
Graphs SATOR - Réussir la transition énergétique - Version française

Les enjeux d'une révolution énergétique à venir

L'énergie, comment on la mesure ?

	Puissance	X	Temps	=	Energie
	Watt (W)		Heures (h)		Watt.heure (Wh)
Ampoule	10 W		100 heures		1 000 Wh = 1 kWh
Lave-linge	1000 W		1 heure		1 000 Wh = 1 kWh
Une éolienne	2 000 000 W = 2 MW		Éq. ~2 500 heures / an		~5 000 MWh
Réacteur nucléaire	1 000 000 000 W = 1 000 MW		Éq. 7 000 heures / an		7 000 000 MWh = 7 TWh

X 500 (between 2 MW and 1 000 MW)
X 3 (between ~2 500 and 7 000 hours)
X 1500 (between ~5 000 MWh and 7 000 000 MWh)

C'est quoi un système énergétique ?



Corps humain

- Alimentation

- Système digestif
- Système sanguin

- Respirer
- Courir
- Réfléchir

Société humaine

Energie primaire

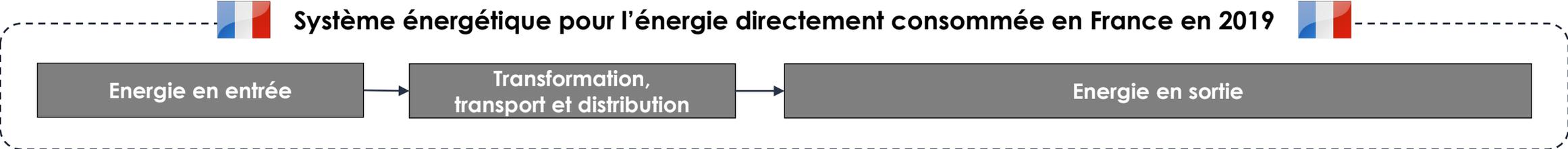
- Soleil
 - Végétaux
 - Animaux
 - *Energies fossiles*
 - Eau
 - Vent
- Terre, nucléaire

-
- Transformation : raffinage, traitement du gaz, etc.
 - Conversion en un autre vecteur énergétique (ex : électricité)
 - Réseau : transport, distribution, stockage

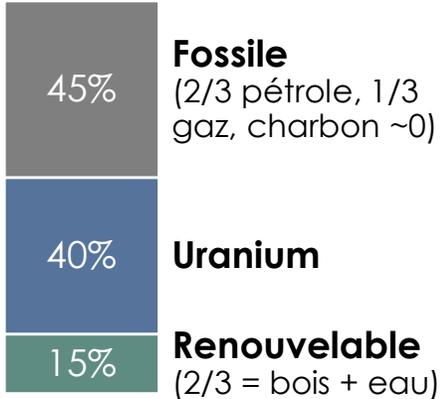
Energie finale

- Ensemble des factures d'énergie
- Divers usages : chauffer, refroidir, éclairer, se déplacer, communiquer, etc.

Le système énergétique appliqué au territoire français



Energie primaire
= ~3000 TWh

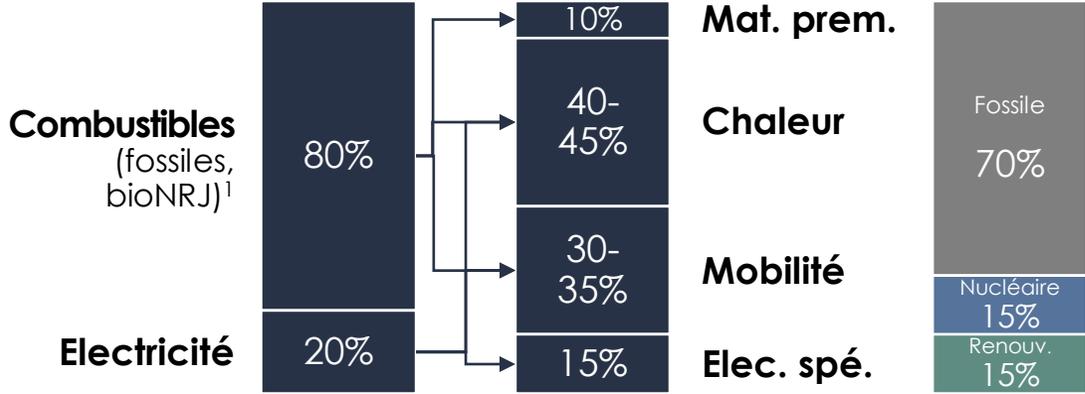


Perte de 33% d'énergie pour la rendre utilisable

Cas non exhaustifs

- **Raffinage pétrole**
=> 2% de pertes
- **Centrale élec. nucléaire**
=> 67% de pertes
- **Puis, transport électricité**
=> 6% de pertes

Energie finale = ~2000 TWh



Sources : <https://negawatt.org/scenario-2022/sankeys/2019-simplifie> ; Note : (1) réseau de chaleur inclus par simplicité

1 litre d'essence, c'est un super pouvoir !

