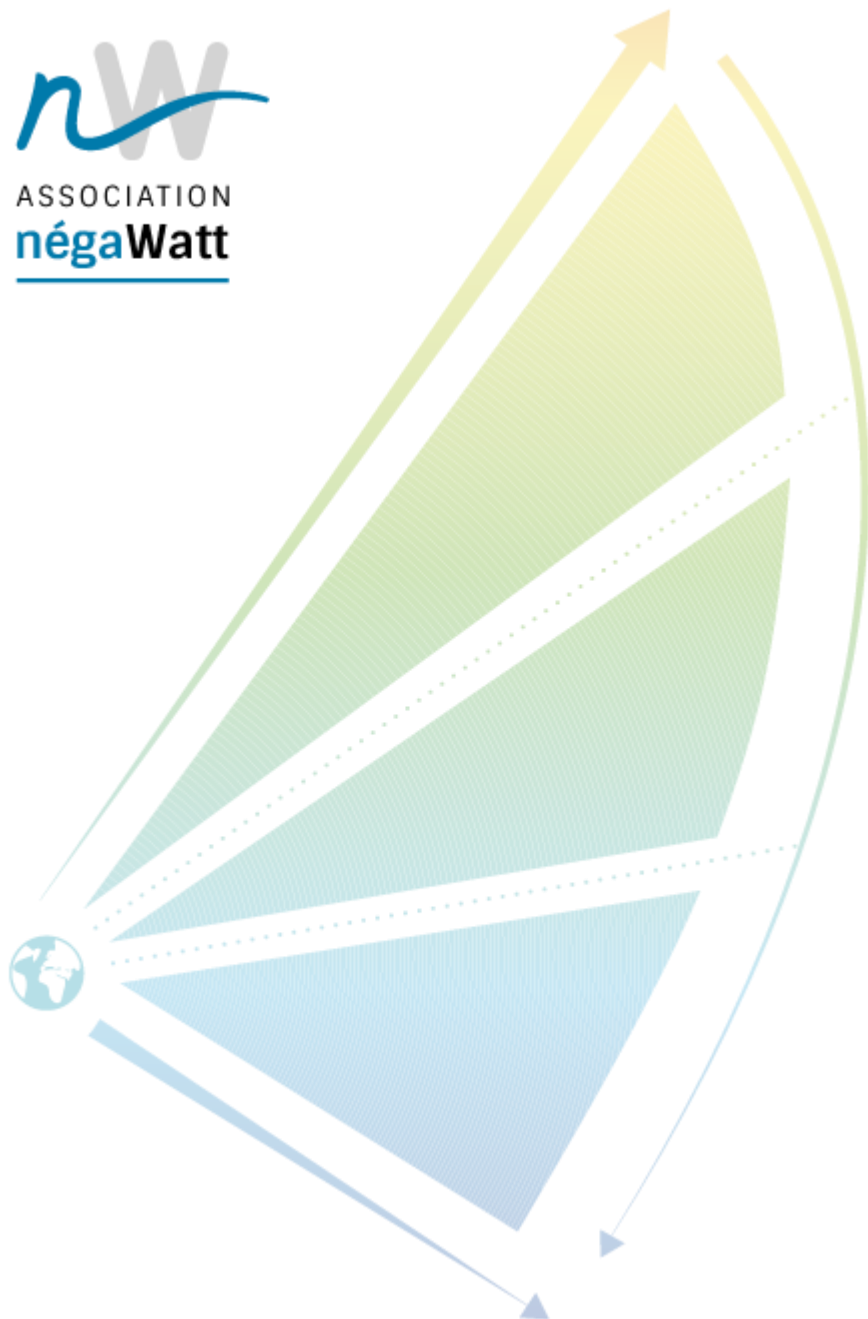




Scénario négaWatt 2017-2050

Trajectoire de transition
énergétique pour la France
ZOOM sur le Power-to-Gas

Marc JEDLICZKA

Porte-parole

Association négaWatt

19/11/2019 - Visioconférence



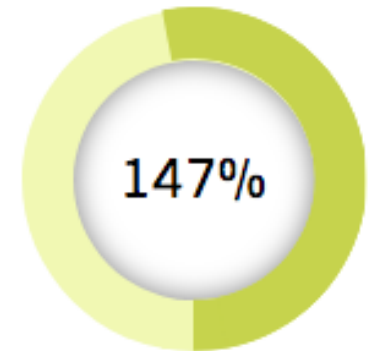
Soutenu par la Fondation
Charles Léopold Mayer
pour le progrès de l'Homme

- Scénario européen :

- une campagne de financement participatif réussie
- étude de préfiguration terminée, échanges techniques en cours

560
contributions

51760 €
sur 35 000 €



- Une visioconférence sur le scénario négaWatt

→ Zoom sur le Power-to-Gas : pourquoi, comment ?

- Marc Jedliczka, porte-parole de l'association négaWatt

- Informations techniques pour la visioconférence

- Outil Q/R au bas de votre écran pour poser des questions
- Visioconférence enregistrée



- Créée en 2001 par des experts et praticiens de l'énergie
- Missions :
 - Prospective énergétique : le scénario négaWatt
 - Réflexion stratégique et politique
 - Plaidoyer, lobbying à l'échelle nationale
 - Mesures et propositions

- Regroupe une vingtaine de membres actifs + 25 ambassadeurs
- Plus de 1200 membres nous soutiennent



- Créé en 2009
- Filiale et outil opérationnel de l'association



01.

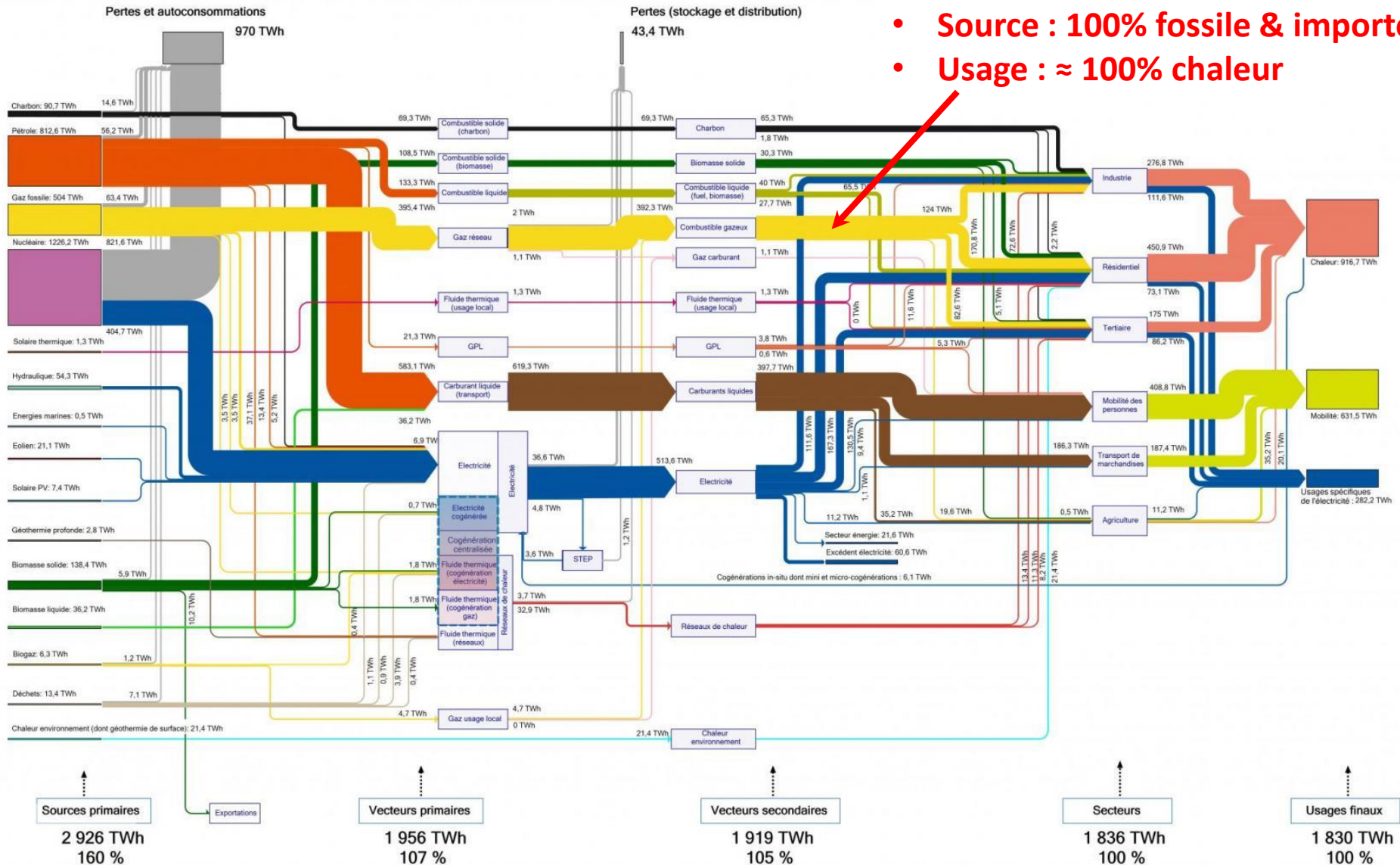
Le point de départ

Bilan énergétique complet 2015



Gaz

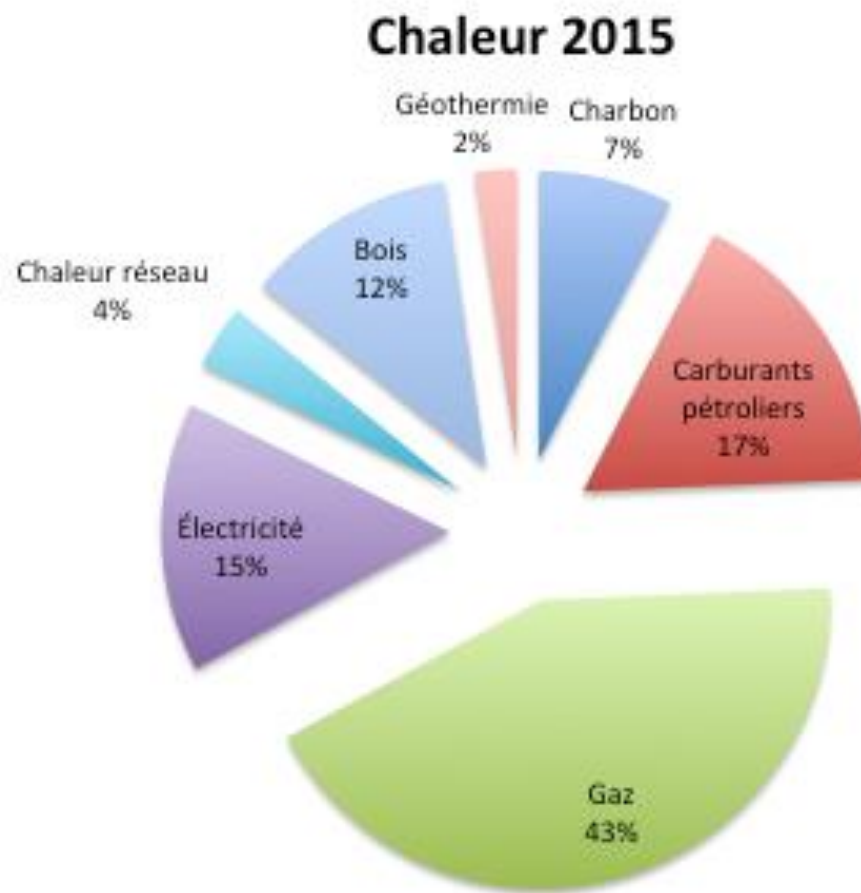
- 450-500 TWh/an
- Source : 100% fossile & importé
- Usage : ≈ 100% chaleur



➤ Usage chaleur : vecteurs finaux France 2015

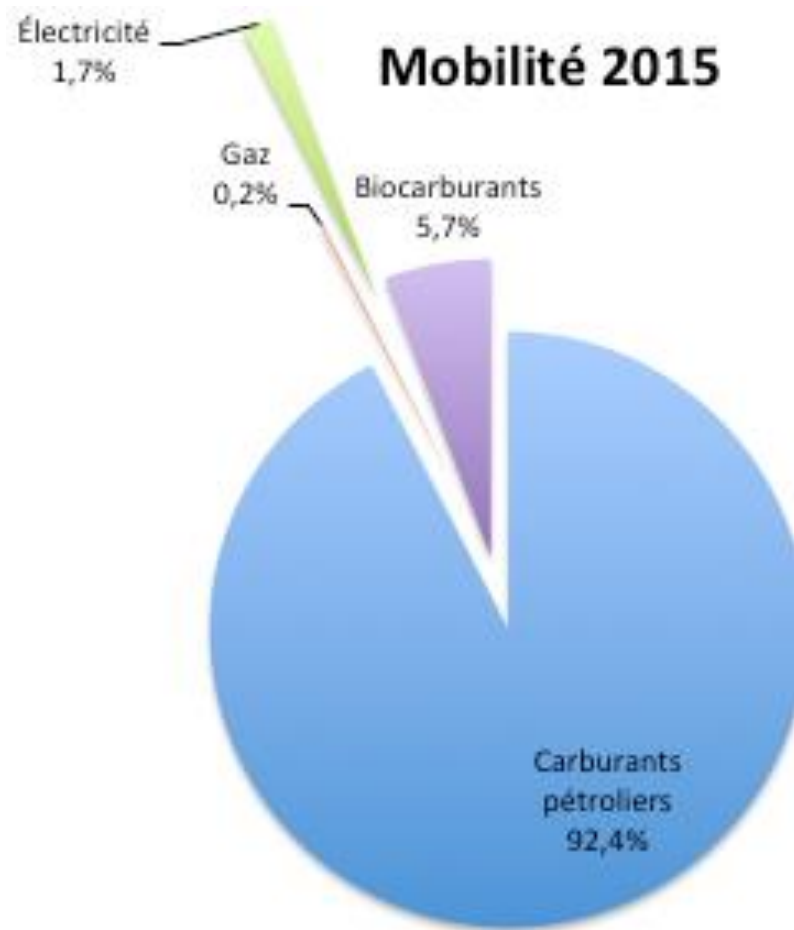


	Chaleur	
Vecteur final	TWh	%
Charbon	69,1	7,5%
Carburants pétroliers	154	16,8%
Gaz	392,3	42,8%
Électricité	138,5	15,1%
Chaleur réseau	32,9	3,6%
Biocarburants		
Bois	108,5	11,8%
Géothermie	21,4	2,3%
Hydrogène		
	916,7	



➤ Usage mobilité : vecteurs finaux France 2015

	Mobilité	
Vecteur final	TWh	%
Charbon		
Carburants pétroliers	583,6	92,4%
Gaz	1,2	0,2%
Électricité	10,5	1,7%
Chaleur réseau		
Biocarburants	36,2	5,7%
Bois		
Géothermie		
Hydrogène		
	631,5	

