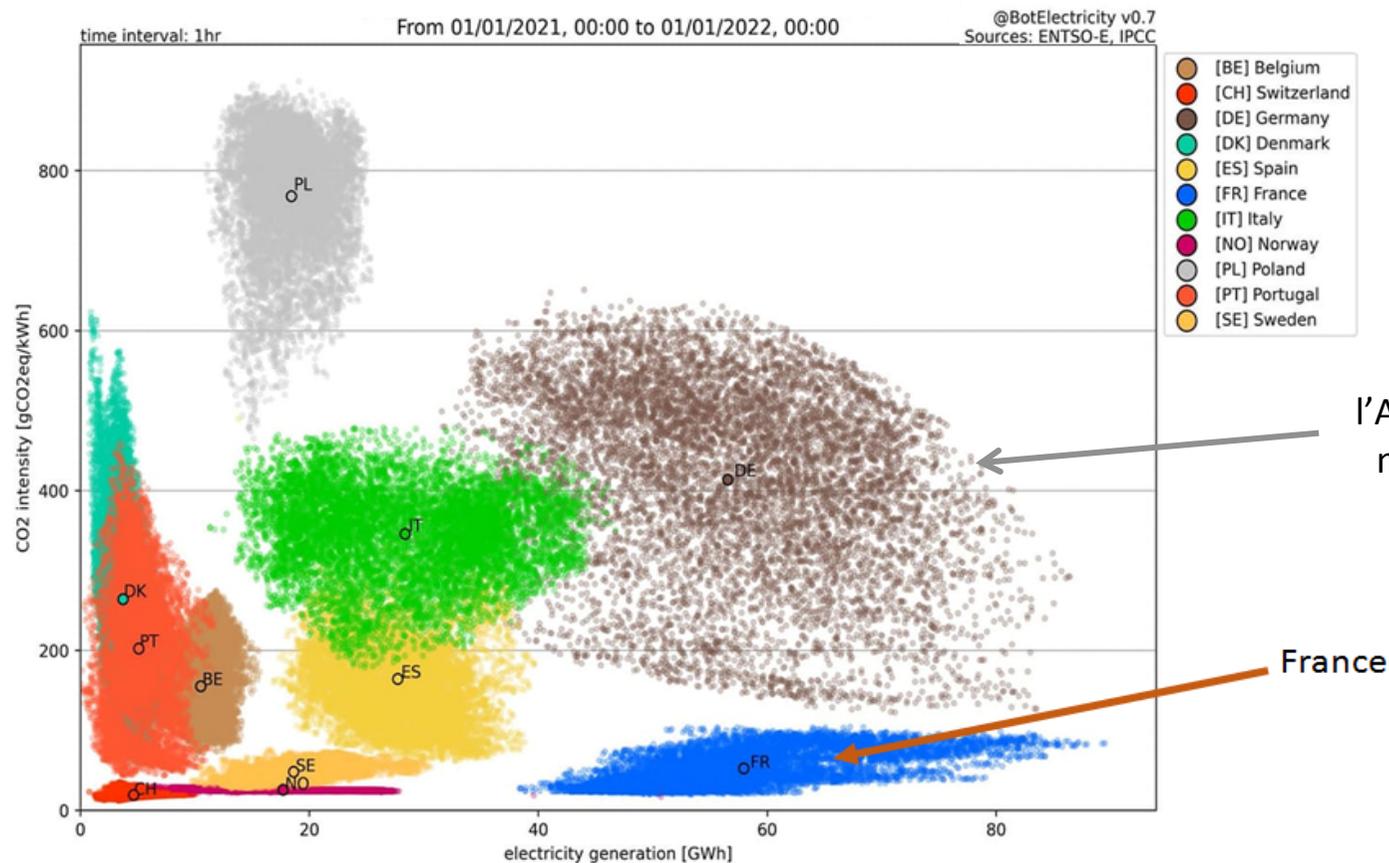
Petit retour en arrière

En 2022, émergea un début de prise de conscience :

→ les pays qui réussiraient leur décarbonation étaient ceux qui :