1 personne à vélo
pendant 1 jour

1 kWh

× 10

10 kWh

1 litre
d'essence



10 personnes pendant 1 jour :
10 x 10 €/h x 8h

800 €

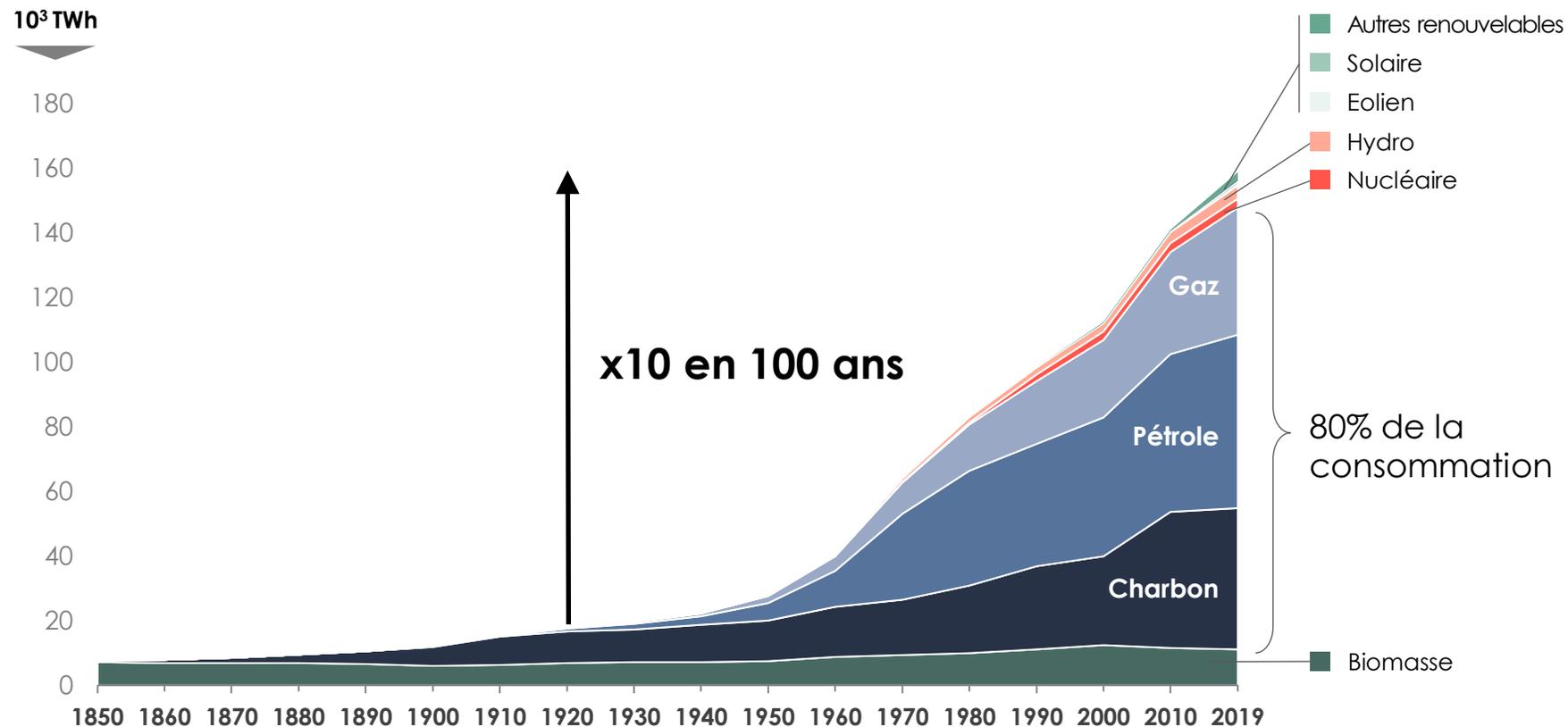
× 400

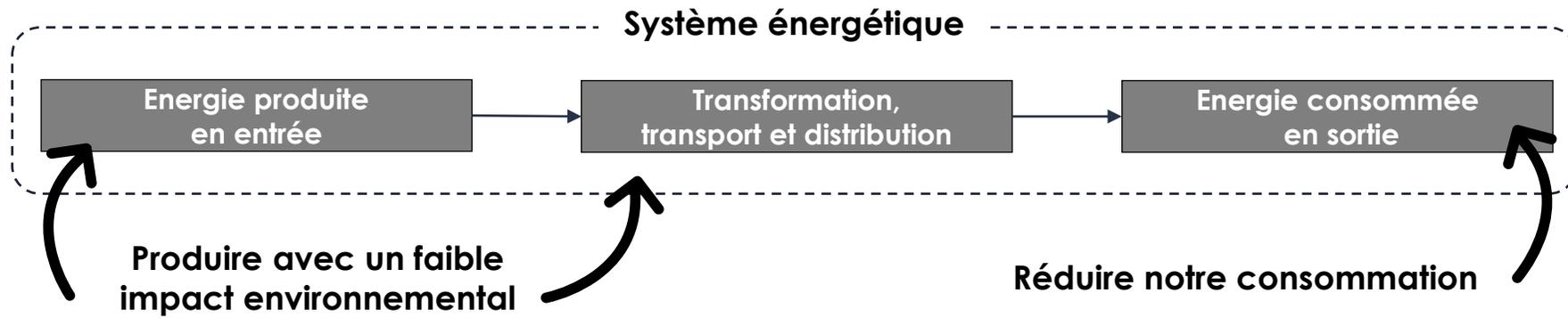
2 €

1 litre
d'essence

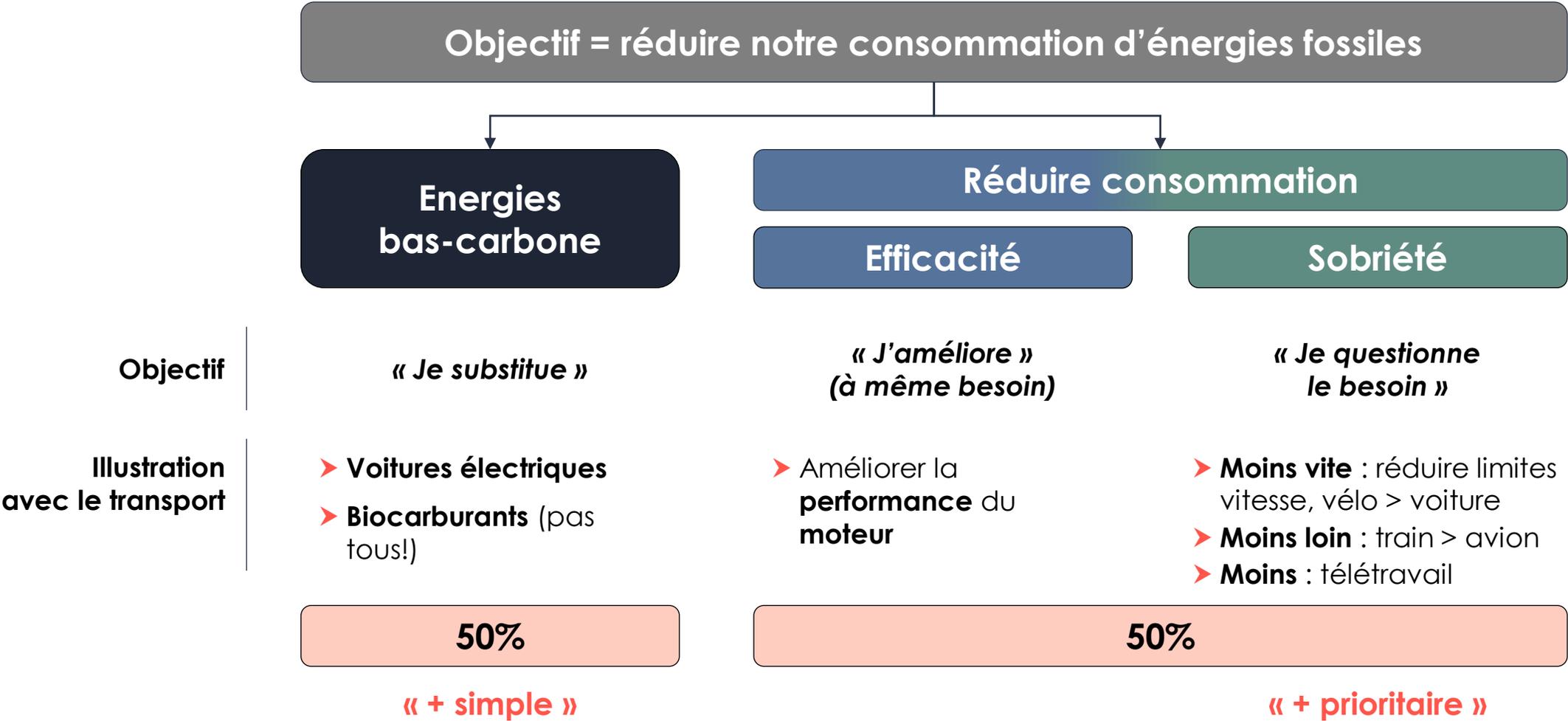
Monde : la consommation d'énergie primaire a été multipliée par 10 en 100 ans, et provient à 80% des énergies fossiles

Consommation annuelle mondiale d'énergie par source | 1850 – 2019, énergie primaire





Climat : trois grands leviers pour réduire nos émissions liées à l'énergie



Note : (1) 1/3 des émissions de gaz à effet serre proviennent d'autres sources sur les énergies fossiles mais la logique des 3 leviers reste applicable ; (2) les x% sont calculés à partir de la moyenne des scénarios S2 et S3 de l'Ademe (Transition(s))

Comment qualifier et comparer les énergies ?

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>		Matières premières Extraction & transformation	Transport & distribution	Usage	Fin de vie	Exemple : 1 MWh de gaz naturel
Limites planétaires	Gaz à effet de serre (énergie)	Quantité d'énergie X intensité carbone de l'énergie => kgCO ₂ e				200
	Matériaux critiques	Kg				Non significatif
	Occupation des sols (biodiversité, acceptabilité)	m ²				0,1
Economie	Coûts complets	€				20 à 100€
	% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%				< 50%
Autres enjeux spécifiques						Pollution locale Social

Sources : ADEME, ONU, IRENA, RTE

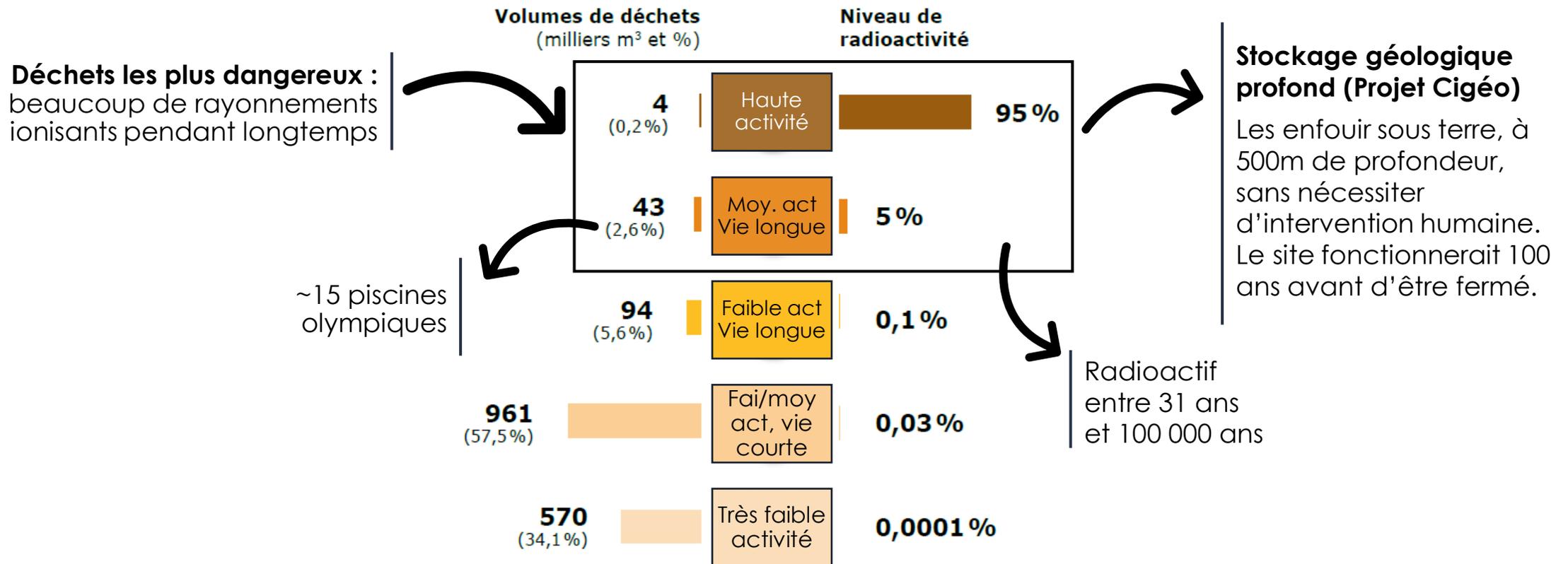
Le nucléaire, entre passion et raison

La radioactivité, c'est quoi ?