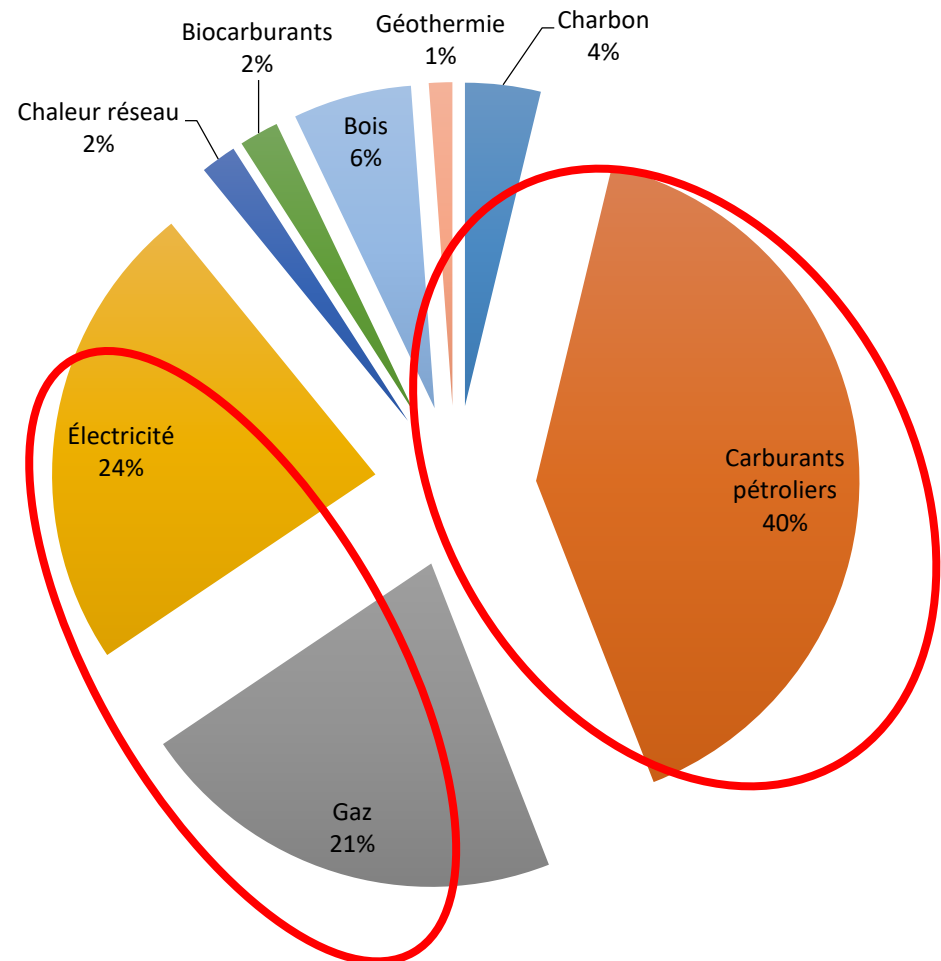


➤ Tous usages : vecteurs finaux France 2015



	Chaleur		Mobilité		Électricité spécifique		Tous usages	
Vecteur final	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Charbon	69,1	7,5%					69,1	3,8%
Carburants pétroliers	154	16,8%	583,6	92,4%			737,6	40,3%
Gaz	392,3	42,8%	1,2	0,2%			393,5	21,5%
Électricité	138,5	15,1%	10,5	1,7%	282,2	100%	431,2	23,6%
Chaleur réseau	32,9	3,6%					32,9	1,8%
Biocarburants			36,2	5,7%			36,2	2,0%
Bois	108,5	11,8%					108,5	5,9%
Géothermie	21,4	2,3%					21,4	1,2%
Hydrogène								
	916,7		631,5		282,2		1 830	

Tous usages 2015



À noter :

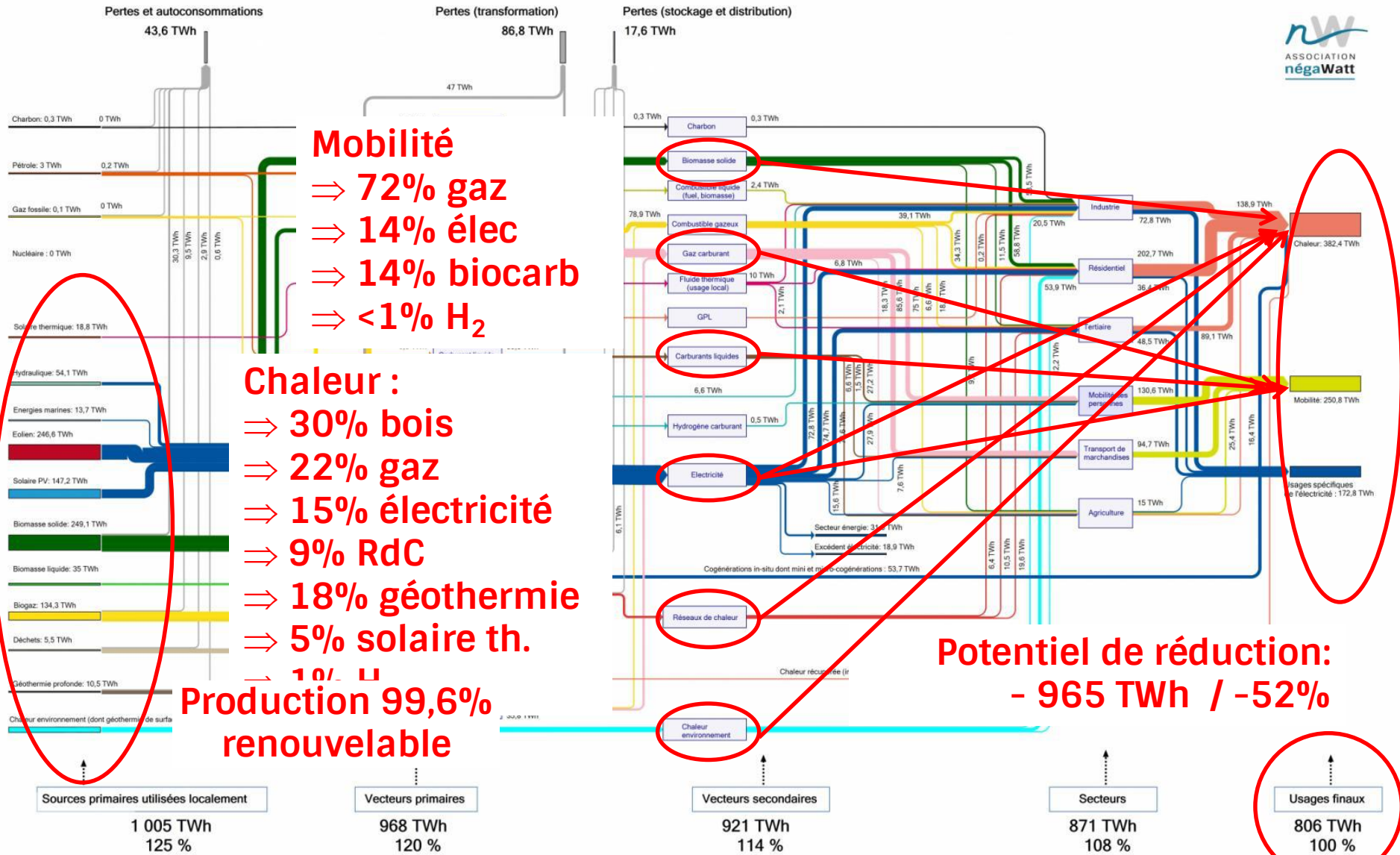
- 1) La place des carburants pétroliers
- 2) L'équilibre gaz-électricité

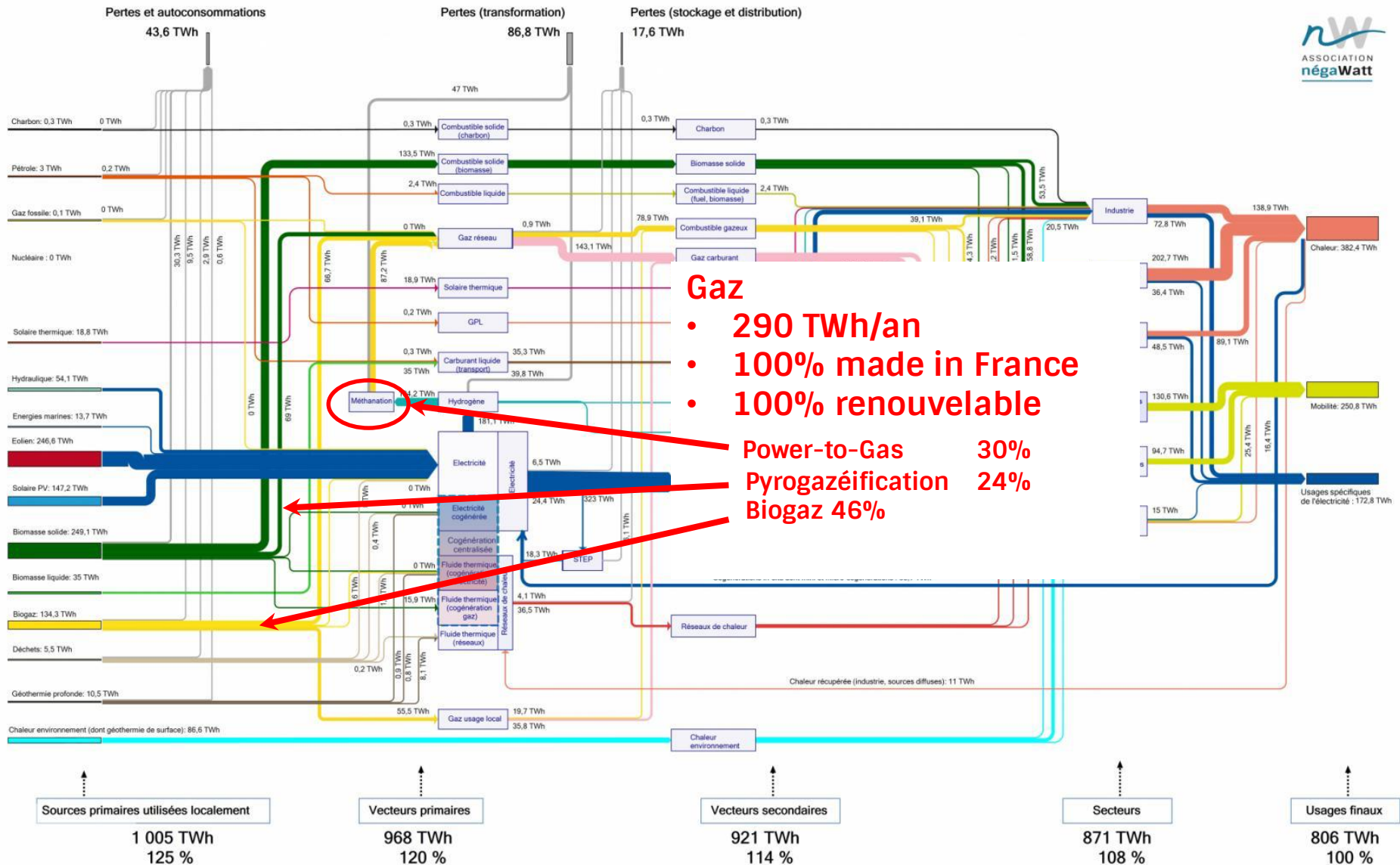


02.

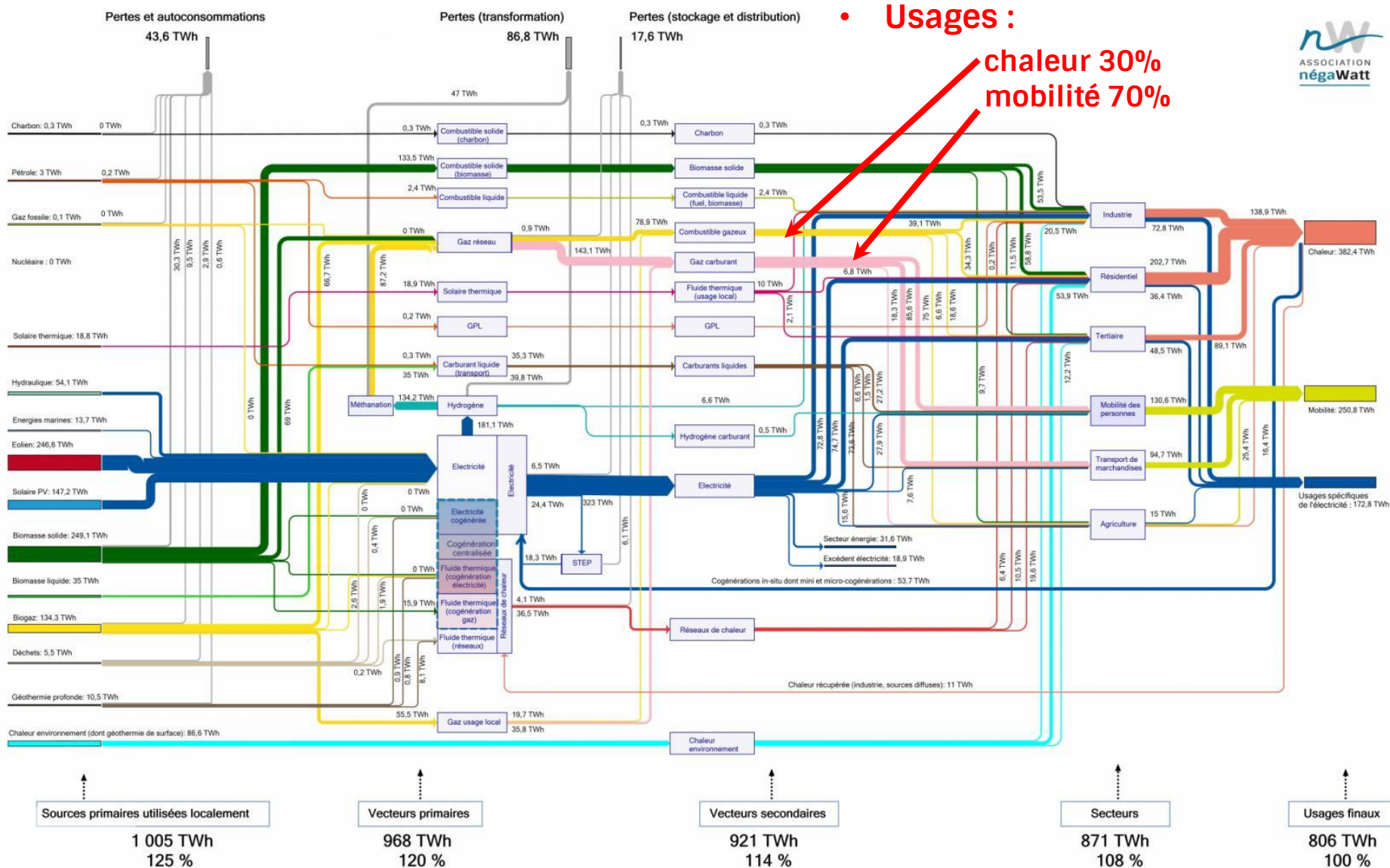
Le point d'arrivée

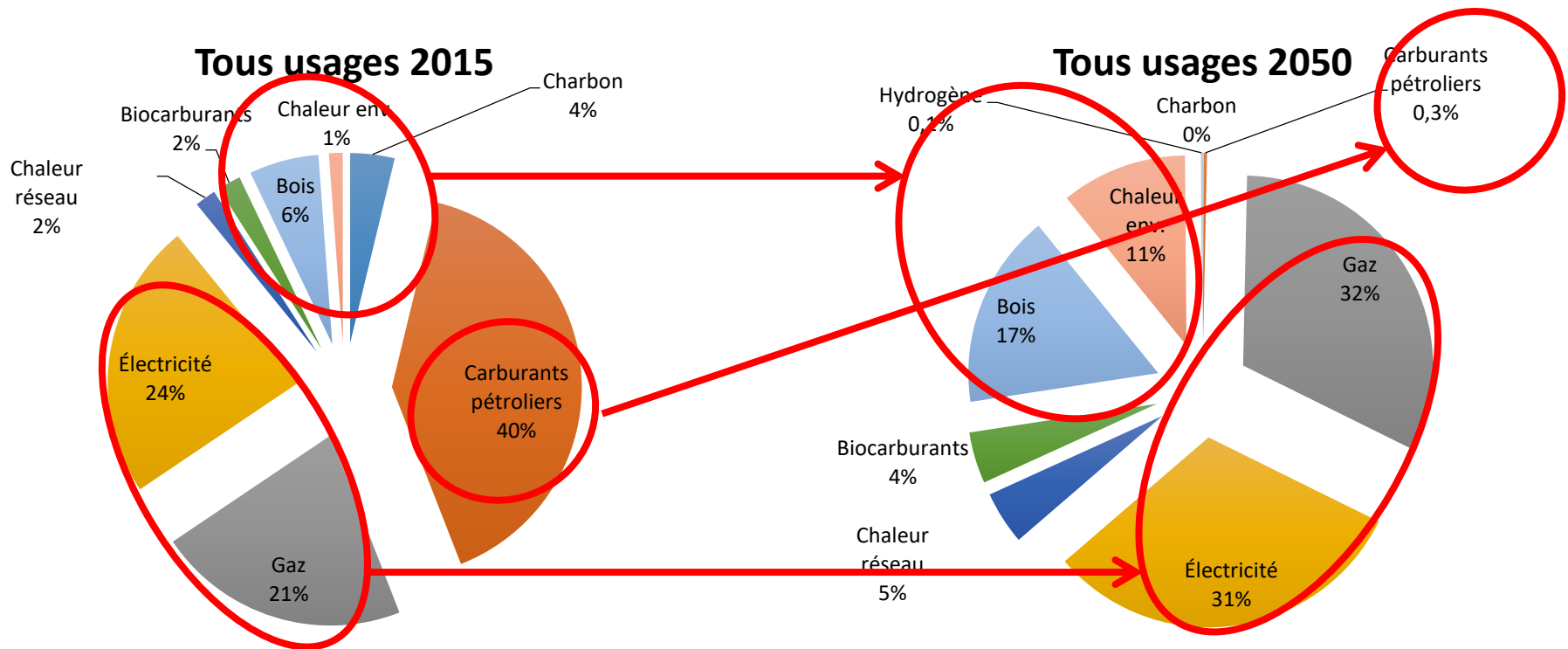
➤ Bilan énergétique complet 2050





➤ Bilan énergétique complet 2050





- 1) La disparition des carburants pétroliers
- 2) La montée en puissance du bois et des pompes à chaleur
- 3) Équilibre électricité/gaz maintenu MAIS 100% renouvelables !