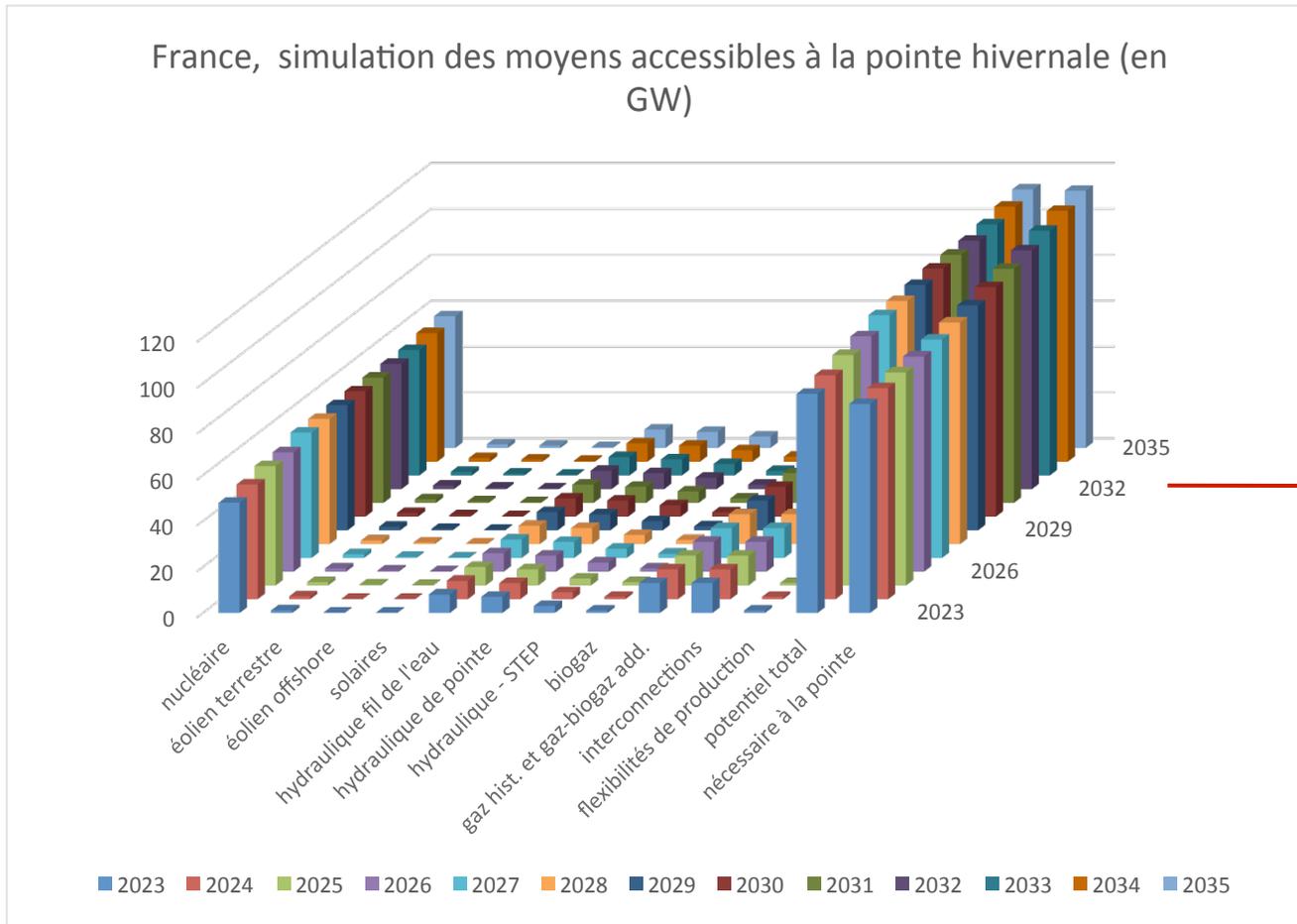
1. menaient avec constance et régularité un vrai programme d'efficacité énergétique
2. avaient un mix électrique à base de nucléaire ou d'hydraulique + nucléaire

Quantité de CO₂ produit par kWh générée sur les 365 jours de l'année 2021 (gCO₂eq/kWh en ordonnée) en fonction de la production (MWh en abscisse),
heure par heure (un point par heure) et pays par pays (par couleur)



Constat partagé :
l'Allemagne éolo-gazière
ne réussirait jamais sa
transition

A la même époque on comprit que pour notre indépendance énergétique et notre sécurité d’approvisionnement, il ne fallait pas compter sur l’éolien, ni le solaire. Les importations d’électricité un peu, mais pas trop : il avait en effet été prouvé que le « foisonnement éolien » inventé par les opérateurs n’avait aucune réalité.

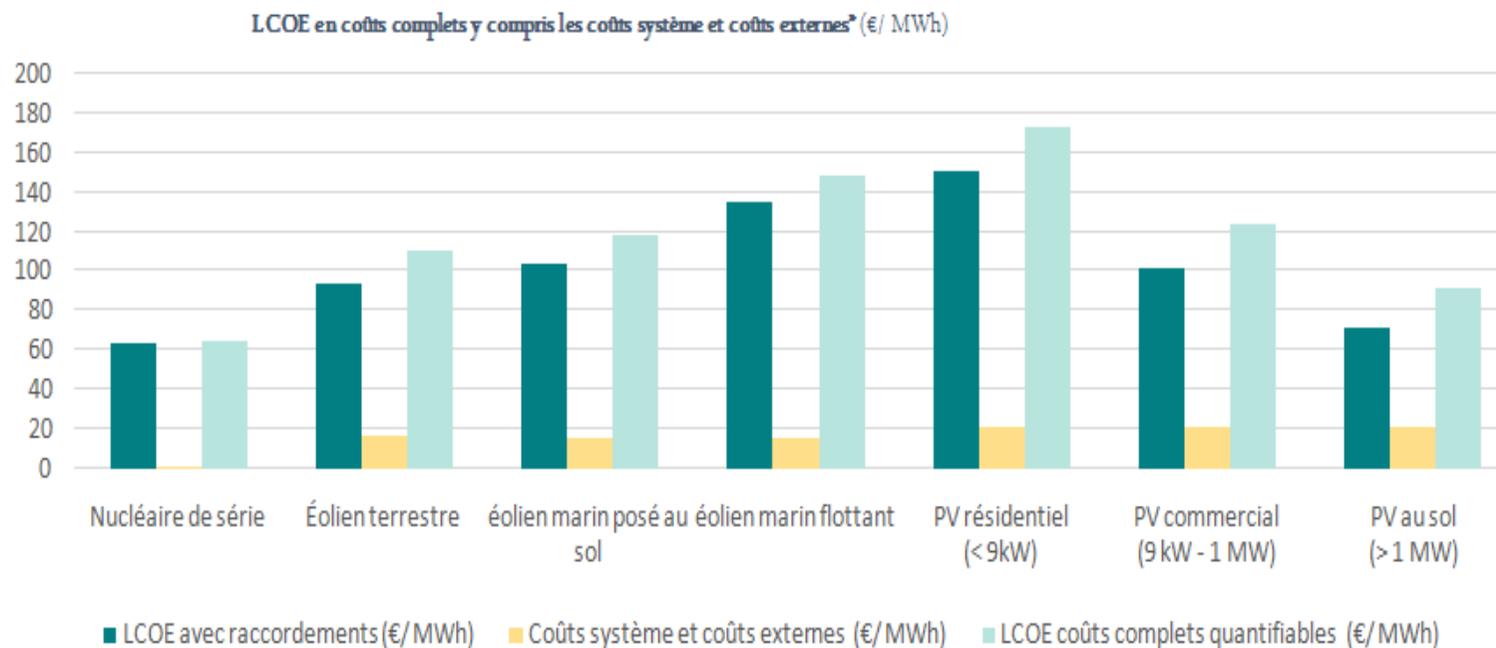


retour aux fondamentaux :
 Le critère d’efficacité du système est :
 caler la capacité de production sur le besoin à la pointe hivernale

De même, il fut enfin réalisé que seul le nucléaire civil de série, avec de vastes effets d'échelle, menait à un prix compétitif de l'électricité.