Et que fait-on des déchets radioactifs ?

Stock des déchets nucléaires en France, par catégorie (2019)



Conclusion nucléaire : tableau de bord à 5 indicateurs – zoom sur les indicateurs environnementaux

Usages →

1 MWh d'électricité

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	Gaz naturel	Nucléaire existant	Nucléaire nouveau
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	~450	~10	~10
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Non significatif	Non significatif
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,2	0,1	0,1
Coûts complets	€	40 à 200€	Les composantes économiques seront traitées lors du cours sur le mix électrique	
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%		
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Risque d'accident Déchets Climat : eau refroidissement	

Renouvelables électriques, zéro défaut ?

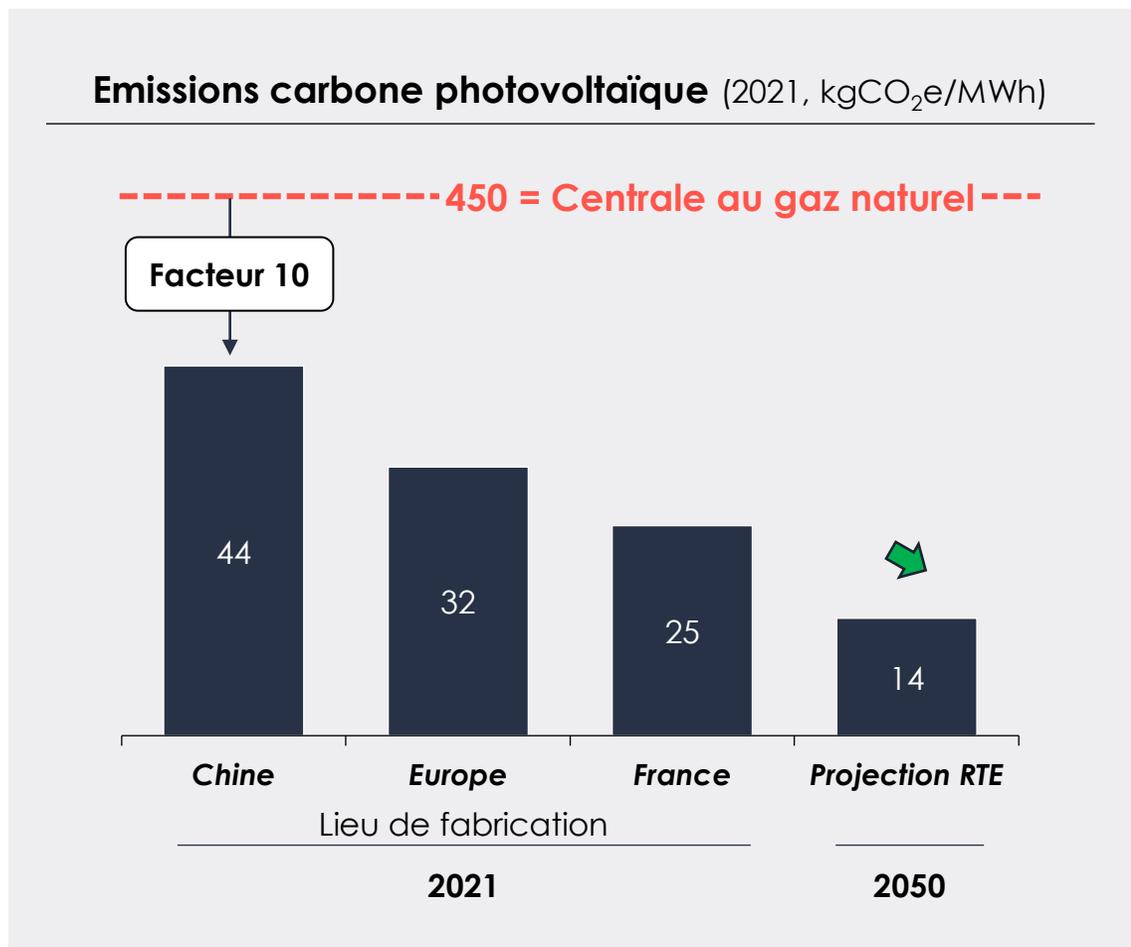
Hydroélectricité : quels impacts environnementaux ?

Usages →

1 MWh d'électricité

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	Gaz naturel	Hydraulique
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	~450	~10
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Non significatif
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,2	10
Coûts complets	€	60 à 220€	Les composantes économiques seront traitées lors du cours sur le mix électrique
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%	
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Climat : baisse débit rivières - 10/-40%

Idée reçue #1 : Le bilan carbone des panneaux PV ne serait pas assez bon pour décarboner notre mix électrique déjà bas-carbone



Eoliennes : quelques chiffres clés

Caractéristiques	Unité	Eolien sur terre	Eolien en mer
Puissance	MW	3	10
Hauteur	mètres	150	250
Durée fonctionnement	Nb d'heures/an	2500	3500
Production d'énergie	MWh	7500	35000
Equivalent conso.	Nb citoyens	200	1000