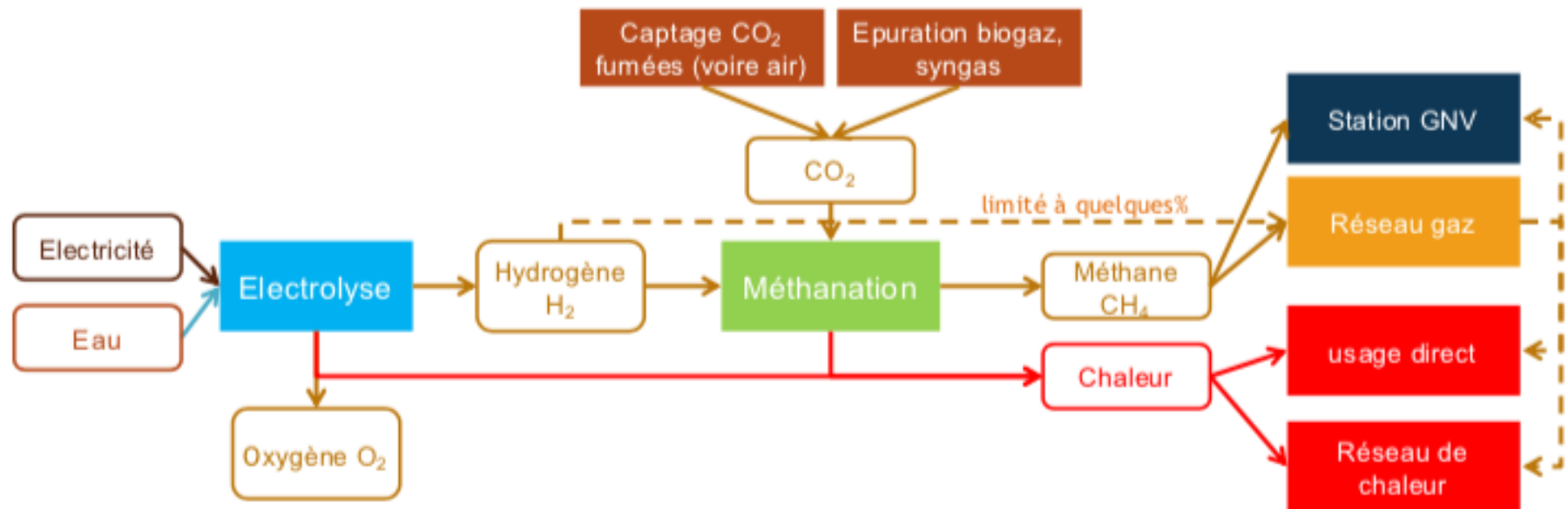


03.

Le Power-to-Gas qu'es aquo ?

➤ Le Power-to-Gas, c'est :

- un système de conversion d'énergie **électrique** en énergie **chimique** sous forme gazeuse, *pas une nouvelle source d'énergie primaire*
- un assemblage de briques technologiques

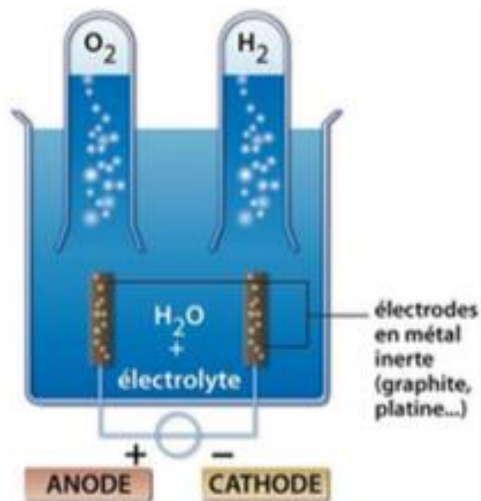


➤ Electrolyse – principe

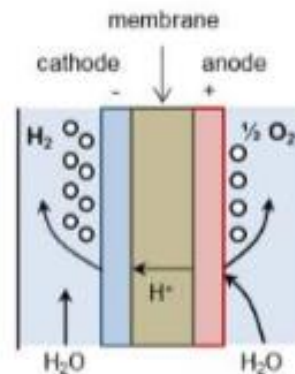
→ Réaction :



Principe



Cellule (ex : PEM)



Empilement de cellules (Stack)



Sources : Larousse, Eifer, etogas

Electrolyse – les différentes technologies

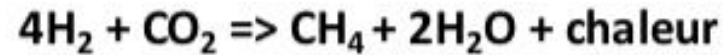


		Alcalin		PEM		SOEC	
		Actuel	2030+	Actuel	2030+	Actuel	2030+
Rendement de conversion Elec -> H ₂ (PCS)	%	70%-75%	79%	70%-78%	84%		100%
Rendement de conversion Elec + Chaleur -> H ₂ (PCS)	%	70%-75%	79%	70%-78%	84%		85%
CAPEX	€/kW	600-1000	400-600	800-1500	700-800		1000
OPEX	%CAPEX/a	5%	5%	5%	5%		3%
Pression de fonctionnement	Bar	15-30	60	60	100		30
Avantages		Technologie mature Prix		Meilleurs rendement Rapidité de réponse Grande plage de fonctionnement Compacité		Rendement élevé	
Inconvénients		Temps de réponse plus lent Utilisation produit corrosif et dangereux (NaOH)		Durée de vie plus limitée (en amélioration) Technologie récente Prix élevé Recours à métaux rares (platine Iridium)		Loin du stade commercial Durée de vie Peu adapté au fonctionnement intermittent	

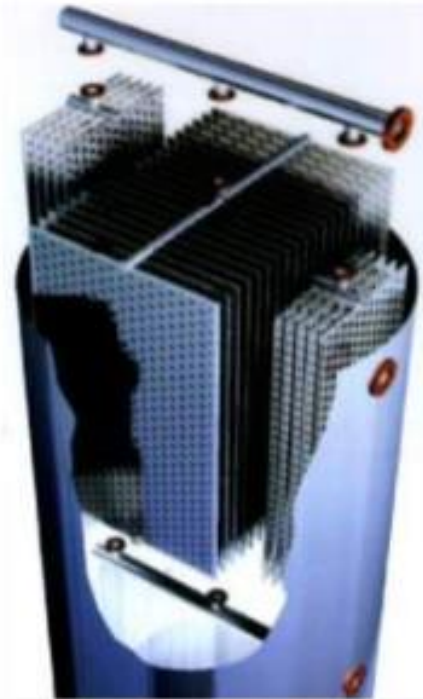
Sources : Solagro et Etude ADEME/GRDF/GRTGAZ 2014

➤ Méthanation - principe

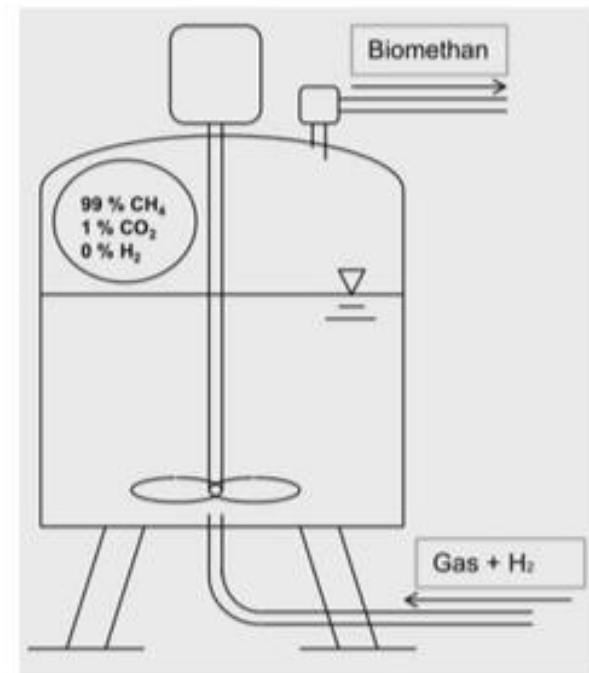
→ Réaction :



Réacteur catalytique



Réacteur biologique



Sources : etogas, Microbenenergy

Méthanation – les différentes technologies



		Catalytique		Biologique	
		Actuel	2030+	Actuel	2030+
Rendement énergétique (gaz synthèse/H ₂) sur PCS	%	78%	78%	78%	78%
CAPEX	€/kWCH ₄	1000 - 4000	400-1000	1000 - 2500	400 - 1000
	€/kWe (1)	550 - 2200	220 - 550	550 - 1350	220 - 550
OPEX	% _{CAPEX/a}	3 – 7%	3 – 7%	4 – 9%	4 – 9%
Pression de fonctionnement	Bar	4 - 10		6 - 10	15
Avantages		• Technologie basée sur technologie mature de méthanation CO (60 ans) • Récupération de chaleur à haute température		• insensible au trace de soufre - technologie simple - pas de catalyseur • Flexibilité	
Inconvénients		• sensible aux impuretés (H₂S<10ppm) • Selon technologie : flexibilité (contrôle température, plage de fonctionnement)		• Chaleur coproduite à faible température • Gestion intrant / sortant (charge organique)	

(1) Hypothèse rendement électrolyseur : 70%

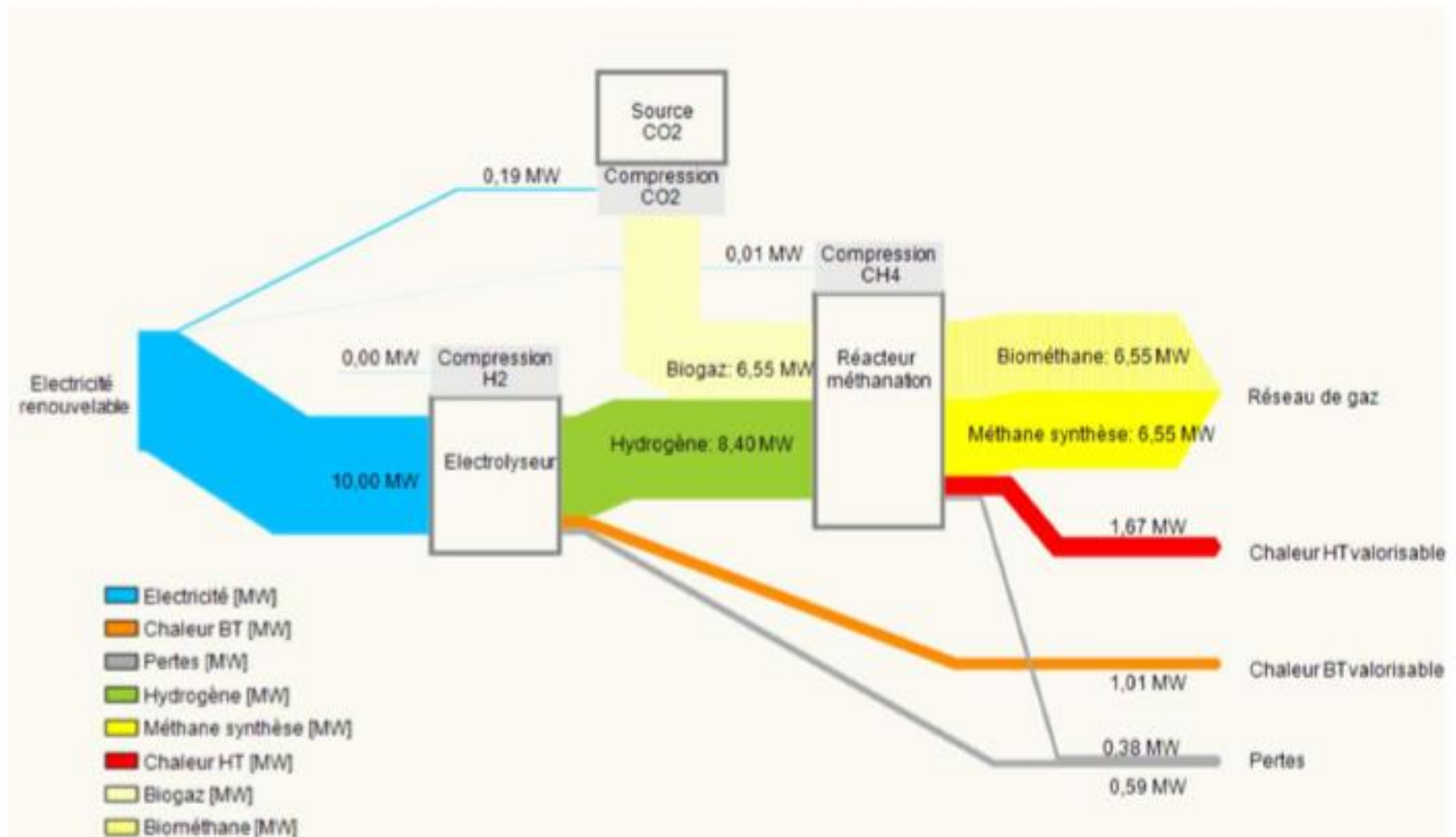
➤ Méthanation – les sources de CO₂

	Avantages	Inconvénients	Coût (€/MWh _{CH4})
Air	Mise en œuvre n'importe où	Très énergivore Très cher	15-20
Combustion (Procédé, Chaufferie)		Energivore Cher	1-10
Combustion (centrale électrique)		Energivore Cher Pas/peu en service lors des excédents d'électricité	
Méthanisation, Gazéification	Nécessite pas de concentration de CO ₂ Renouvelable		0

Source type	Débit de CO ₂ émis (tCO ₂ /h)	Capacité électrolyseur équivalent (MW)
Centrale charbon 600 MW, rendement 35%PCI	585	6000
Centrale CCGT Gaz 400MW, rendement PCI 57%	142	1500
Petite Chaudière procédé ou Chaufferie biomasse 2,5MW, rendement PCI 90%	1,0	10
Méthaniseur, équivalent cogénérateur 0,7 MWe (rend élec 35% PCI)	0,4	4
Cimenterie 2000 t/j clinker	73	800
Haut fourneau 2Mtacier/an	440	4500