Les opérateurs et le ministère avaient caché sous le tapis la réalité des coûts complets de production.

Dans un contexte d'électrification croissante des usages, c'était grave, et poursuivre dans cette erreur aurait obéré les chances de réussite de deux programmes majeurs : notre programme de réindustrialisation, et le plan hydrogène sans lequel la neutralité carbone ne pouvait pas être atteinte.



*Coûts système : coûts d'équilibrage et coûts de profil (coûts de back-up)
Coûts externes : autres GES, pollution de l'air, pollution sonore et visuelle

https://cereme.fr/wp-content/uploads/2022/07/C-12-Comparaison-des-coûts-complets-de-production-de-lelectricite_.pdf

Alors, dis-moi le nucléaire ...

Notre difficulté était simple :

1. faute d'avoir investi dans le nucléaire pendant près de 20 ans (une génération) l'on avait perdu des compétences-clés

Flamanville ? direz-vous ... Oui Flamanville, un avatar de l'Airbus du nucléaire. Pas le véritable EPR 2 qui désormais fonctionne un peu partout en France et dans le monde.

2. après l'annonce de la fermeture de 14 réacteurs d'ici à 2035, notre pépète EDF avait perdu toute envie de poursuivre, plaçant son énergie dans les renouvelables en France et à l'étranger ... *ce qui l'enrichit directement et la ruine indirectement* (H. Machenaud)

L'ARENH ? direz-vous ... Oui l'ARENH, ce système obligeant EDF à vendre à perte 25% de sa production nucléaire à ses concurrents (*) à un prix défiant toute concurrence.

(*) des fournisseurs qui souvent ne sont pas même producteurs

3. il se profilait un effet falaise sur le parc existant, à partir de 2030

4. l'on avait arrêté le programme Astrid, autrement dit notre capacité à fermer le cycle du combustible : un avantage compétitif à long terme.

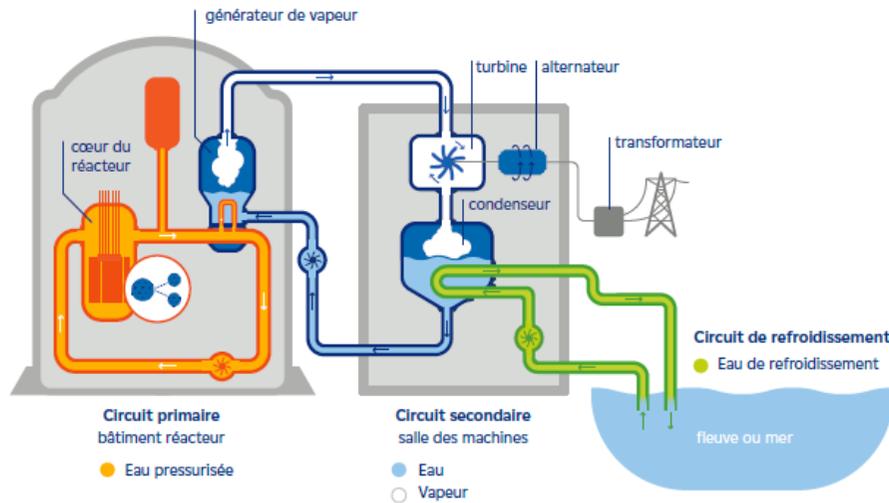
5. on ne voulait pas causer du déplaisir à la Commission européenne

FLAMANVILLE 3 ...

1. EPR = un Réacteur à eau pressurisée (Rep)

Une technologie maîtrisée par EDF - expérience d'un parc quasi-standardisé de 56 réacteurs (+ F.)

RÉACTEUR À EAU PRESSURISÉE (REP) SANS AÉRORÉFRIGÉRANT

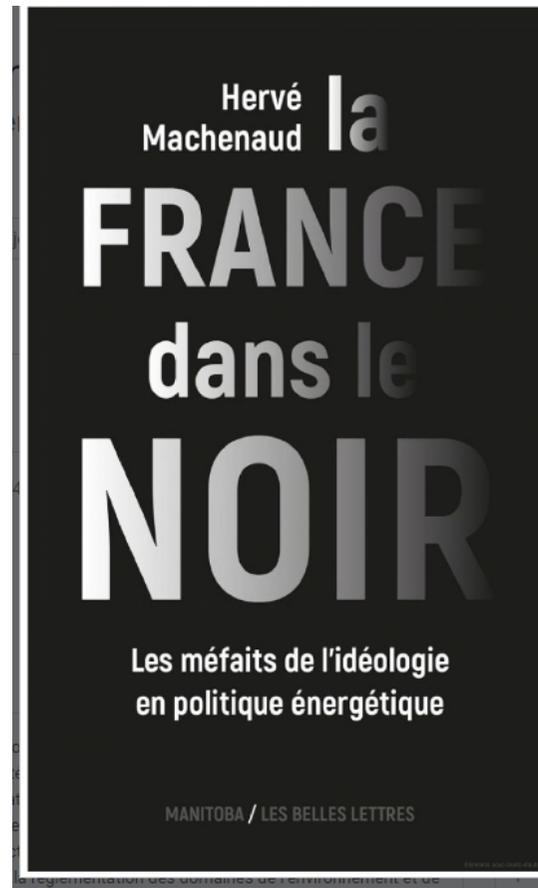


Source : EDF

2. EPR = un réacteur de génération 3

- réponse à des exigences de sûreté accrues (suite TMI & Tch et suite à Fukushima/ risque tsunami)
Certifié par autorités de sûreté France, Finlande, Chine, RU
- issu d'une technologie française, cependant pollué par l'étape airbusienne Siemens-Areva
- prolongement de la puissance des paliers français (900, 1 300, 1 450 MW) afin d'optimiser le coût du KW installé et de minimiser l'occupation foncière