Profiter de vents plus forts, plus réguliers et plus hauts que sur terre

Envergure d'un A380 = 80m
Tour Eiffel = 330 m

Conclusion renouvelables électriques : tableau de bord à 5 indicateurs

– zoom sur les indicateurs environnementaux

Usages →

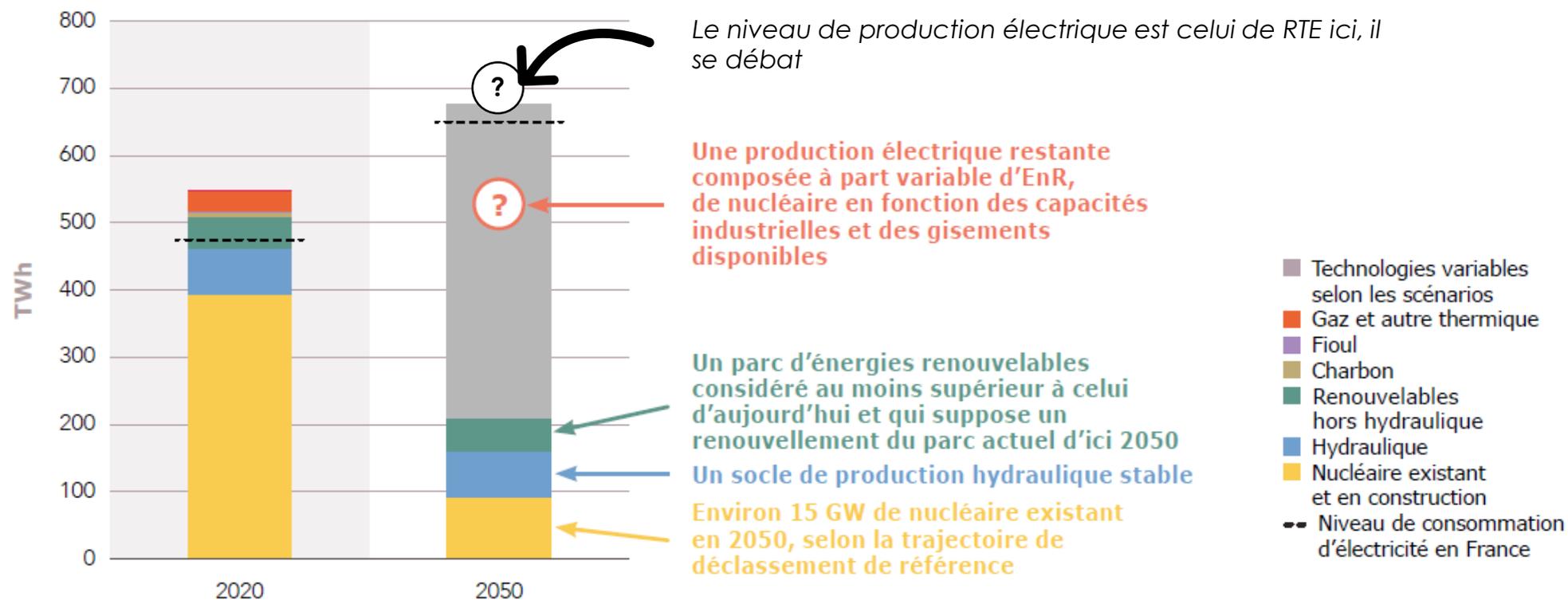
1 MWh d'électricité

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	Gaz naturel	Nucléaire existant	Nucléaire Nouveau	Hydraulique	Photovoltaïque (sol, toitures)	Eolien sur terre	Eolien en mer
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	~450	~10	~10	~10	~40 <i>Baisse à venir</i>	~10	~10
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Terres rares prochaine génération ?	Non significatif	Un peu de terres rares
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,2	0,1	0,1	10	10	2	2
Coûts complets	€	60 à 220€	<i>Les composantes économiques seront traitées lors du cours sur le mix électrique</i>					
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%						
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Risque d'accident Déchets Climat : eau refroidissement		Climat : baisse débit rivières - 10/-40%	Variable	Variable	Variable

Mix électrique : nucléaire VS renouvelables

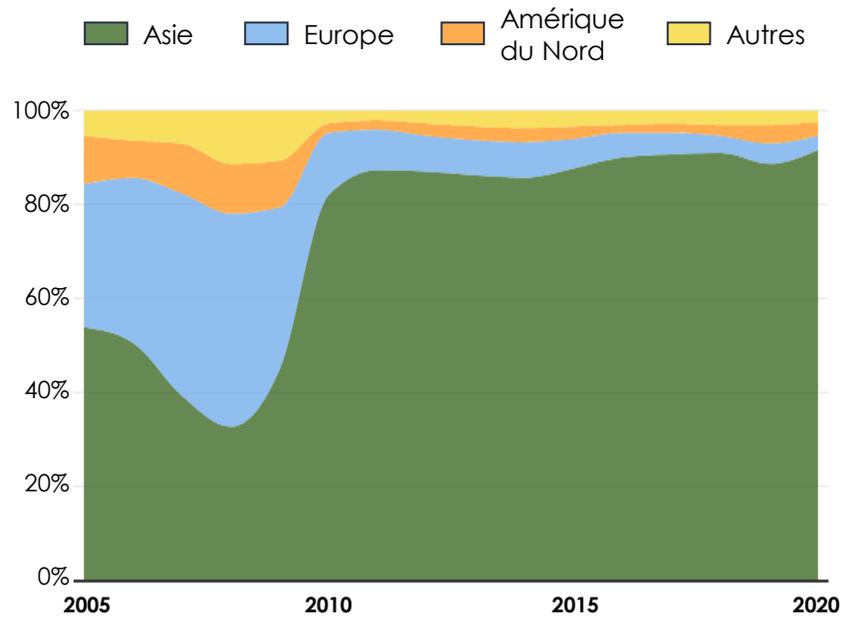
Les termes du débat : 2/3 des moyens de production d'électricité en 2050 se décident aujourd'hui

Perspectives d'évolution de la production d'électricité (2020-2050, TWh)



Indépendance énergétique : le cas du solaire PV

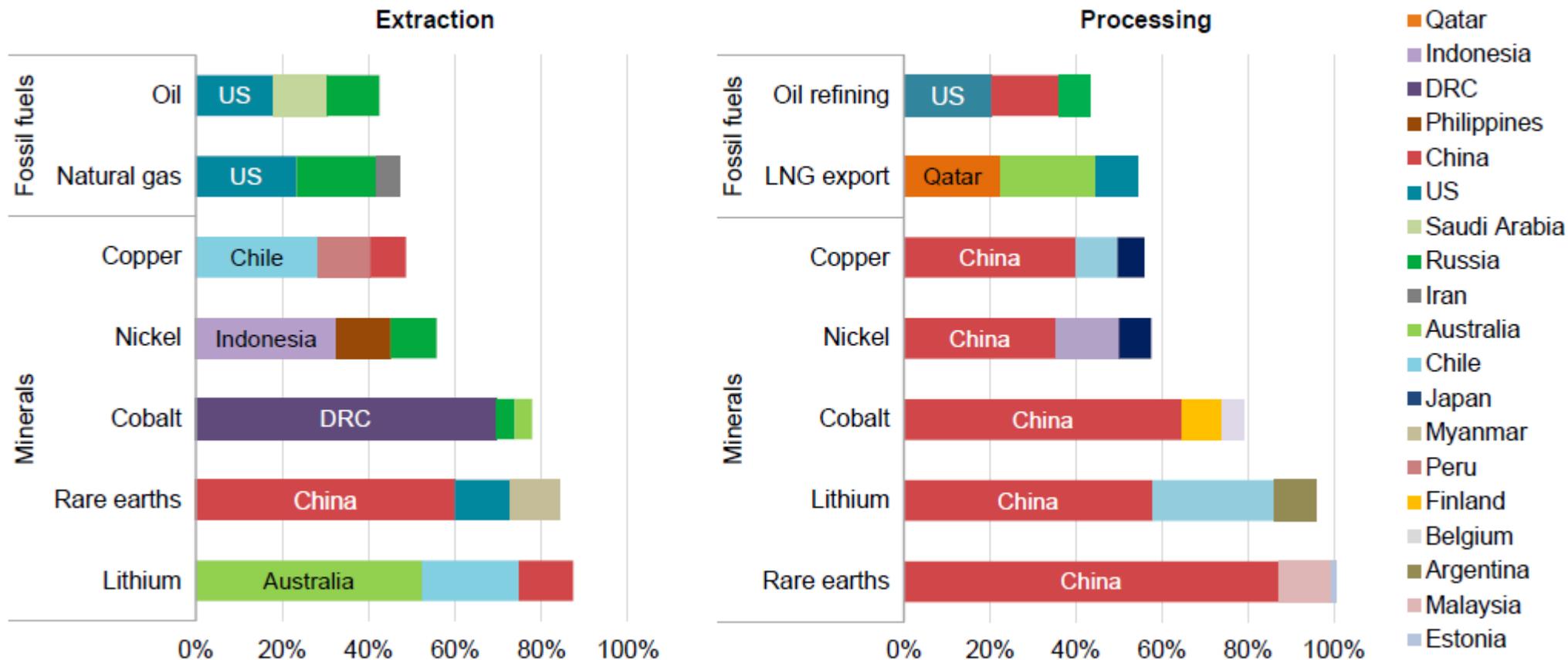
Parts de marché fabrication panneaux PV
(2005-20, % MW)



Sources : <https://www.energymonitor.ai/tech/renewables/what-the-closure-of-germanys-only-wind-blade-factory-says-about-its-energy-transition/> ;
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/d2ee601d-6b1a-4cd2-a0e8-db02dc64332c/SpecialReportonSolarPVGlobalSupplyChains.pdf> ;
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8

La Chine s'est déjà positionnée sur la transformation des métaux de la transition énergétique : > 40% de parts de marchés