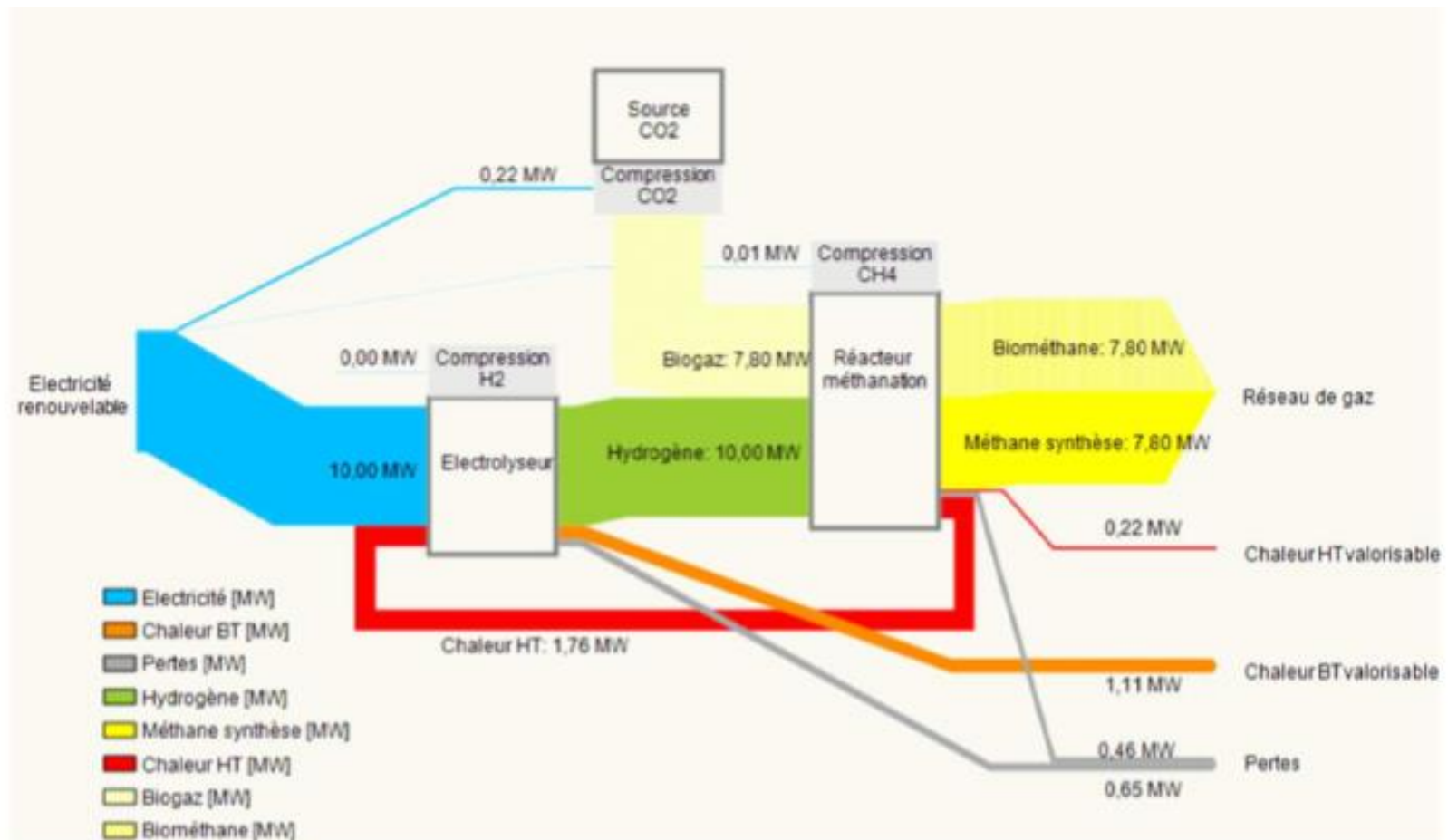
➤ Méthanation – exemple d'assemblage 1

Électrolyse PEM + méthanation catalytique

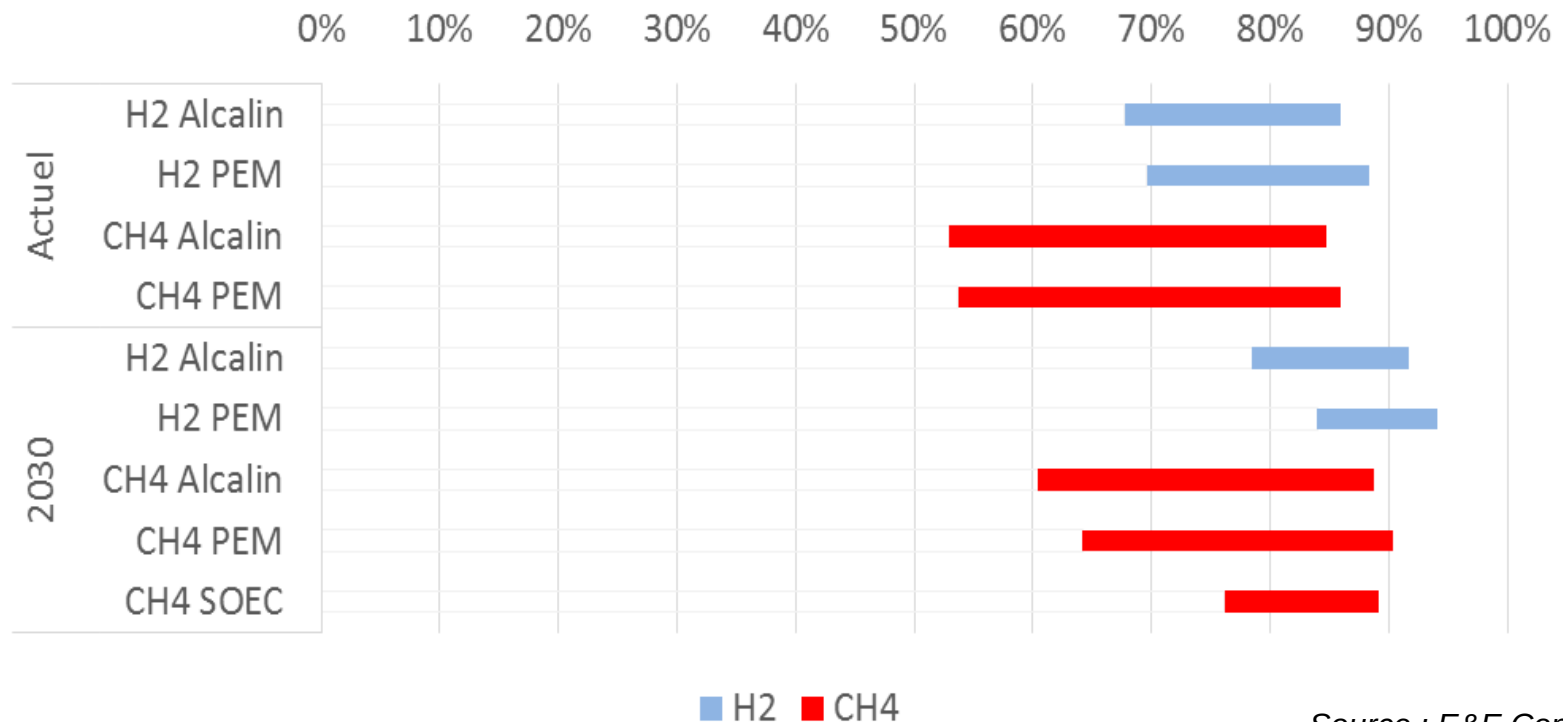


➤ Méthanation – exemple d'assemblage 2

Électrolyse PEM + méthanation biologique + récupération chaleur



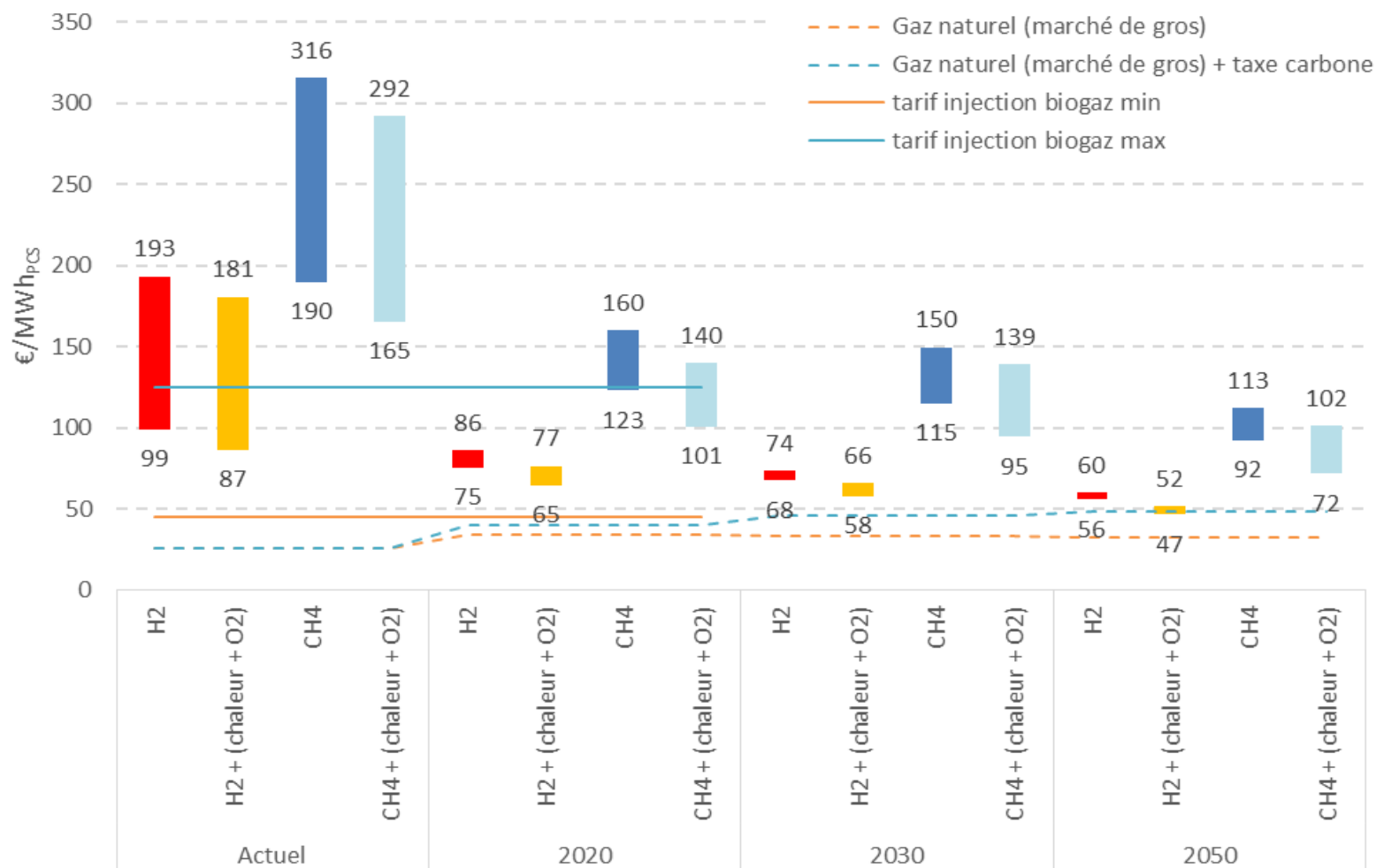
➤ Rendements de conversion



Source : E&E Consultant

- partie basse de la fourchette : valorisation seule du gaz de synthèse (H_2 ou CH_4)
- partie haute : avec valorisation chaleur

➤ Coûts de production



Source : E&E Consultant



04.

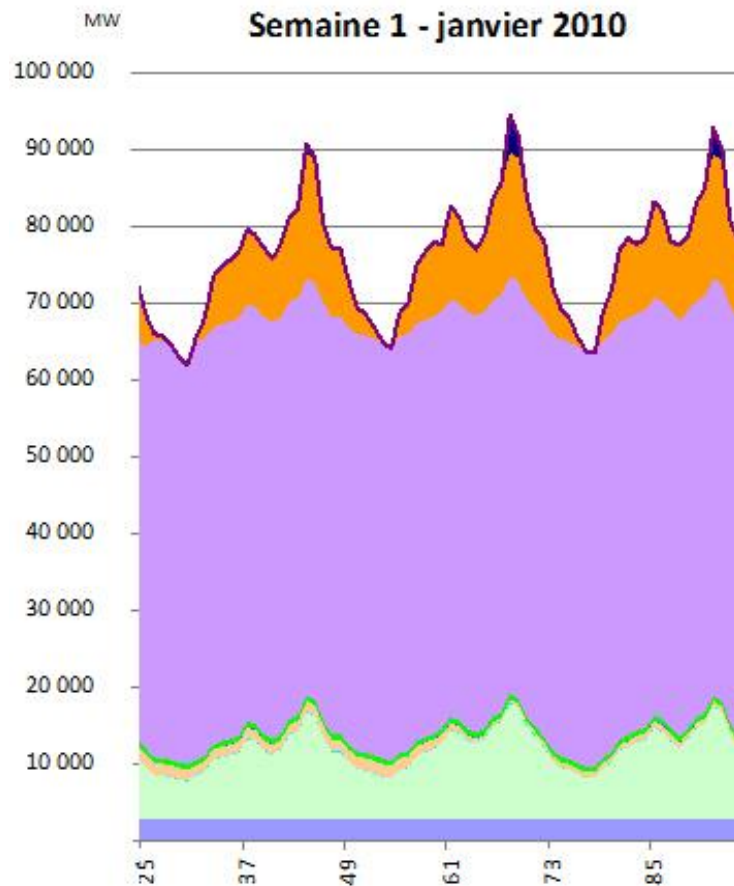
Le Power-to-Gas à quoi ça sert ?

➤ L'équilibre électrique aujourd'hui ...



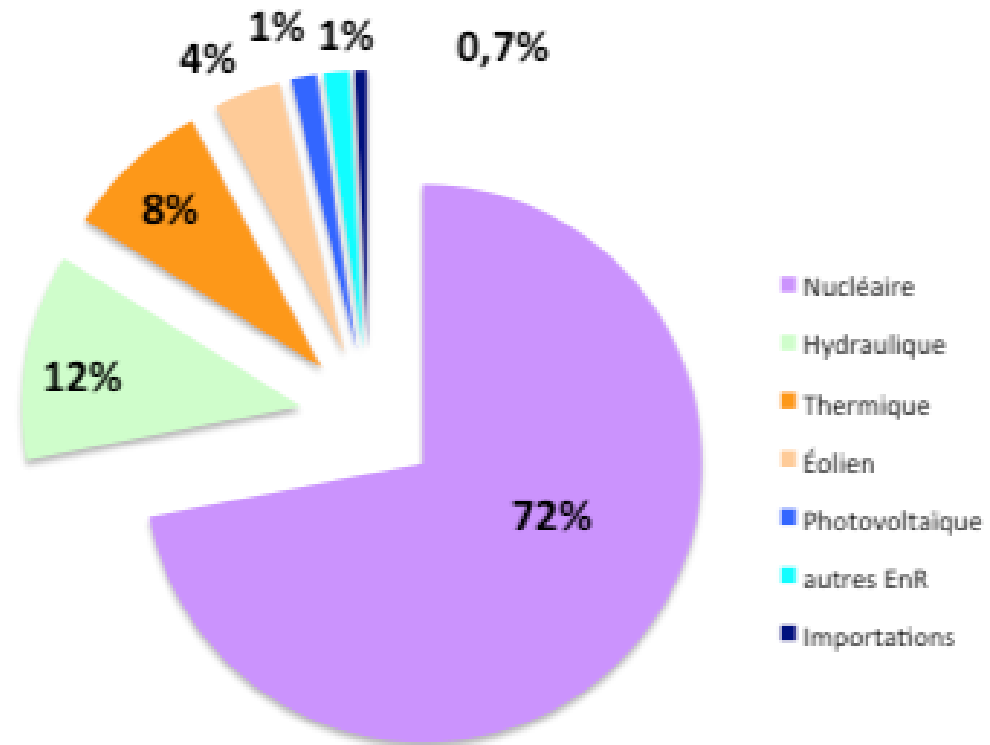
En puissance

(Pmax à la pointe : 102 GW)



En énergie

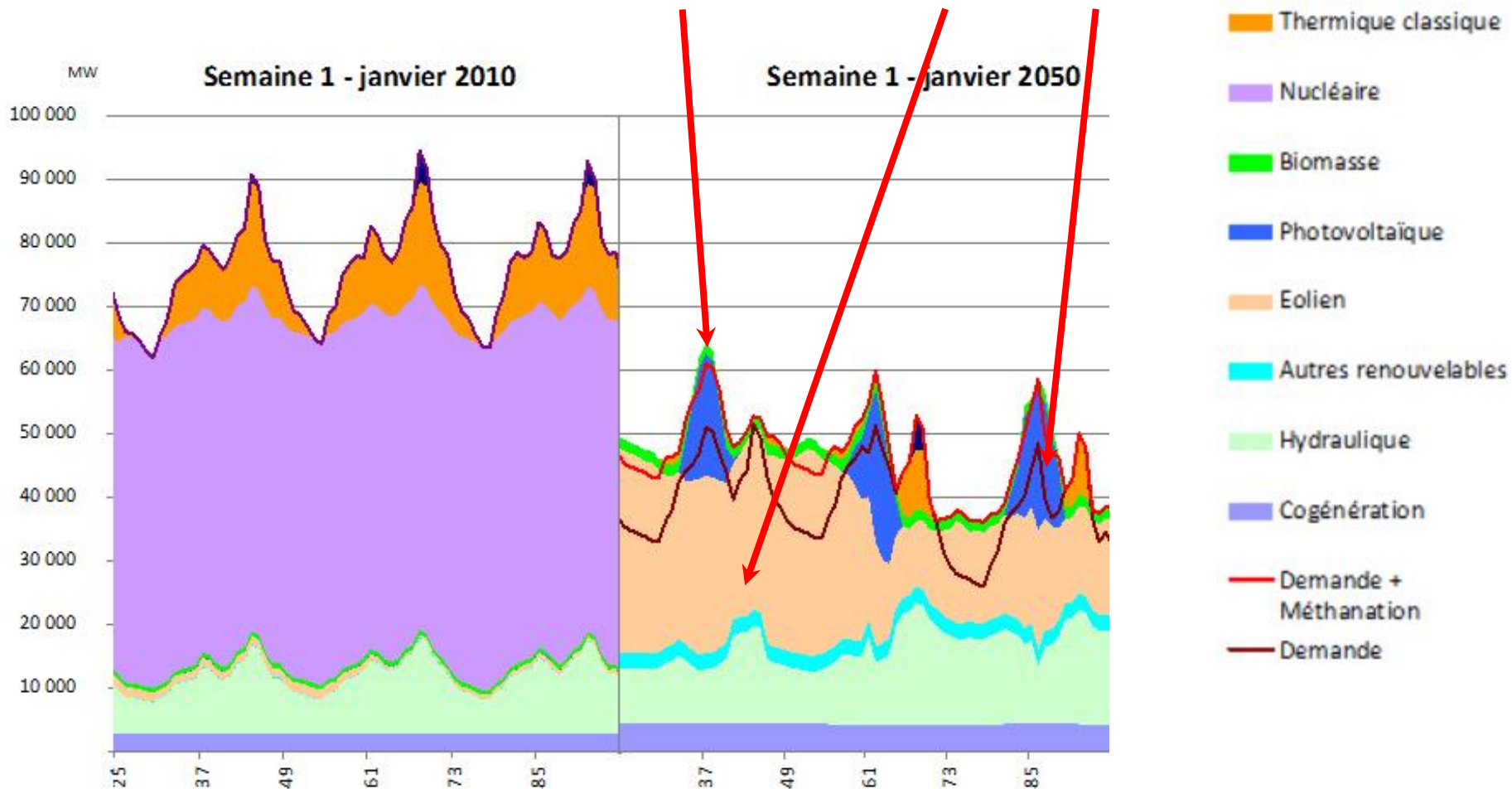
(conso 2016 = 534 TWh)