En bref, il se profilait *une France dans le noir*



→ **une mine :**

- du bon sens
- étayé par l'expérience d'un ancien cadre dirigeant d'EDF

120 pages qui se laissent lire

une France qui aurait perdu son avantage compétitif essentiel : le nucléaire

Une petite communauté de citoyens libres se révolta ...

... et ce fut - parmi bien d'autres - le CEREME

Parmi les productions du Céréme :

1. Des scénarios

<https://cereme.fr/wp-content/uploads/2022/04/Rapport-Roland-Berger-scenario-du-Cereme.pdf>

2. Des fiches analytiques

<https://cereme.fr/travaux/>

3. Des notes de positionnement, notamment auprès de Bruxelles

Un travail d'influence

Et ce fut l'annonce de Belfort, le 10 février 2022

Belfort, c'est ...

- c'est du « *en même temps* » : l'incapacité d'une génération à faire des choix lisibles
- c'est cependant aussi une prise de conscience de ce qui précède
Sans le dire explicitement.

Sur le nucléaire, Belfort c'est ...

- l'annonce de la prolongation des réacteurs existants
- L'annonce d'un programme de 6 EPR 2 et de 8 additionnels

Pas « *6 + 8 en option* », mais : « ***je souhaite que 6 EPR2 soient construits et que nous lancions les études sur la construction de 8 EPR2 additionnels*** »

Ce qu'il manquait à l'annonce de Belfort le 10 février 2022

1. l'annonce d'un programme de série industrielle assorti de vraies économies d'échelle :

COUTS COMPLETS DE PRODUCTION - ELECTRICITE

hypothèses standard : durée de vie, facteur de charge moyen etc.

unité	Nucléaire nouveau avec effet de série	Éolien terrestre	Éolien en mer posé	Éolien en mer flottant	
Durée de vie	ans	60	25	20	20
Taux d'actualisation	%	5%	5%	5%	5%
Facteur de charge moyen	%	85%	25%	40%	40%
Durée de construction	ans	9	1	1	1
Taux d'intérêts construction	%	4%	4%	4%	4%
taux de disponibilité	heures/ an	7451	2192	3506	3506
OPEX Coût du combustible	€/MWh	8	0	0	0
OPEX Coûts indirects	€/MWh	20	12	18	33
CAPEX Investissement initial	€/MWh	28	56	62	75
Intérêts intercalaires	€/MWh	6	2	2	3
Provision pour démantèlement	€/MWh	0,12	0,62	3,51	2,63
LCOE primaire	€/MWh	62	71	86	114
Coûts des raccordements et renforcements des réseaux	€/MWh	3	23	18	22
Coûts d'équilibrage	€/MWh	0	0,5	0,5	0,5
Coûts de profil (coûts de back-up)	€/MWh	0	10	10	10
LCOE avec Raccordements et Coûts Système		65	104	114	146
Coûts des GES pour la Société	€/MWh	0,3	0,8	0,8	0,8
Coûts de la pollution de l'air hors GES	€/MWh	0,8	0,7	0,7	0,7
Coûts de la pollution visuelle et sonore	€/MWh	0	5	2	2
LCOE total hors externalités non quantifiables	€/MWh	66	111	118	150

Nucléaire nouveau sans effet de série	Éolien terrestre	Éolien en mer posé	Éolien en mer flottant
10	20	20	20
15	15	15	15
20	22%	18%	18%
25	1	2	2
30	35	35	35
35	129	131	131
40	9	9	9
45	20	14	19
50	27	21	25
55	4	7	4
60	1,04	1,01	1,09
65	59	51	59
70	3	29	19
75	0	0,2	0,2
80	0	10	10
85	62	129	139
90	1,3	1,3	1,3
95	0,8	0,7	0,7
100	0	5	2
105	68	135	124
110			127

<< pas de Plan hydrogène ni de Plan de réindustrialisation sans réussite de ce programme nucléaire >>

2. l'annonce d'une relance, durable, d'un programme de type Astrid

... il manquait quelque chose ressemblant au scénario du Céréme modélisé par Roland Berger

Le scénario N4-2 du Céréme, modélisé par Roland Berger

1. CONFIANCE :

La France a la capacité de s'engager sur un programme suivant :

- prolongation de l'existant à 70 ans,
- mettre en service 20 à 24 EPR2 d'ici à 2050
→ total nucléaire : 90 à 100 GW
- quelques EnR **pilotables** : hydrauliques, biogaz + PAC
- des EnR intermittentes en complément, notamment pour l'export

2. PILOTAGE DE QUALITE :

- révision des règles de gestion au quotidien : le nucléaire et l'hydraulique en base
- pilotage du marché et des prix par la puissance publique

L'électricité n'est pas un bien comme les autres

3. PREPARATION DE L'AVENIR :

- un engagement R&D sur les nouvelles générations de réacteurs

Scénario alternatif aux Futurs énergétiques 2050 de RTE



Capacités installées par moyen de production pour les scénarios Céréme, RTE N03 et Belfort [2050 ; GW]