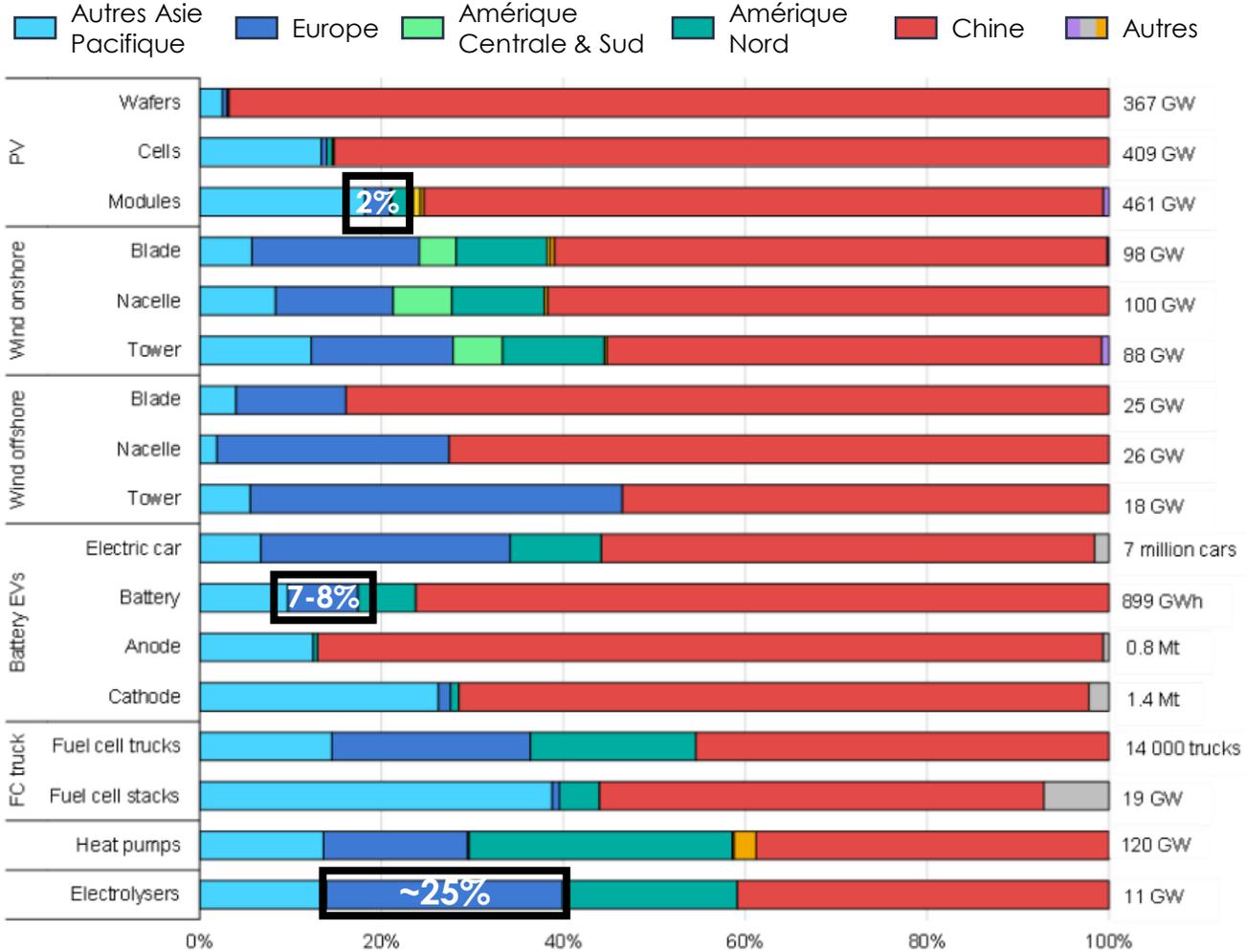
Part des 3 principaux pays producteurs pour l'extraction et la transformation de certains matériaux (2019)



Note : LNG = Liquefied Natural Gas
Source : AIE

L'Europe a perdu son industrie PV, défend mieux ses intérêts sur les batteries et s'est bien positionnée sur les électrolyseurs

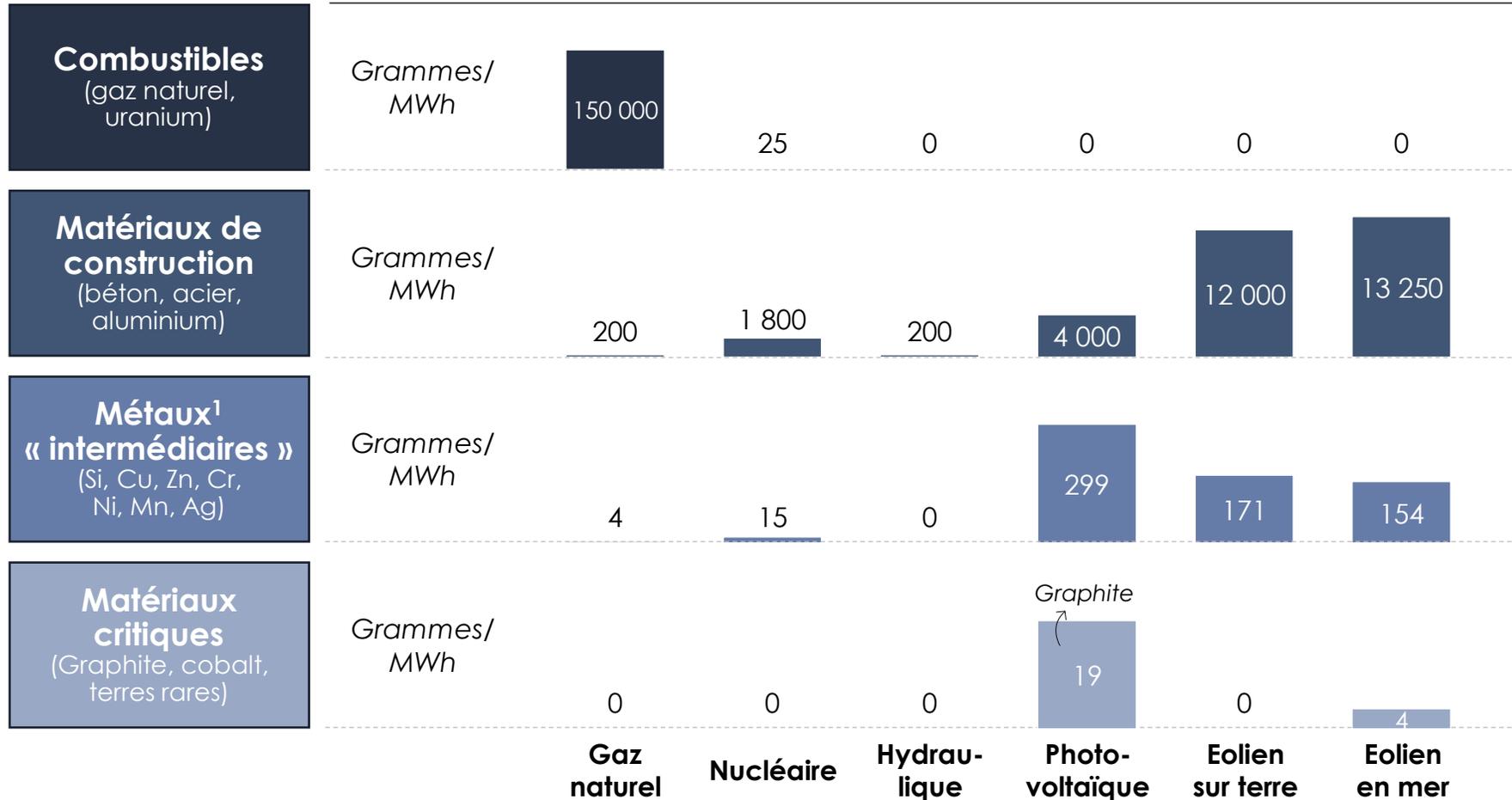
Part régions productrices de certaines technologies bas-carbone (2021)



Note : FC = fuel cell = pile à combustible ; Sources : AIE, Energy Technology Perspectives 2023

Consommation de matériaux : les énergies ne se valent pas

Intensité matérielle par mode de production électrique (g matériau / MWh)