➤ ... et demain

Pmax à la pointe
63 GW

EnR variables :
éolien et PV

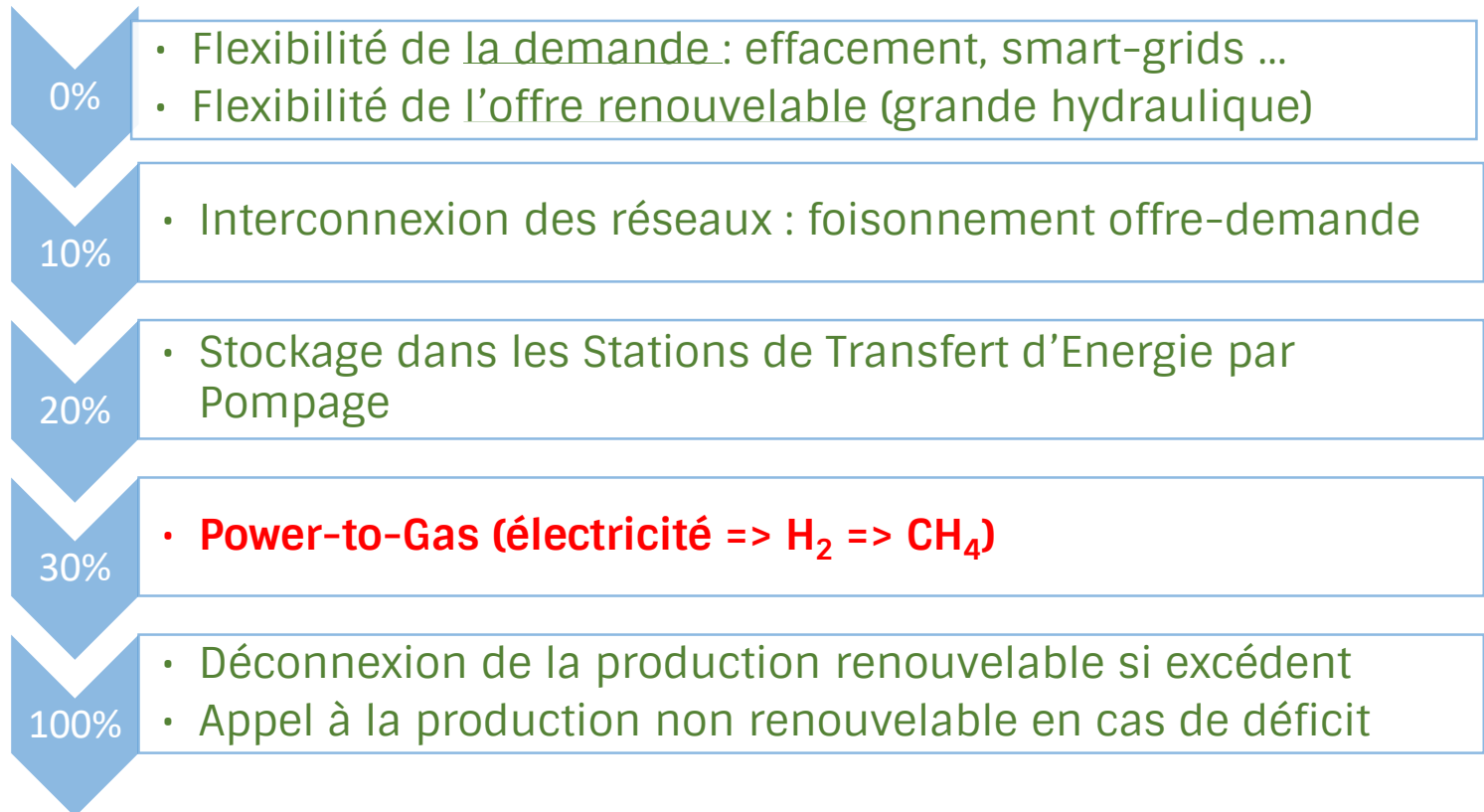


➤ Comment assurer l'équilibre électrique ?

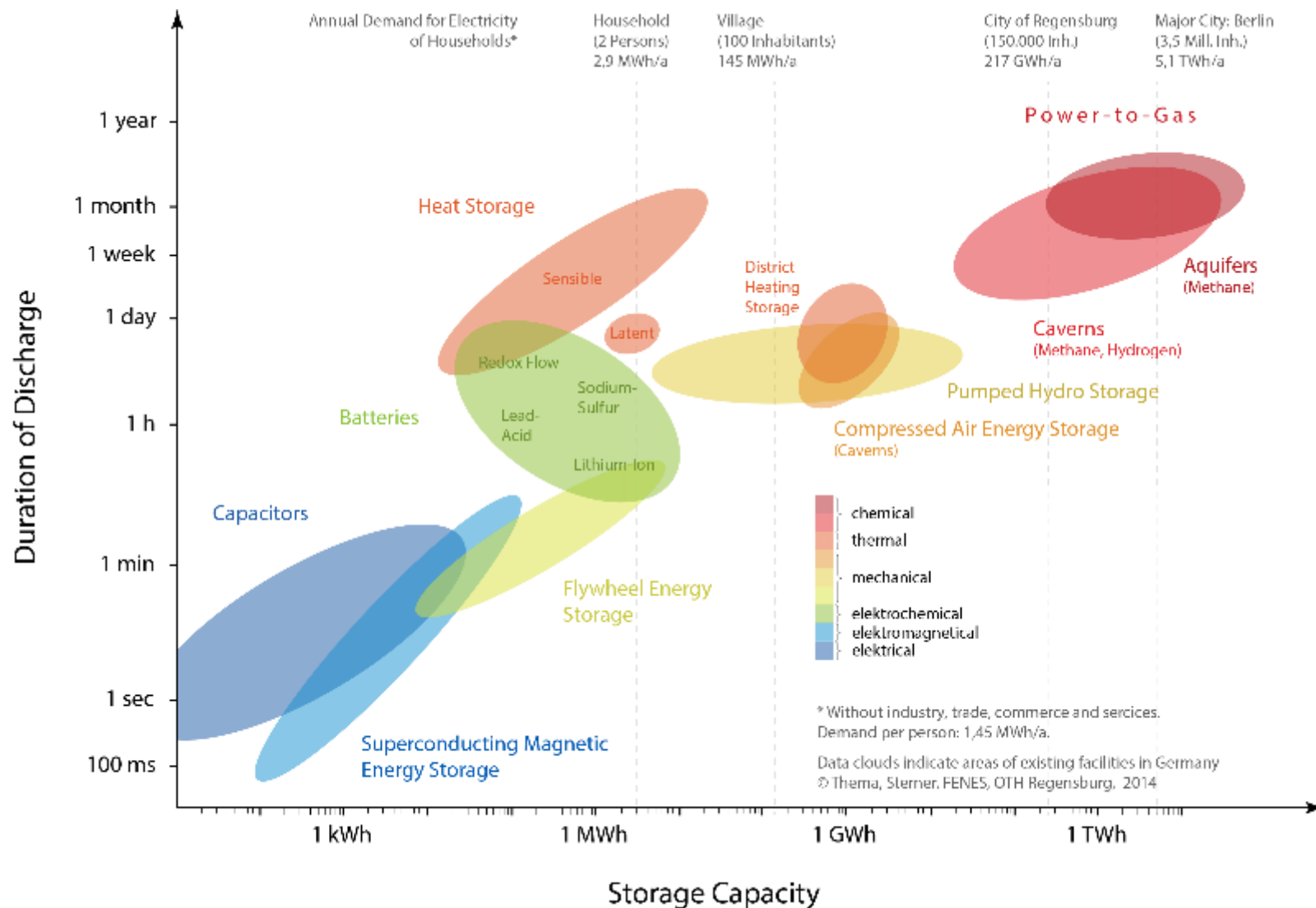


○ « ordre de mérite négaWatt » (limitation des pertes physiques)

Niveau des pertes énergétiques



➤ Stockage de l'énergie : quels moyens pour quels besoins ?

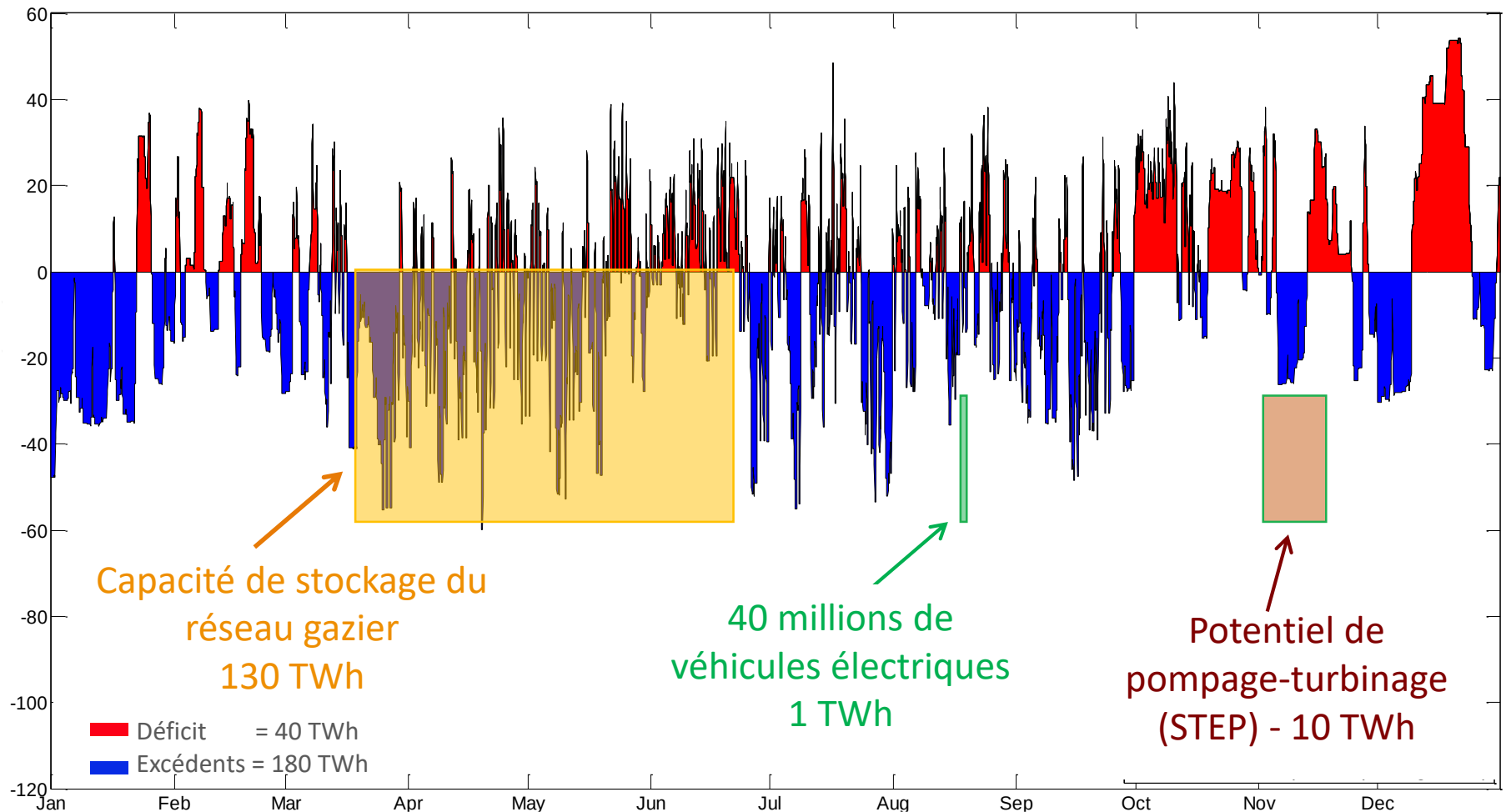




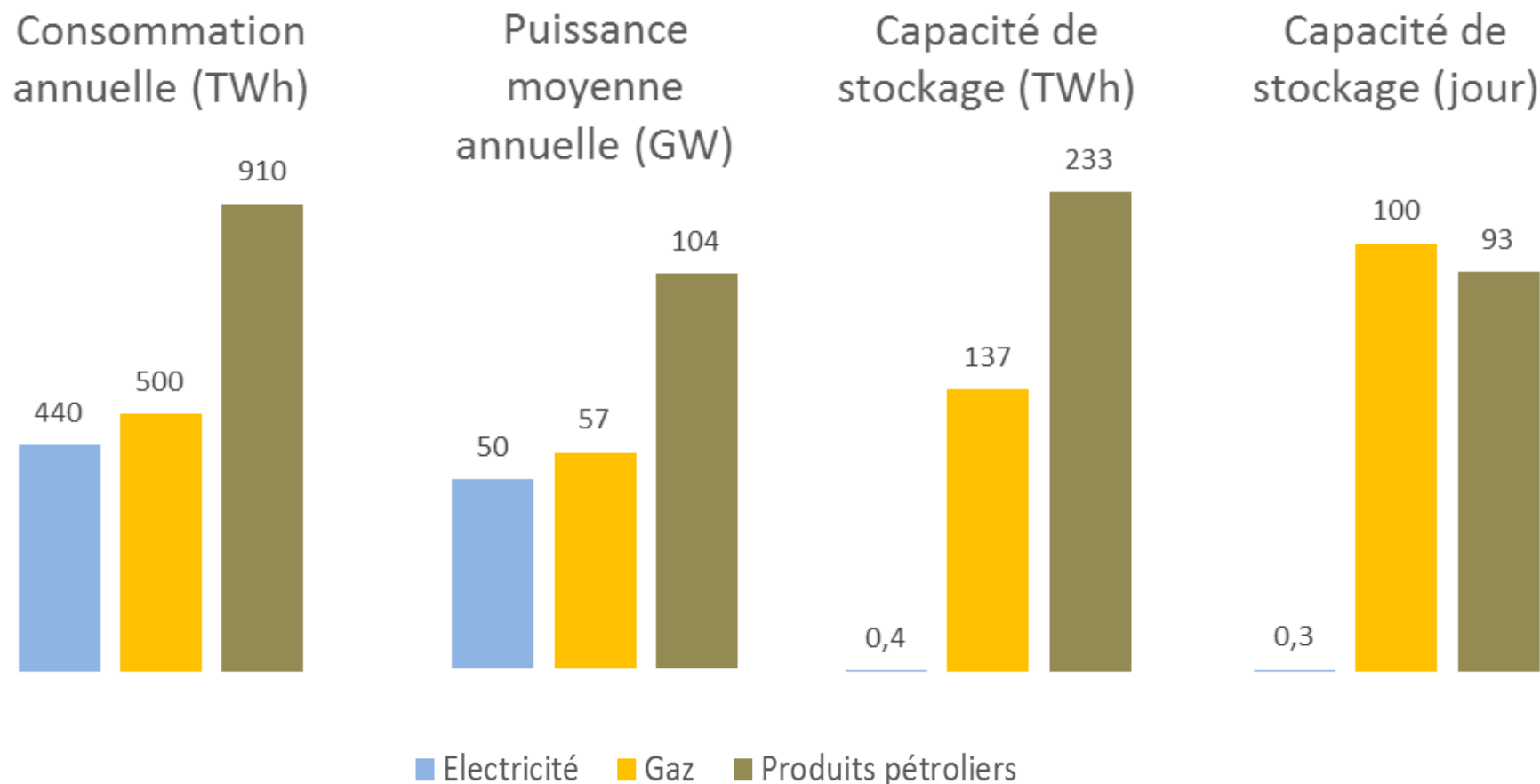
Ordres de grandeur des capacités de stockage