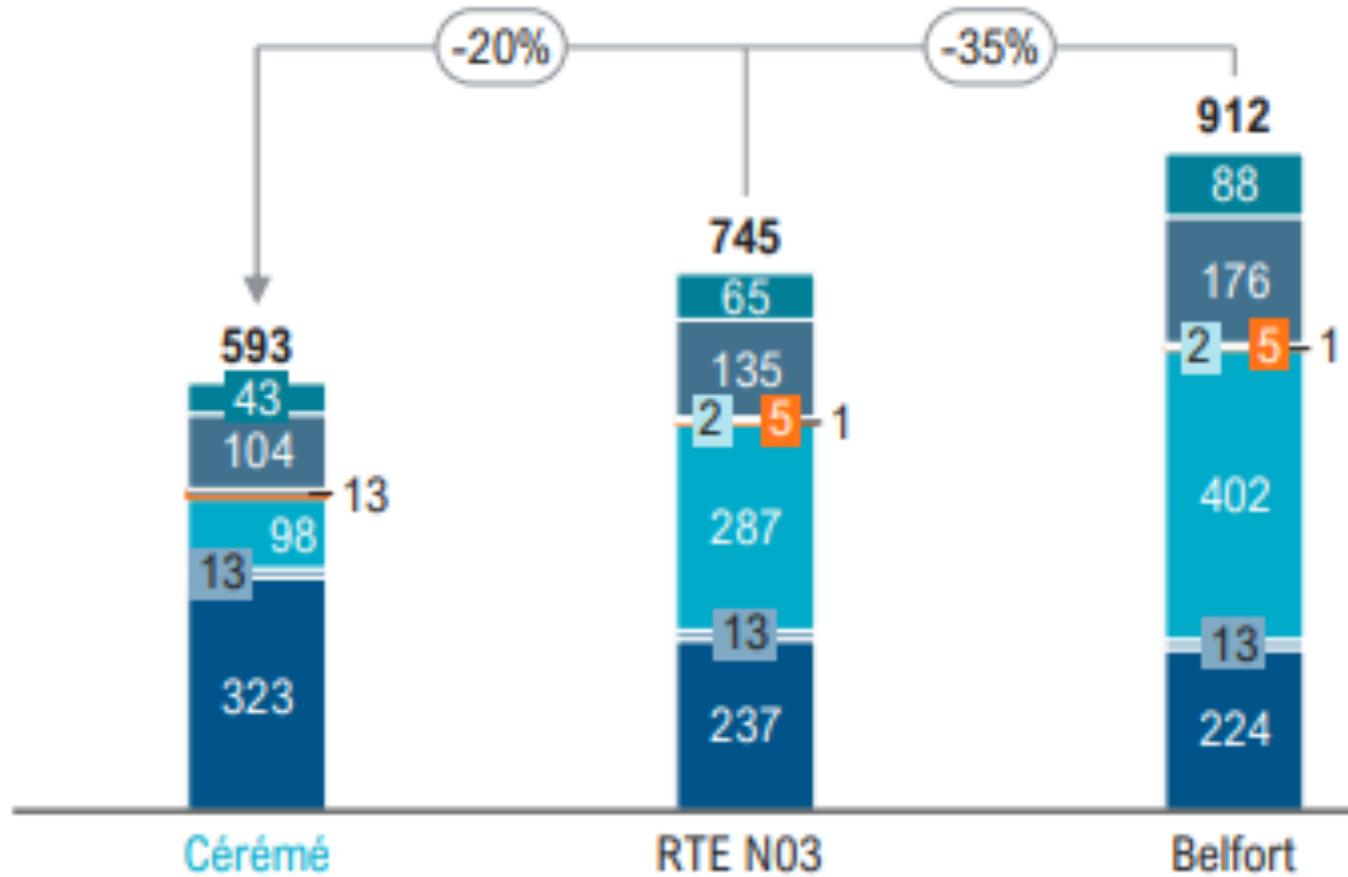
Capacités installées en 2050	Scénario Céréme [GW]	Scénario RTE N03 [GW]	Scénario Belfort [GW]
Nucléaire historique	59,0	24,0	24,0
Nouveau nucléaire	39,6	27,0	25,0 ¹
Hydraulique – fil de l'eau	13,6	13,6	13,6
Hydraulique – de pointe	8,5	8,5	8,5
Hydraulique – STEP	8,0	8,0	8,0
Solaire	49,6	70,0	108,6
Eolien onshore	0,0	43,0	37,0
Eolien offshore	0,0	22,0	40,0
Batteries & V2G	0,0	2,7	2,7
Biogaz et autres bioénergies ²	2,5	2,5	2,5
Gaz historique & gaz/biogaz additionnel ³	20,1	0,0	0,0
Total – hors interconnexions	200,9	221,3	269,9
<i>Interconnexions</i>	<i>15,0</i>	<i>39,0</i>	<i>39,0</i>

1) Dont 4 GW de SMR pour N03, 2 GW pour Belfort ; 2) Capacités historiques et communes à tous les scénarios de RTE ; 3) Dont 8 GW de capacité gaz historique et 12,3 GW de capacités gaz/biogaz additionnelles

39 GW ...

Investissements cumulés 2019-2050 (Md €)

pour la demande d'électricité de référence de RTE (N03)