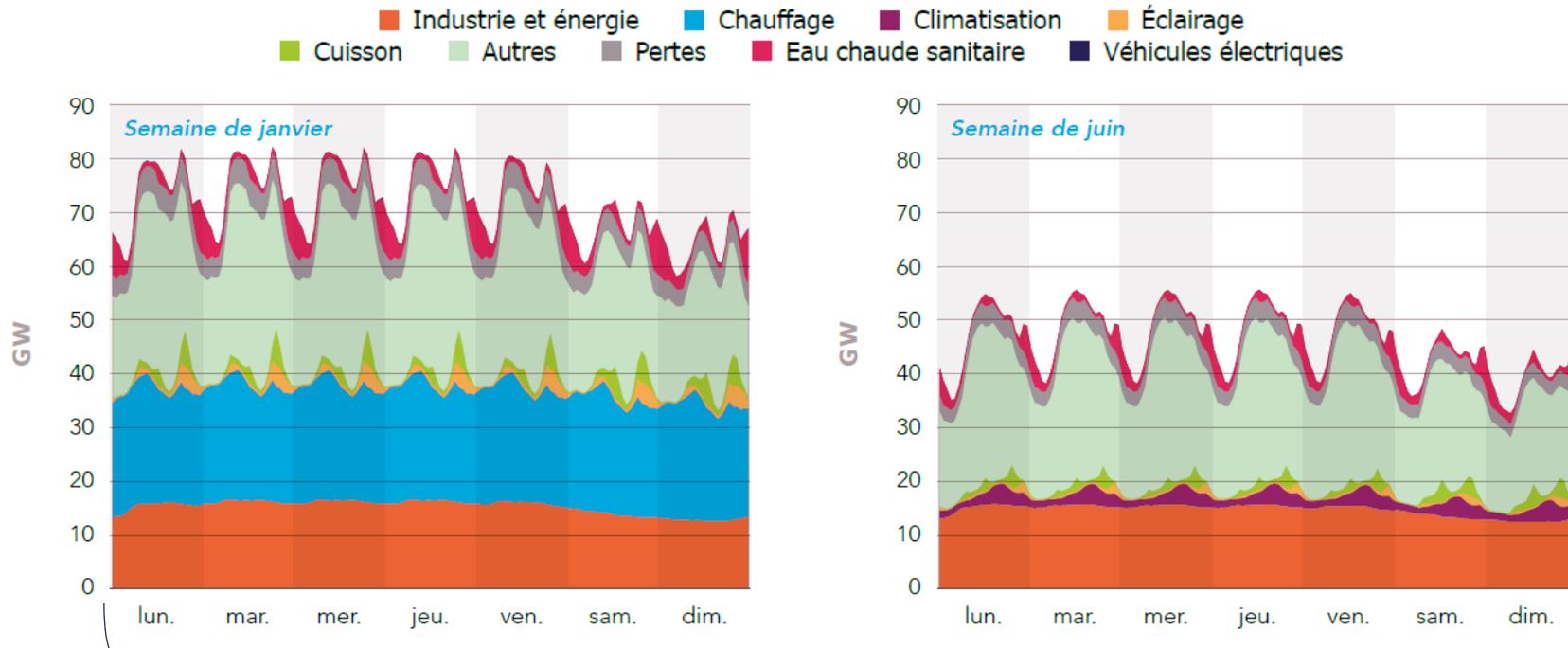


Note : Le Silicium métal est mis dans la catégorie « intermédiaire » car 1) il est à la limite de criticité de rupture d'approvisionnement selon la Commission européenne; 2) c'est un matériau relativement abondant

Sources : RTE, Futurs Energétiques 2050 ; AIE ; <https://www.brgm.fr/fr/actualite/infographie/metaux-critiques-chiffres-cles-2022>

A tout instant, il faut équilibrer consommation et production

Profil hebdomadaire de la consommation par usage (2020)



Equilibre à tout instant : production = consommation

Modes de production +/- pilotables

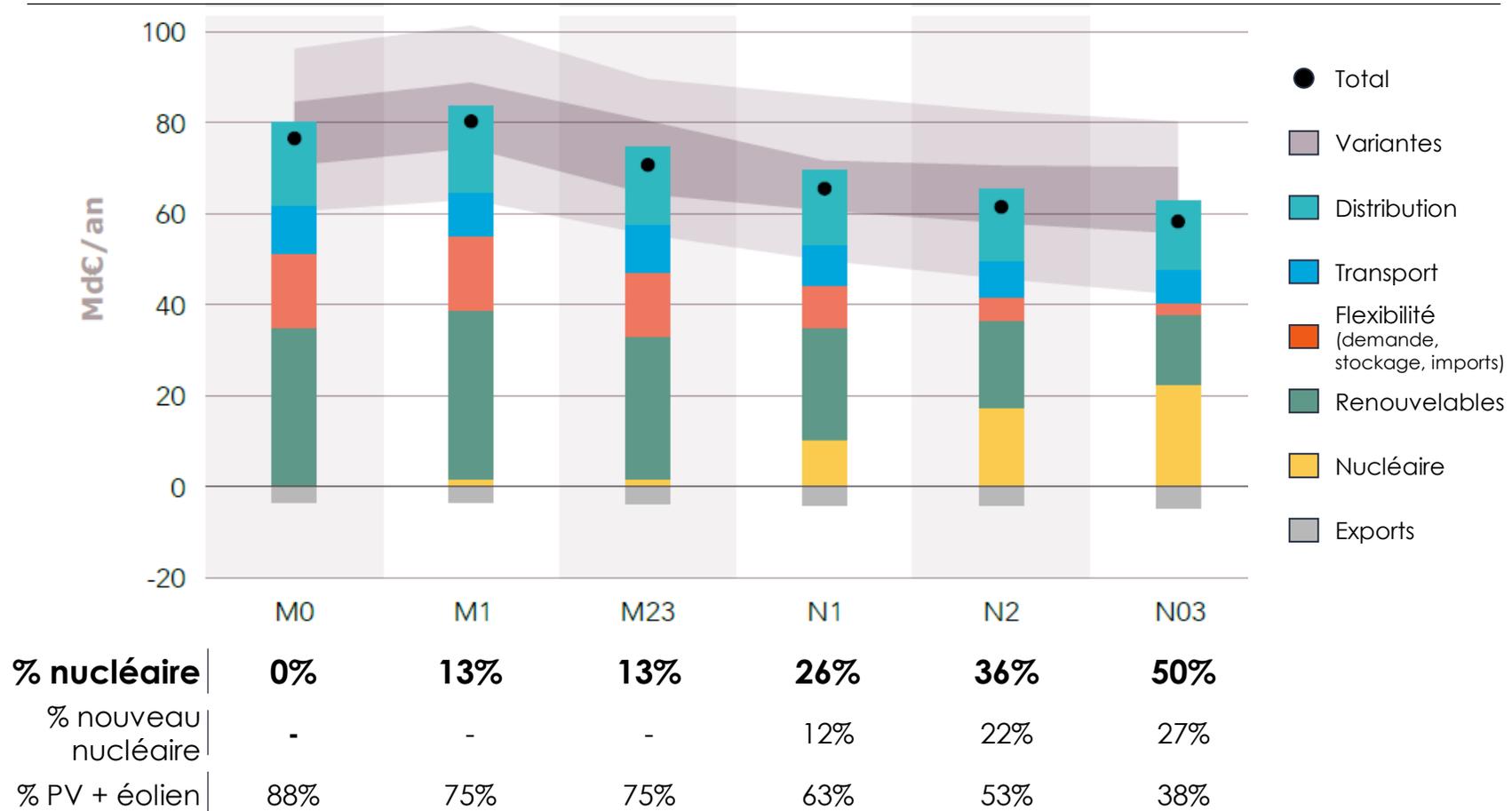
Stockage (STEP, batteries)

Une consommation qui fluctue beaucoup ...

- **Journée** : pics de consommation le matin quand tout le monde se lève, et vers 18-19h quand tout le monde rentre chez soi (cuisson, éclairage)
 - **Été** : pas de chauffage, peu de climatisation
 - **Eau chaude sanitaire** est programmée pour consommer la nuit
-
- **L'électricité se stocke très mal**
 - **Fossiles, hydraulique et nucléaire** sont **pilotables VS solaire et éolien variables**

Les coûts complets du système électrique sont peu différenciants que ce soit beaucoup de nucléaire ou de renouvelables

Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060 (Mds € / an)