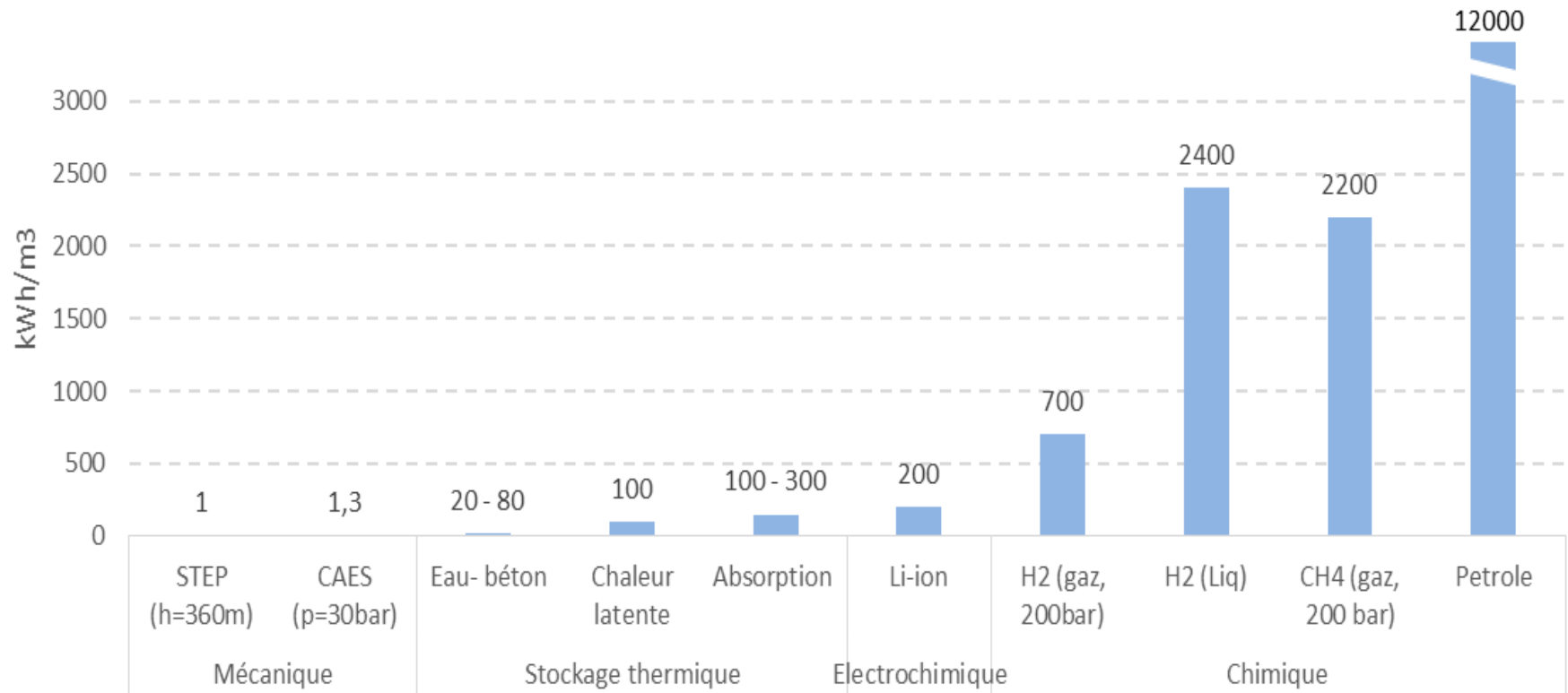
Équilibre offre/demande en puissance sur l'année



Ordres de grandeur des capacités de stockage

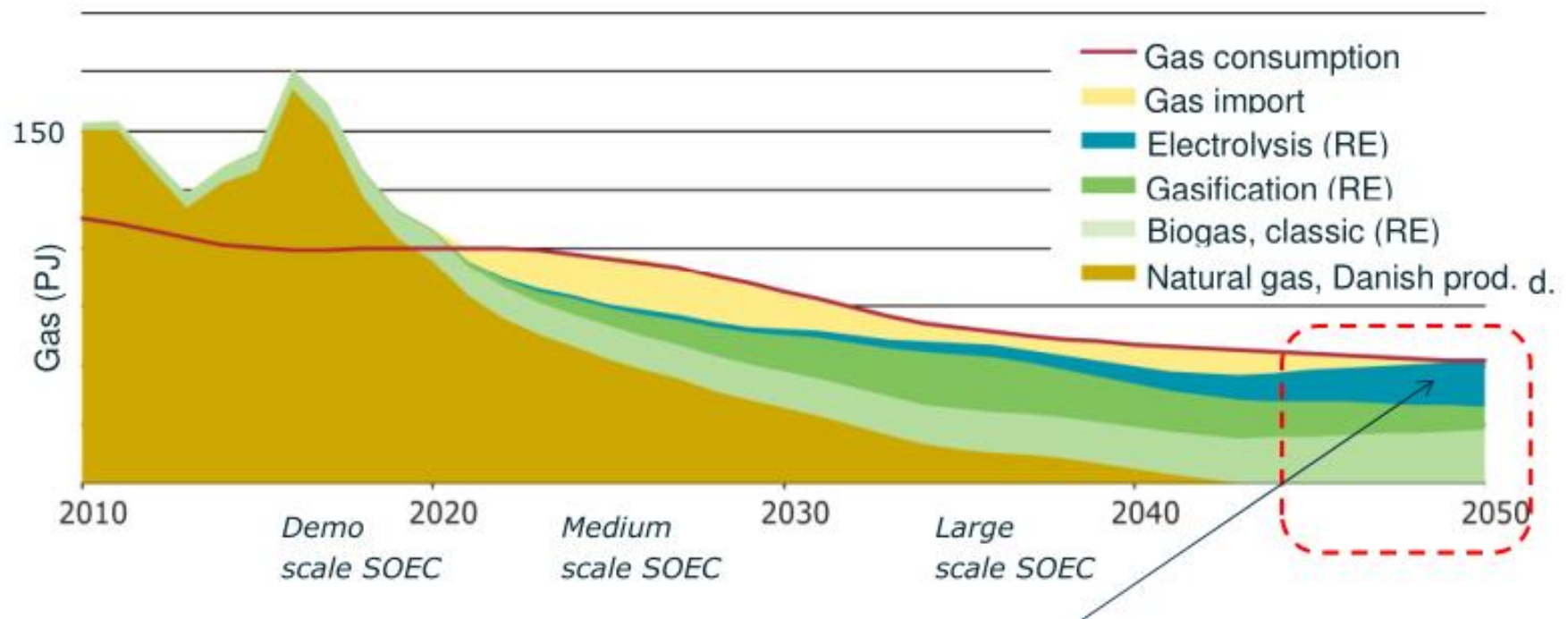


➤ Comparaison des densités volumiques



Source : Prof. Sauer, RWTH Aachen

➤ La transition gazière au Danemark



Source : Energinet, 2013

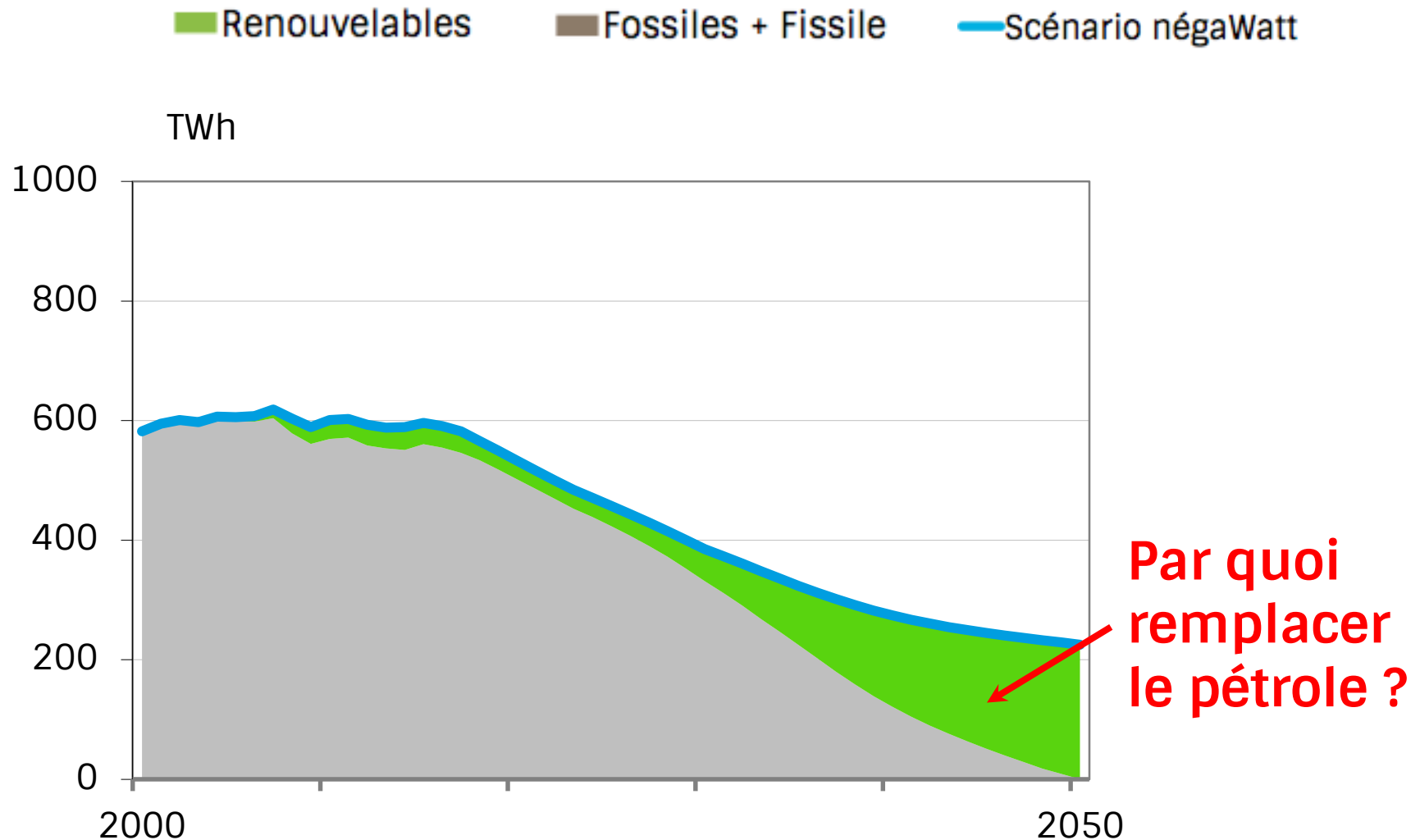


05.

Vers une vision systémique

- Quels vecteurs pour quels usages ?
- *La complémentarité des réseaux*

➤ La question épineuse des transports



➤ Pourquoi le pétrole ?



- **Le choix du pétrole n'est pas dû au hasard :**
 - **Densité énergétique (kWh/l) remarquable :**
 - › Capacité d'emport
 - › Autonomie
 - › Vitesse de remplissage des réservoirs
 - **Très grande flexibilité d'usage**
 - › Facile à transporter (pipe-lines, wagons et camions-citernes)
 - › Facile à stocker dans la durée (forme liquide)
 - › Infrastructures de distribution existantes (stations service)
- **Son abondance a structuré toute la société depuis des décennies**
- **Se défaire de cette drogue dure n'est pas chose simple !**

➤ Quels vecteurs finaux pour la mobilité ?



L'**électricité** ne manque pas de qualités

L'**hydrogène** pose de sérieux problèmes

Le **méthane (GNV ou bio-GNV)** est très proche des carburants pétroliers sur tous les critères

	Critères de comparaison							
Vecteurs finaux	Stockage-distribution			Trans- port	Flexi- bilité	Indus. auto.	Ress. minière	Score
	Densité	Durée	Infra.					
Carburants liquides	++	++	++	++	++	++	++	14/14
Combustibles solides	-	++	-	-	-	-	++	4/14
Électricité	+	+	+	++	+	-	-	6/14
Gaz (H ₂)	+	++	-	+	+	-	+	6/14
Gaz (CH ₄)	++	++	++	++	++	++	++	14/14



06.