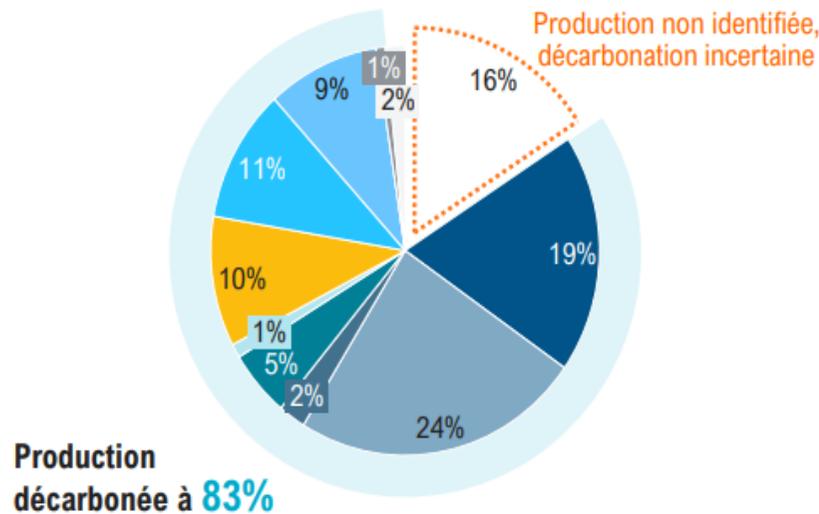


Un scénario qui répond à toutes les hypothèses d'évolution de la consommation d'ici à 2050

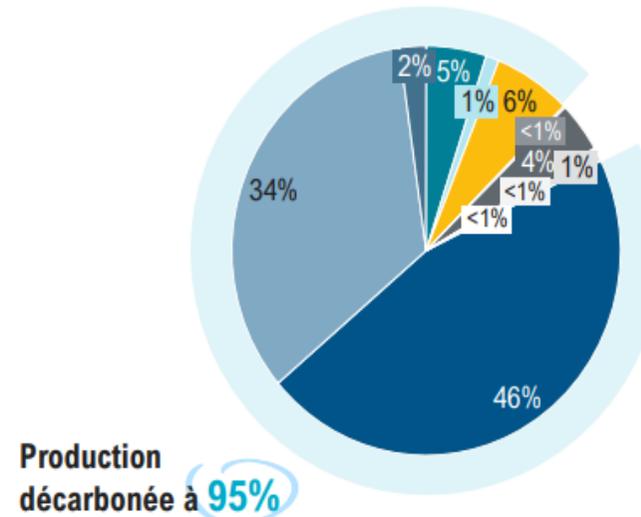
En 2050, le mix Céréomé répond à une demande de 836 TWh avec une production décarbonée à 95% – Performance du mix N03 incertaine pour ce niveau de demande

Production d'électricité par type de moyen [2050; Demande Roland Berger; hors exportations; %]

Mix RTE N03 – Production maximale, estimée à partir des taux de disponibilités annuels moyens et des capacités installées



Mix Céréomé – Production projetée



$\Sigma = 836 \text{ TWh}$

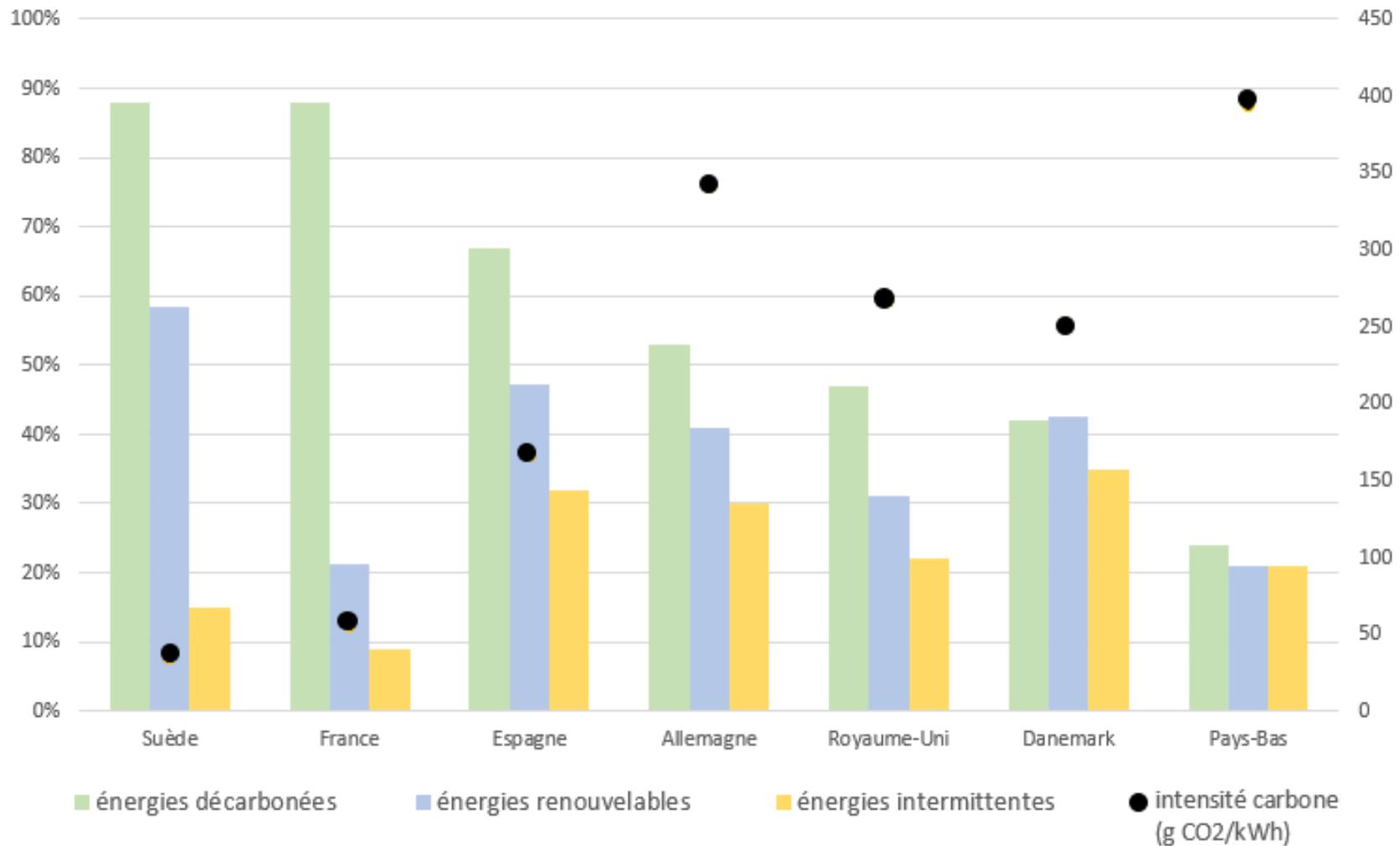
■ Nucléaire (Historique)
 ■ Nucléaire (Nouveau)
 ■ Hydraulique (STEP)
 ■ Eolien onshore
 ■ Biogaz
 ■ Autres bioénergies
 ■ Solaire
 ■ Eolien offshore
 ■ Gaz
 ■ Importations
 ⋯ Non identifié