Atteindre ces rythmes de déploiement relève du défi industriel

Rythmes moyens déploiement historiques et projetés : PV et éolien terrestre

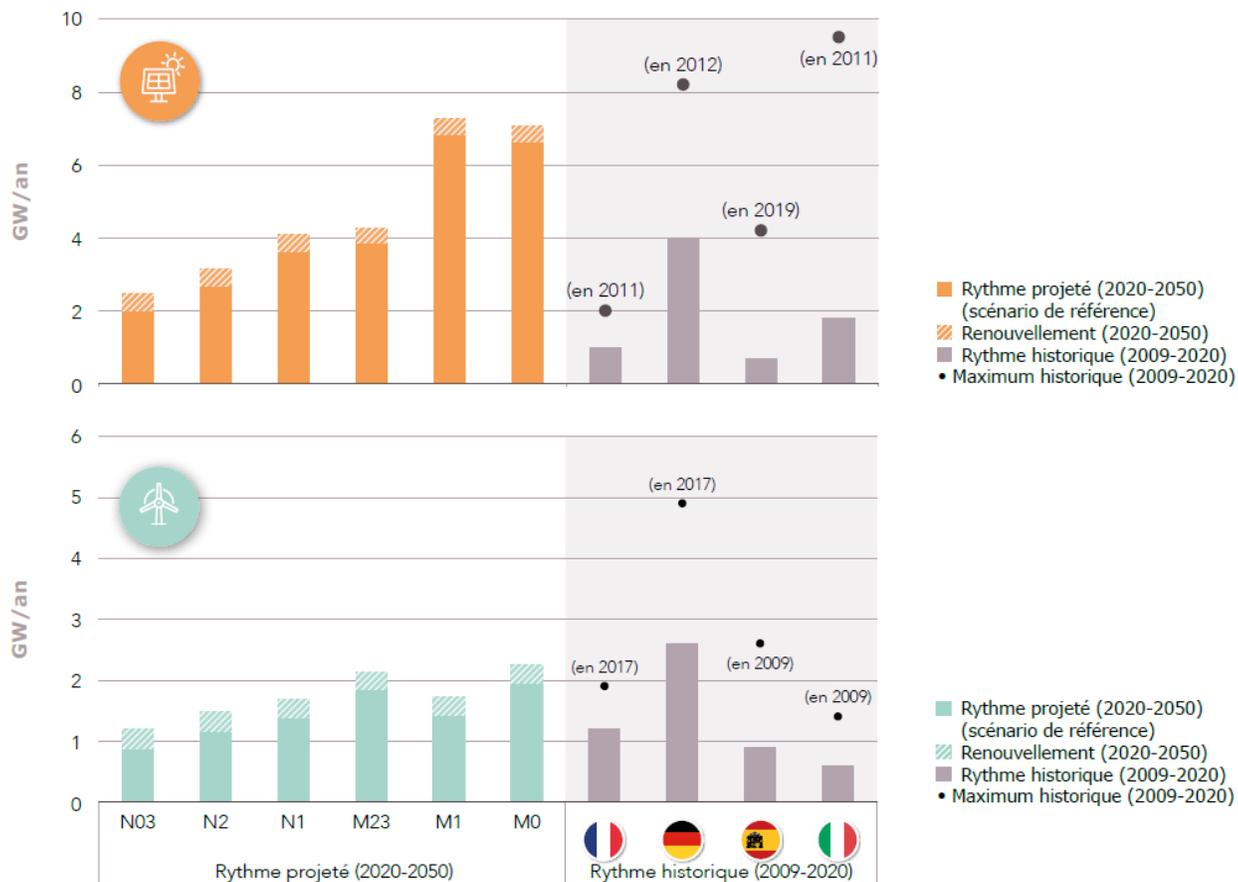


Tableau de bord à 5 indicateurs : électricité

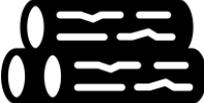
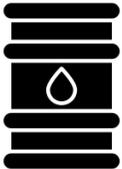
Usages →

1 MWh d'électricité

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	Gaz naturel	Nucléaire existant	Nucléaire Nouveau	Hydraulique	Photovoltaïque (sol, toitures)	Eolien sur terre	Eolien en mer
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	~450	~10	~10	~10	~40 <i>Baisse à venir</i>	~10	~10
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Terres rares prochaine génération ?	Intensif en matériaux de construction	Un peu de terres rares
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,2	0,1	0,1	10	10	2	2
Coûts complets	€	60 à 220€	40 à 70€	70 à 120€	30 à 60€	40 à 180€	60 à 90€	70 à 110€
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%	> 90%	> 90%	> 90%	70% Relocaliser, recycler ?	> 90%	> 90%
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Risque d'accident Déchets Climat : eau refroidissement		Climat : baisse débit rivières -10%/-40%	Variable	Variable	Variable

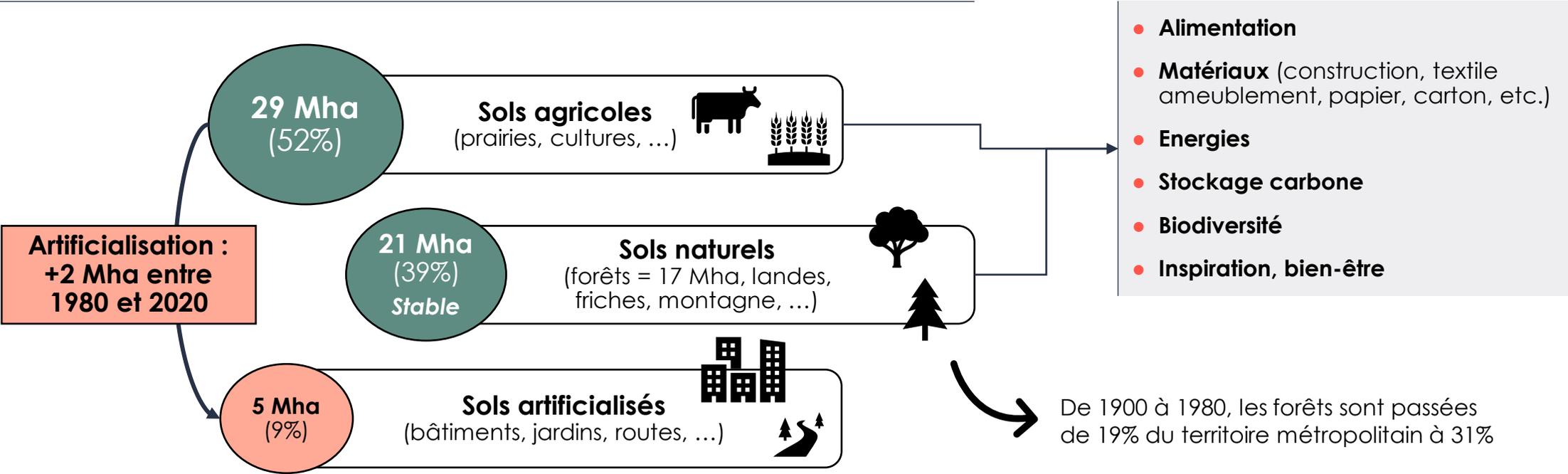
L'énergie du végétal (biomasse/bioénergies)

Définitions : qu'est-ce que la biomasse ? Les bioénergies ?

	Energies fossiles	Energies de la biomasse
Solide	 Charbon	 Bois, fibres végétales
Liquide	 Pétrole	 Biocarburants liquides
Gaz	 Gaz naturel	 Biogaz, biométhane

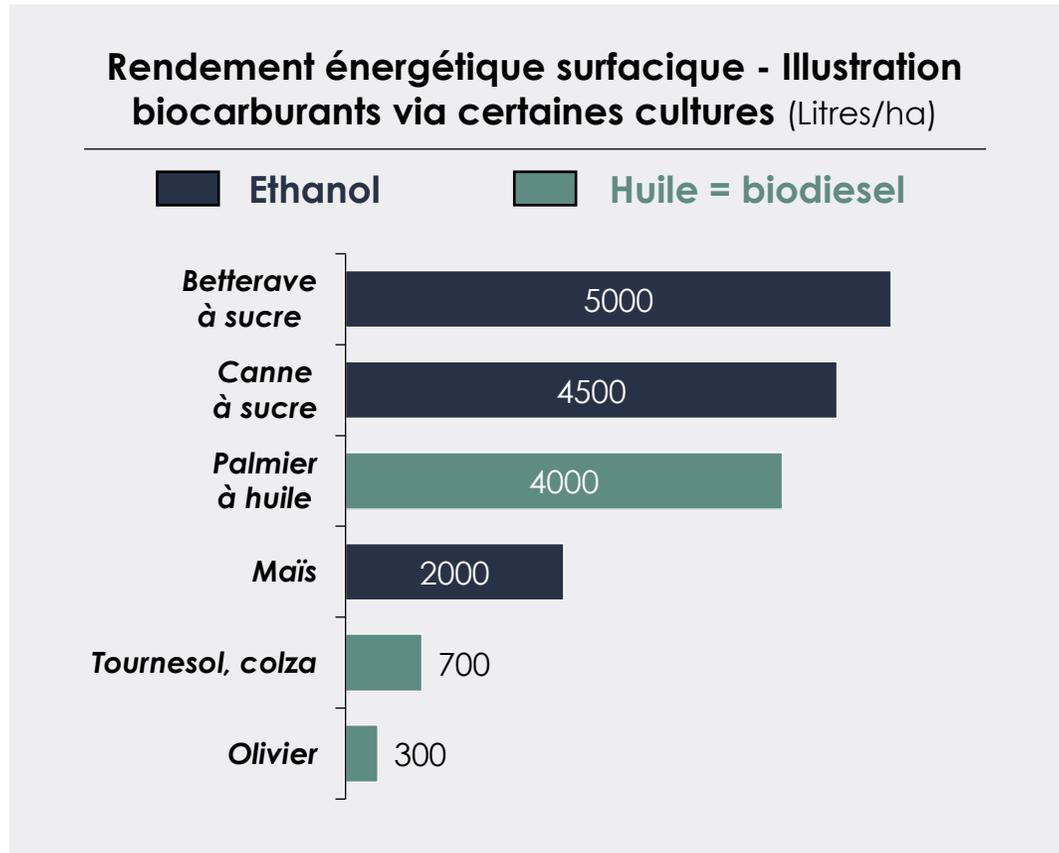
La biomasse provient des surfaces agricoles et forestières : forte artificialisation au détriment des sols agricoles depuis 40 ans