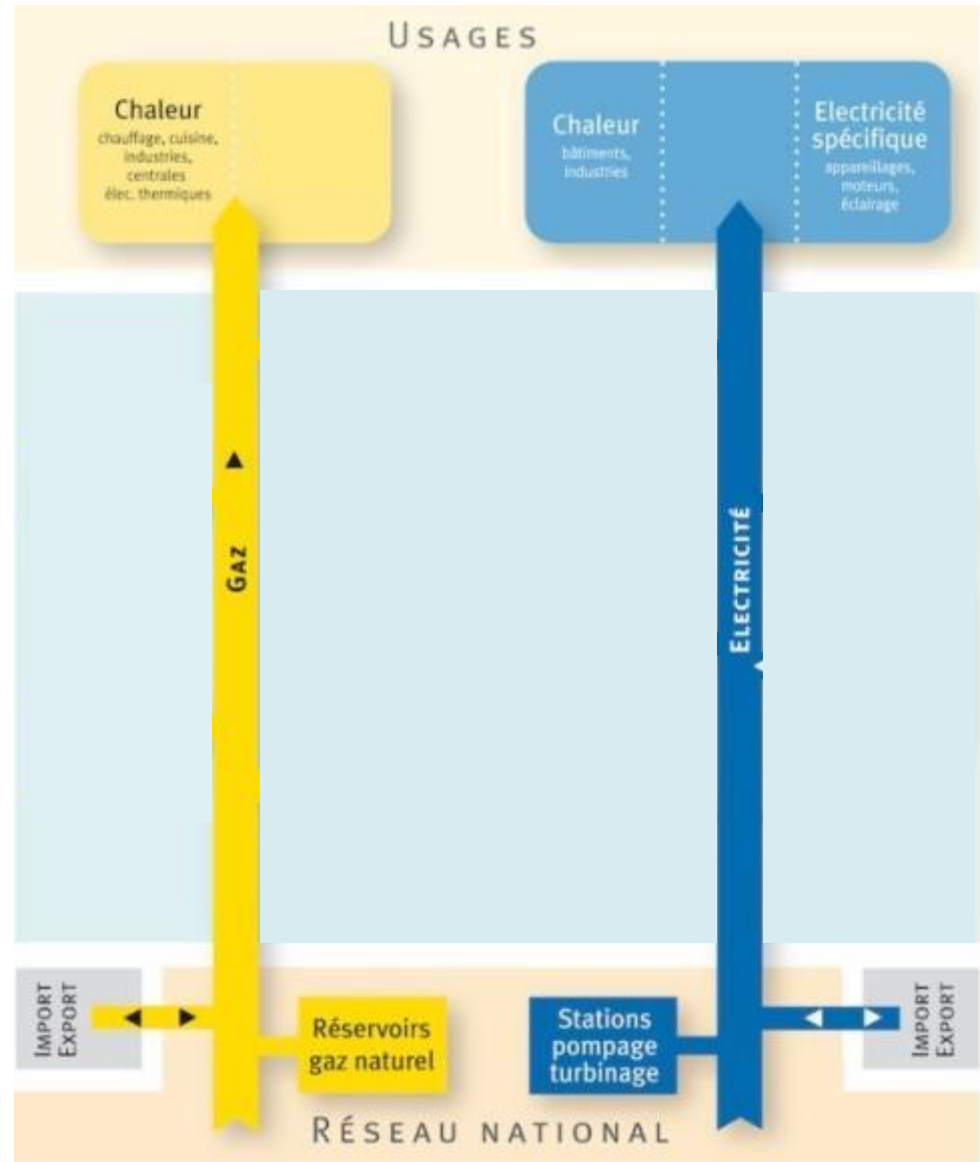
Vers une vision systémique

- *Quels vecteurs pour quels usages ?*
- **La complémentarité des réseaux**

➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production



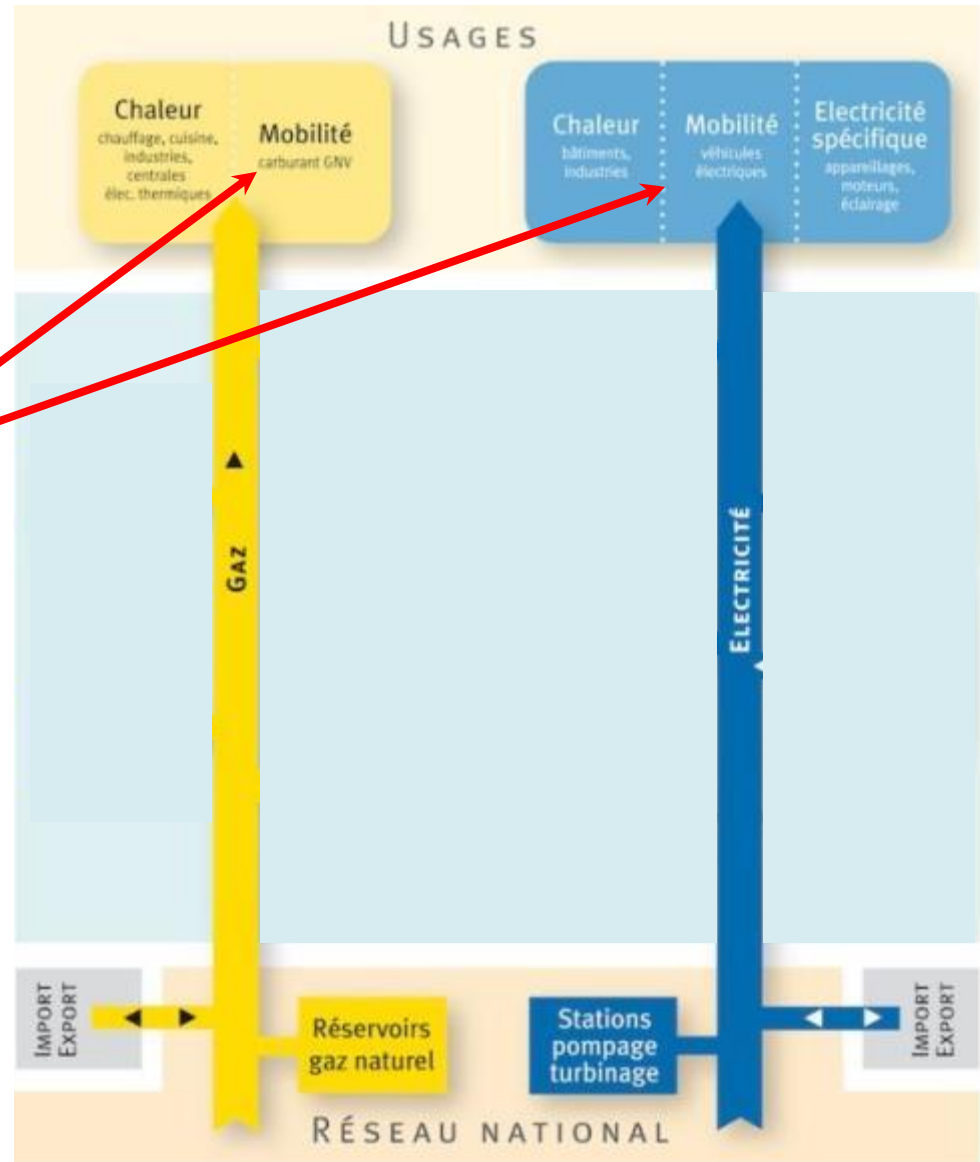
➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages



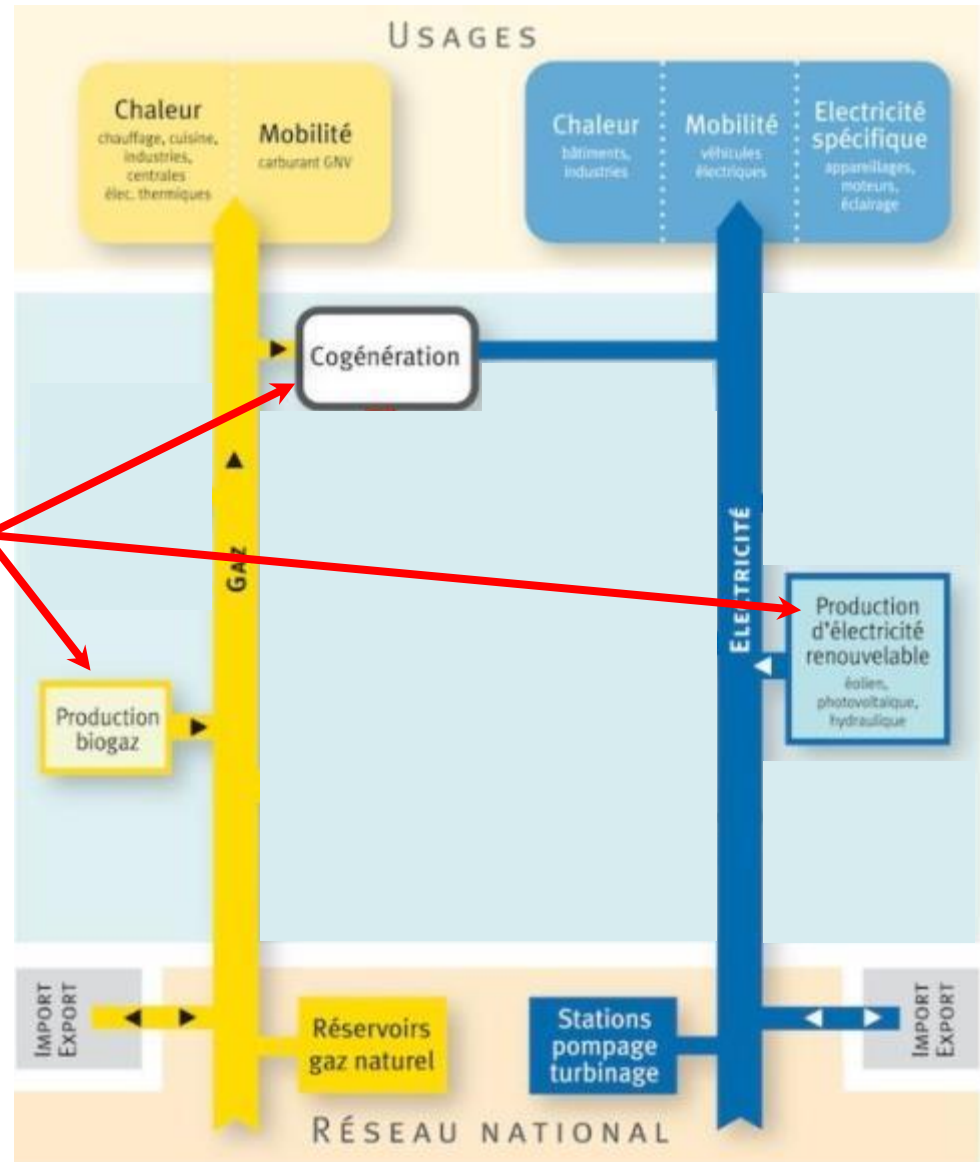
➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production



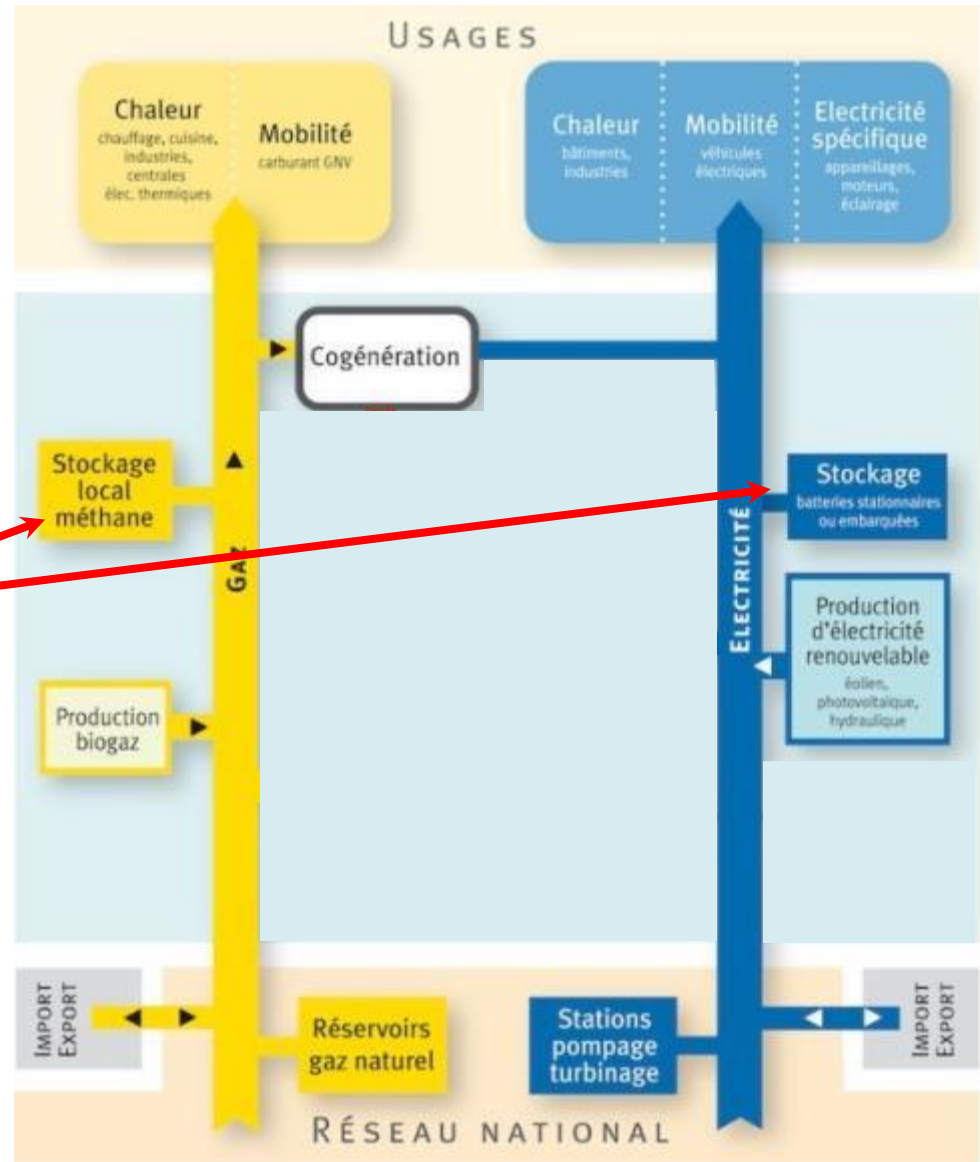
➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions



➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

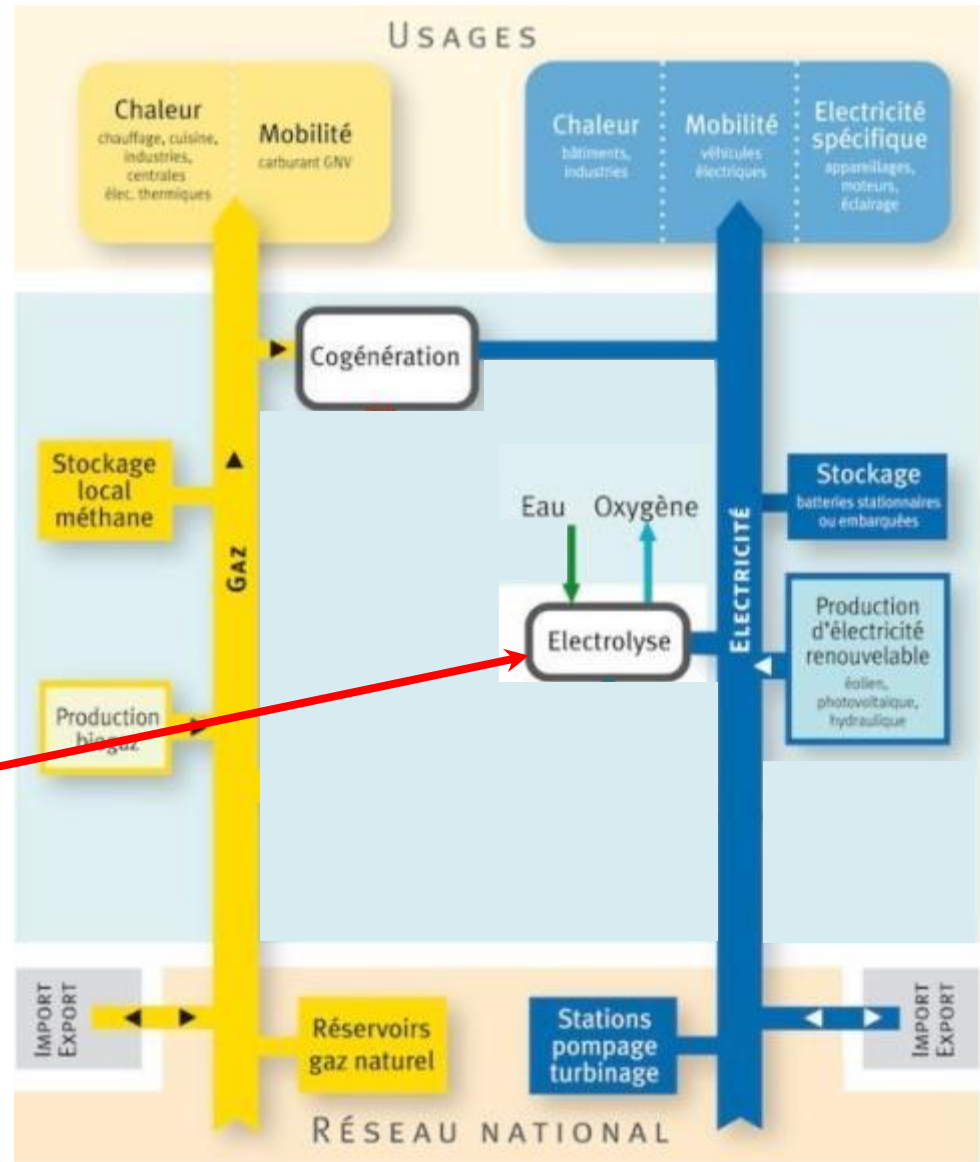
- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions

○ Le Power-to-Gas

- Production d'hydrogène (H₂)



➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

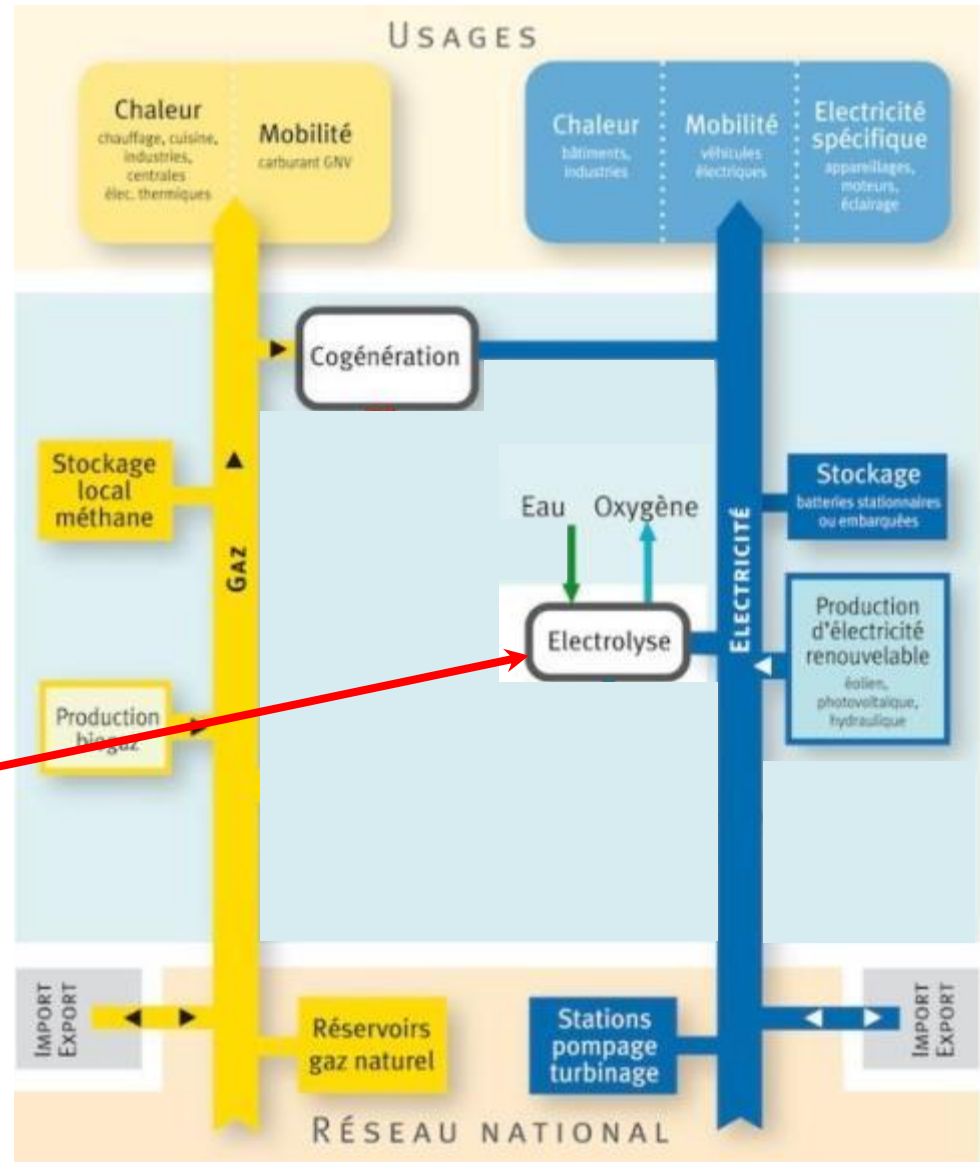
- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions

○ Le Power-to-Gas

- Production d'hydrogène (H_2)
 - ⇒ Industrie (1 MT/an)
 - ⇒ Injection réseau (< 6%)
 - ⇒ Piles à combustible (élec, mobilité, ...)
 - ⇒ Production de méthane



➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

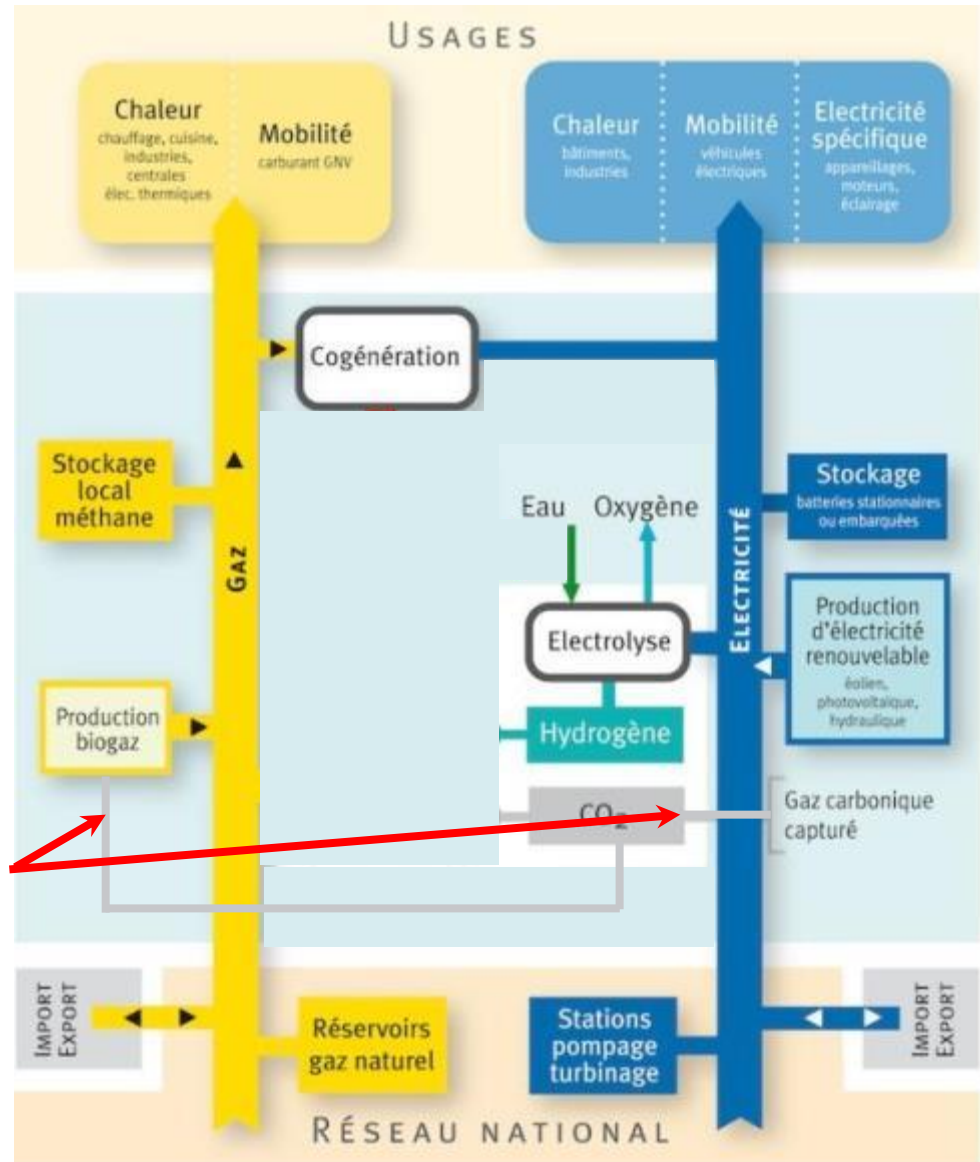
- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions

○ Le Power-to-Gas

- Production d'hydrogène (H_2)
- Capture du CO_2 (chaufferies, indus., biogaz)



➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

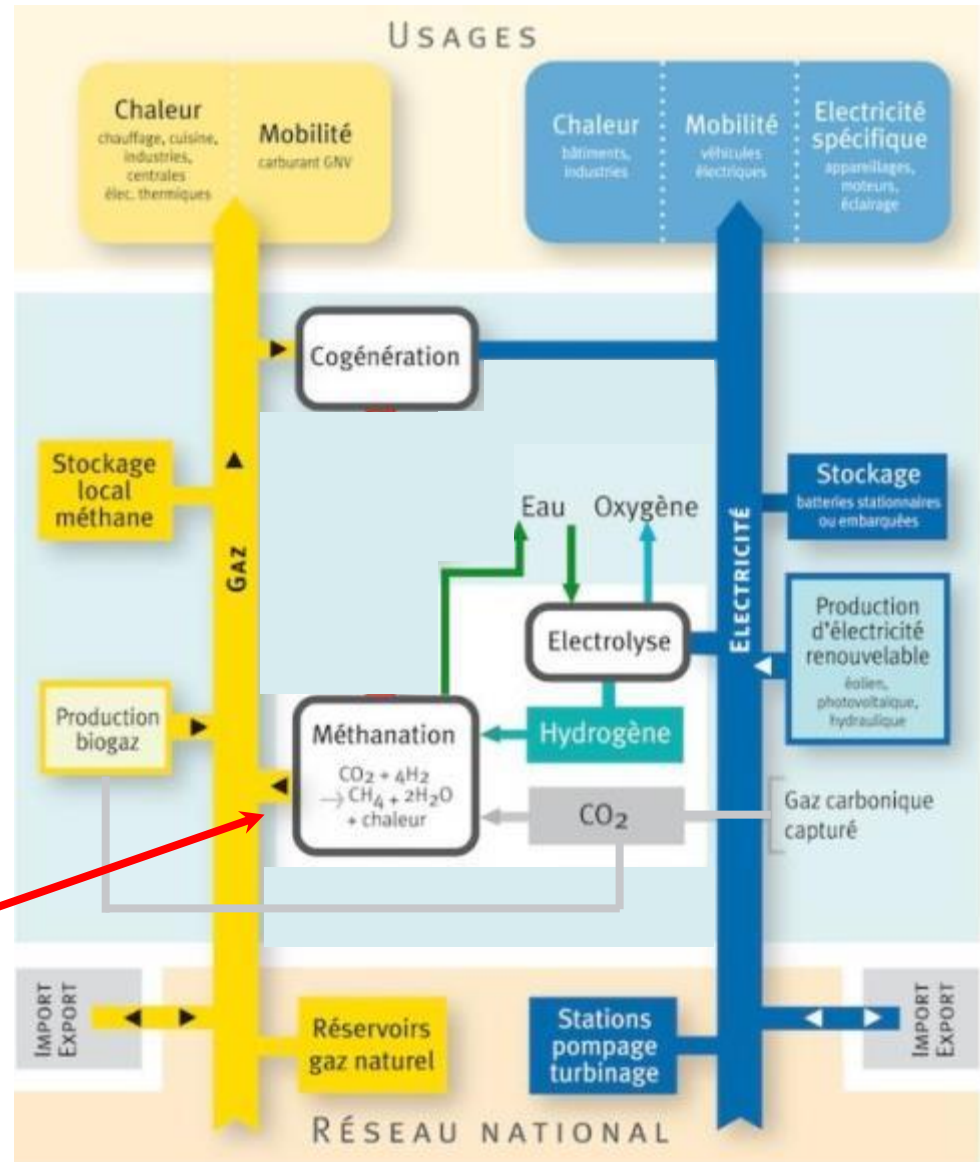
- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions

○ Le Power-to-Gas

- Production d'hydrogène (H₂)
- Capture du CO₂ (chaufferies, indus., biogaz)
- Production & injection de CH₄



➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

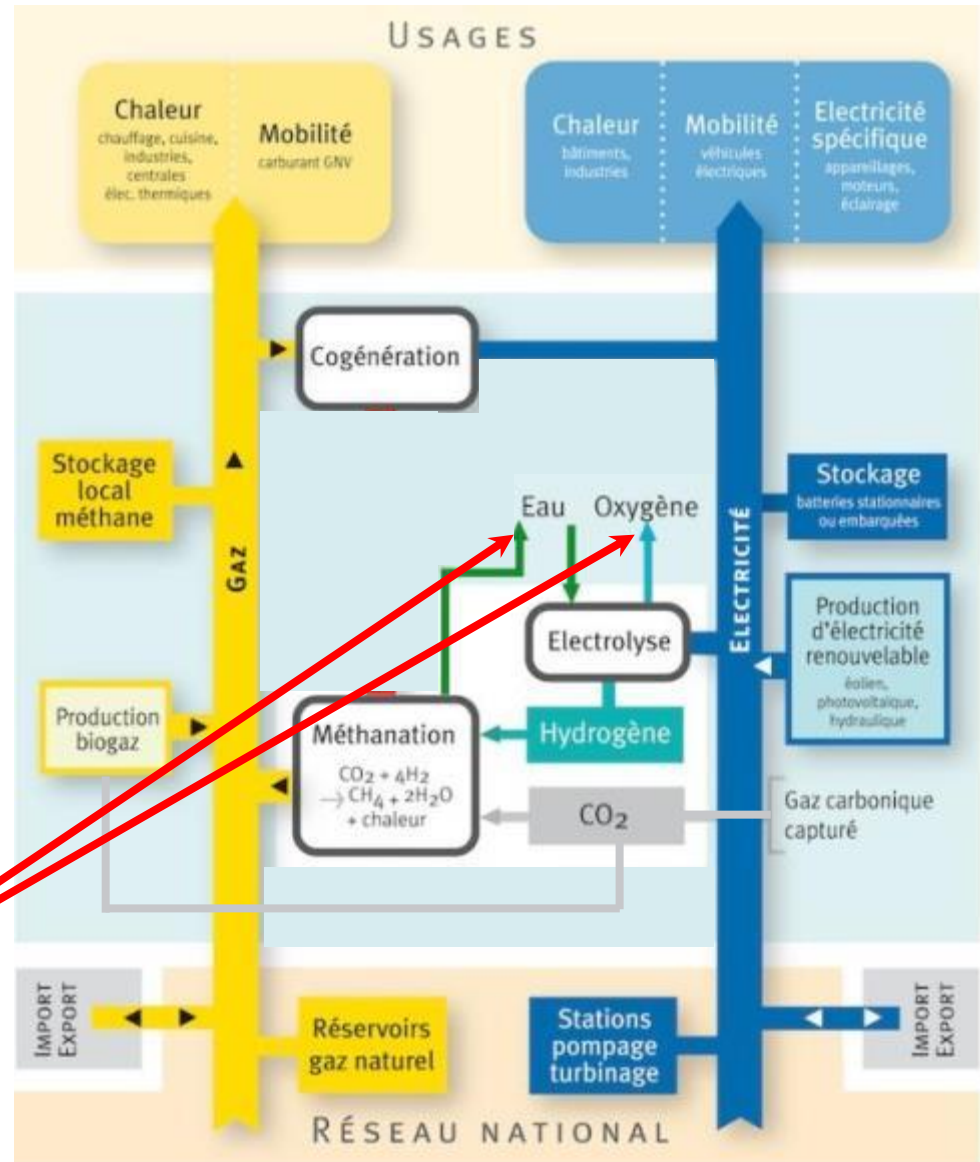
- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions

○ Le Power-to-Gas

- Production d'hydrogène (H₂)
- Capture du CO₂ (chaufferies, indus., biogaz)
- Production & injection de CH₄
- Co-produits valorisables



➤ La complémentarité des réseaux

○ Aujourd'hui

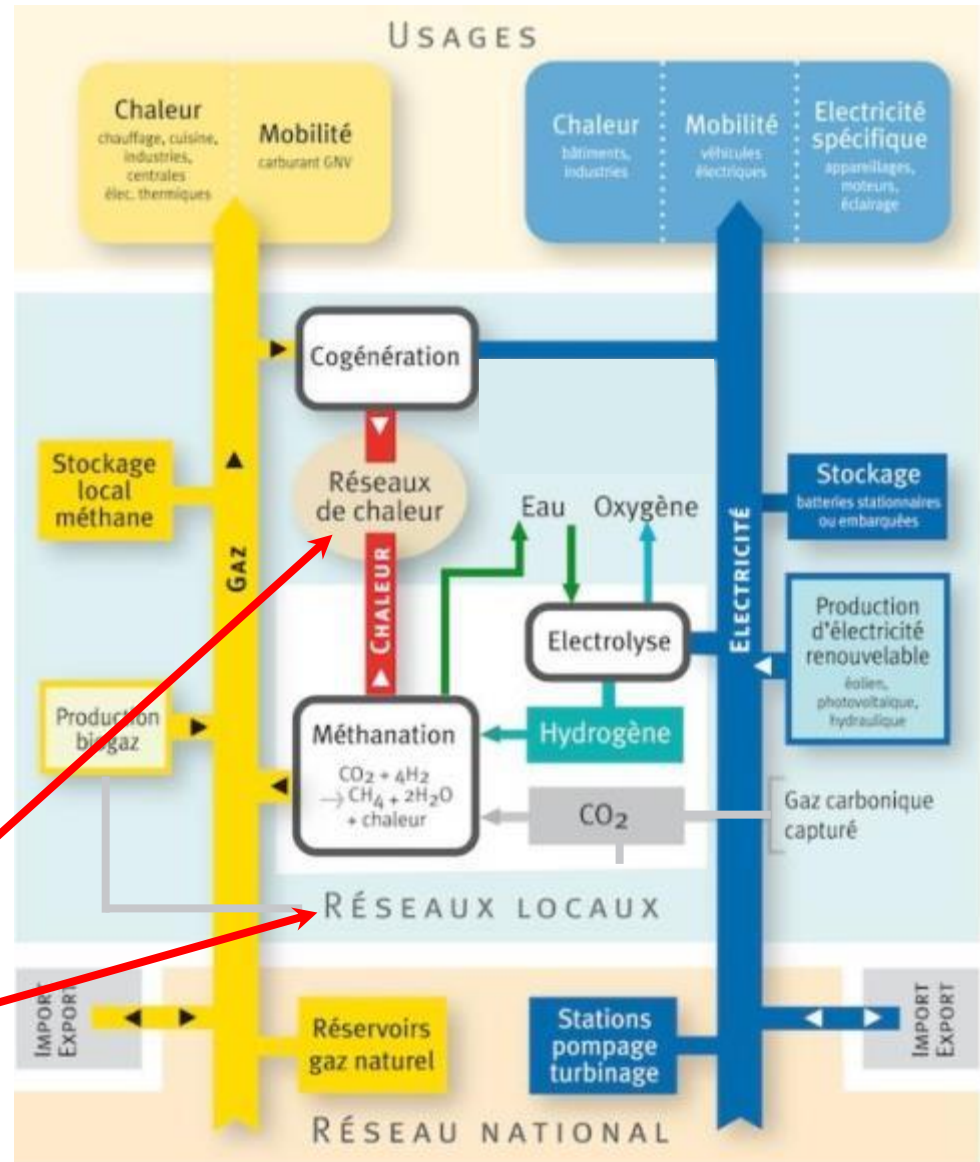
- Des vecteurs qui s'ignorent
- Des usages qui se concurrencent
- Une concentration de la production

○ Demain

- Diversification des usages
- Décentralisation de la production
- Nouvelles fonctions

○ Le Power-to-Gas

- Production d'hydrogène (H₂)
- Capture du CO₂ (*chaufferies, indus., biogaz*)
- Production & injection de CH₄
- Co-produits valorisables
- Écosystèmes locaux



- Toutes les informations sur le scénario négaWatt :

<https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2017-2050>

Rapport de synthèse du scénario • Graphiques dynamiques • Vidéos

- Deux ouvrages :



- Les réponses aux idées reçues sur la transition énergétique :



Décrypter
l'énergie

www.decrypterlenergie.org