Source : RTE, Céréomé, Roland Berger

Continuer d'être parmi les meilleurs ...

1. Aller vers la neutralité carbone :

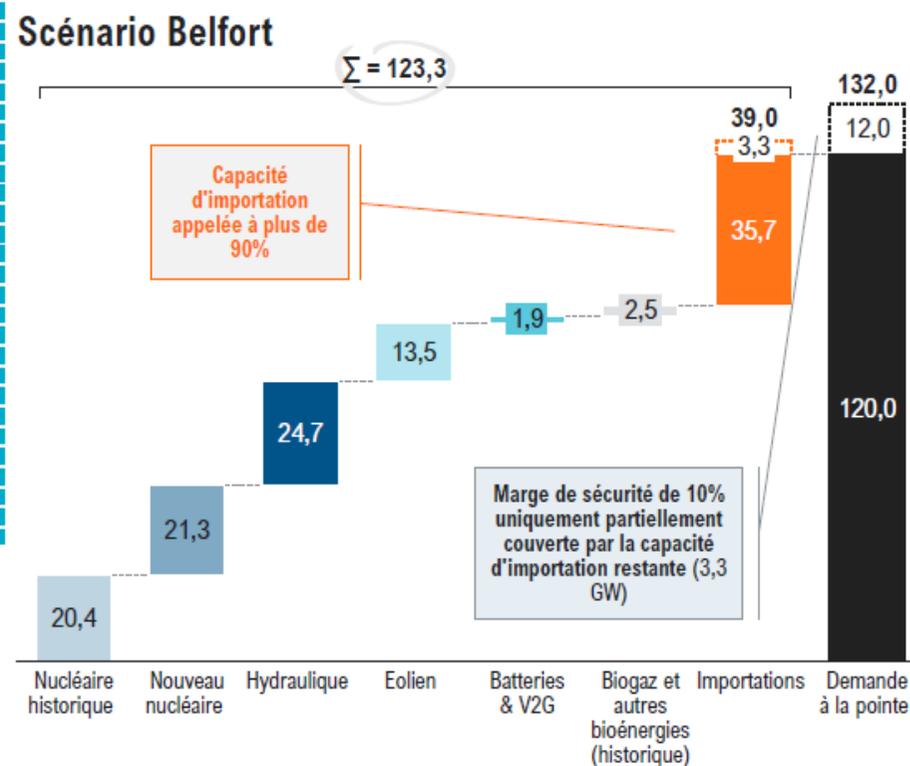
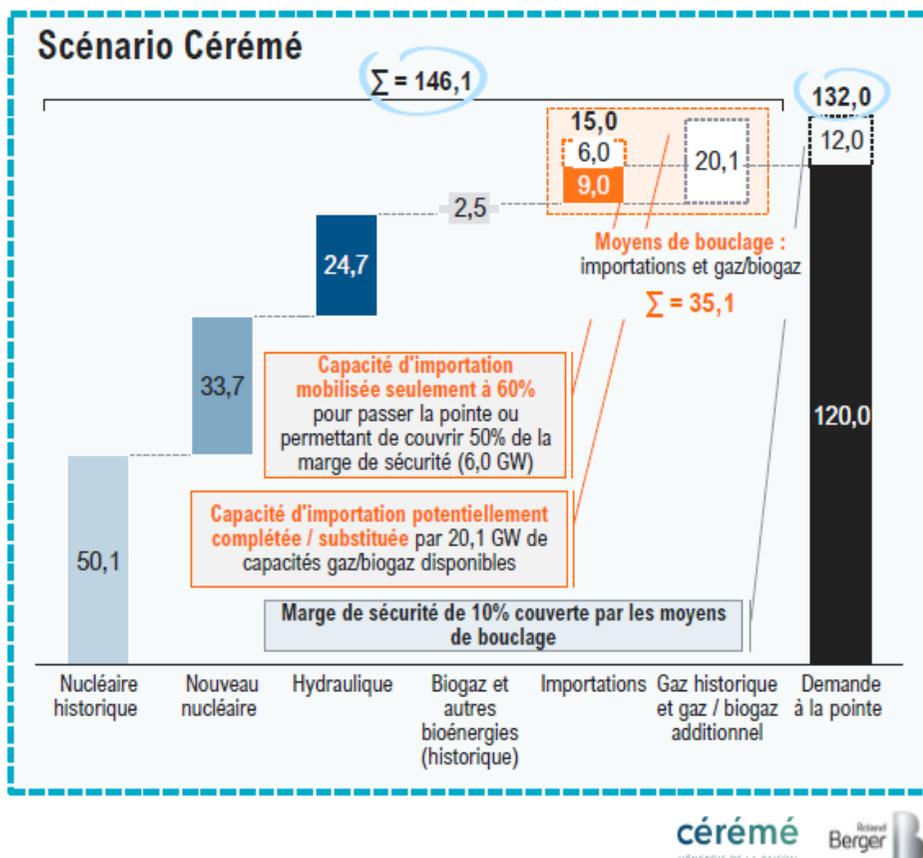
(analyse sur 60 mois : sept. 2017 à août 2022)



source : <https://app.electricitymaps.com/map>

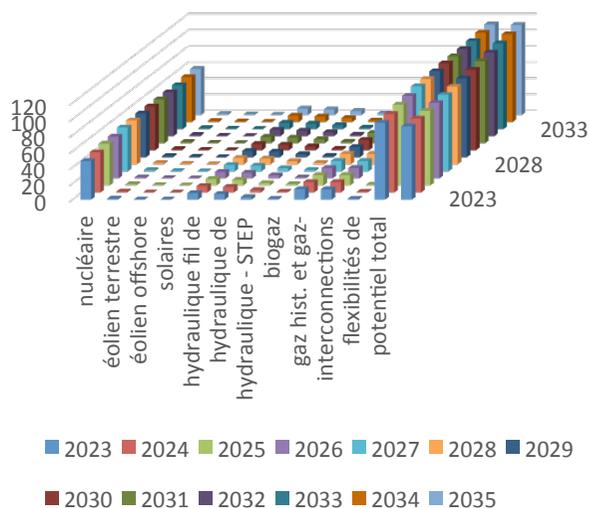
2. Servir la pointe : du biogaz et un quantum raisonnable d'importations

Pour servir en 2050, en conditions météo défavorables, une pointe à 120 GW :
 → une capacité de 146 GW, contre 123 GW dans le scénario Belfort



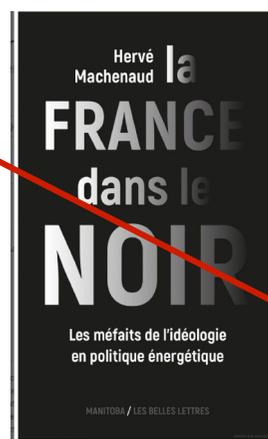
3. Servir la pointe - période charnière 2023-2035 :

France, simulation des moyens accessibles à la pointe hivernale (en GW)



<https://cereme.fr/wp-content/uploads/2022/09/Cereme-fiche-passage-de-letape-2023-2033.pdf>

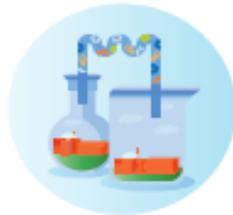
	<i>taux de disponibilité retenus à la pointe hivernale</i>
nucléaire historique + FLA 3 + Penly à/c 2034	<i>disponibilité 85% réacteurs prolongés > 50 ans PjL nucléaire 2026 fin grands carénages</i>
éolien terrestre	<i>5% de 22 GW en 2023</i>
éolien offshore	<i>29% de 6 GW en 2028</i>
solaires	<i>1% de 16 GW en 2023</i>
hydraulique fil de l'eau	<i>60%</i>
hydraulique de pointe	<i>80%</i>
hydraulique - STEP	<i>80%</i>
biogaz	<i>85%</i>
gaz hist. et gaz-biogaz add.	<i>65% + Landivisiau</i>
interconnexions	<i>85% du niveau actuel</i>
flexibilités de production	<i>sur sollicitation de Rte</i>



L'EPR 2 ?

L'EPR 2 est un ER optimisé et simplifié

PRINCIPAUX LEVIERS D'OPTIMISATION DU RÉACTEUR EPR2



1. S'appuyer sur le retour d'expérience des EPR dans le monde, ainsi que sur le parc en exploitation.



7. Tout en conservant le niveau de sûreté de l'EPR, parmi les plus élevés au monde.



2. Améliorer la constructibilité.



3. Faire appel à la préfabrication en usine et à la modularité.



4. Industrialiser le produit, s'appuyer sur les bonnes pratiques des autres industries et standardiser.



5. Digitaliser l'ingénierie nucléaire et optimiser la construction grâce aux maquettes 3D et 4D.



6. Fonctionner en entreprise étendue, et mobiliser le tissu industriel.

Des conditions de réussite rigoureuses

1. Des procédures adaptées :

→ **débat public en cours + projet de loi sur le nucléaire**

2. Une organisation industrielle en ordre de bataille :

C'est le GIFEN (*) qui l'écrit (**) :

1. *définir en détail le réacteur à construire et **le standardiser dans la durée***
Accepter en cours de programme de nouvelles versions équivaudrait à réduire les bénéfices de l'effet de série
2. *donner aux entreprises de la filière la visibilité nécessaire à leur mobilisation (orientations stratégiques, investissements, recrutements)*
3. *solidariser le Maître d'Ouvrage et ses sous-traitants sur la performance qualité-délais- coûts*
Y compris les génie-civilistes, dont la puissance en fait un levier essentiel du succès
4. *refonder la culture qualité dans les entreprises et au sein du Maître d'Ouvrage*
5. *renforcer la gouvernance et le pilotage*
6. *développer et maintenir les compétences acquises.*

(*) Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire.

(**) Dossier du Maître d'Ouvrage – débat public Nouveaux réacteurs nucléaires/ Penly p. 22

Des emplois durables et qualifiés en France

1. 200 000 emplois directs **absolument certains** → potentiel 250 à 300 000
2. des emplois qualifiés
3. des emplois territorialisés
4. La garantie d'un socle pour notre réindustrialisation
5. Un potentiel d'exportation de nos savoir-faire

A côté de cela, les EnR ...

céréme

L'ÉNERGIE DE LA RAISON



Merci pour votre attention

Bruno Ladsous
Administrateur du Céréme

<https://cereme.fr/>