Evolution des surfaces entre 1980 et 2020, en France métropolitaine d'un total de 55 Mha



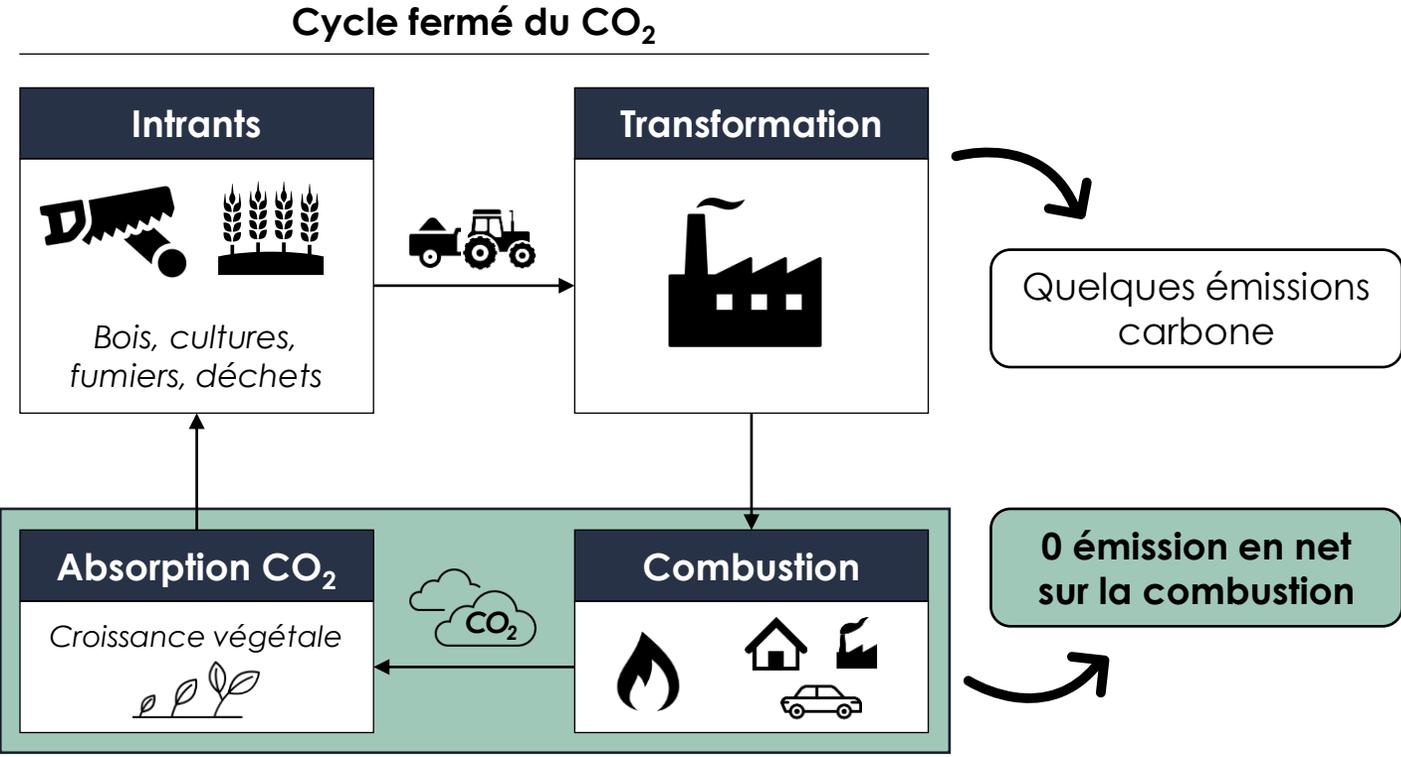
Sources : *La ville stationnaire*, Philippe Bihoux, Sophie Jeantet, Clémence de Selva

Rendement énergétique : la biomasse génère peu d'énergie à la surface

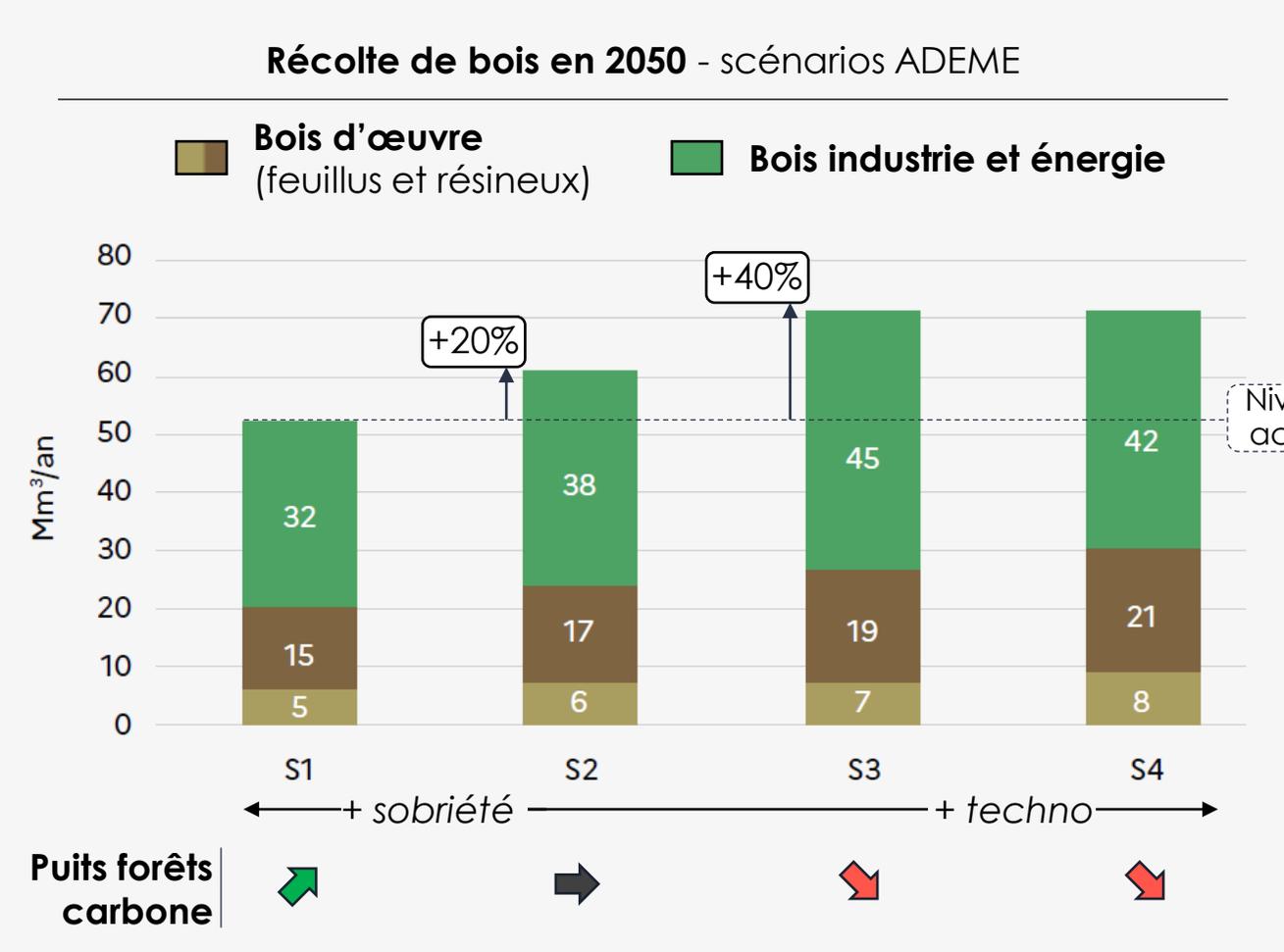


Note : le Litre est une approximation du contenu énergétique ; (1) ce rendement comprend les consommations énergétiques pour transformer la betterave en éthanol
Sources : FAO

Les émissions carbone liées à la combustion de la biomasse sont considérées nulles si la biomasse est replantée



Forêts & bois : des stratégies contrastées entre augmentation des prélèvements, et préservation du puits



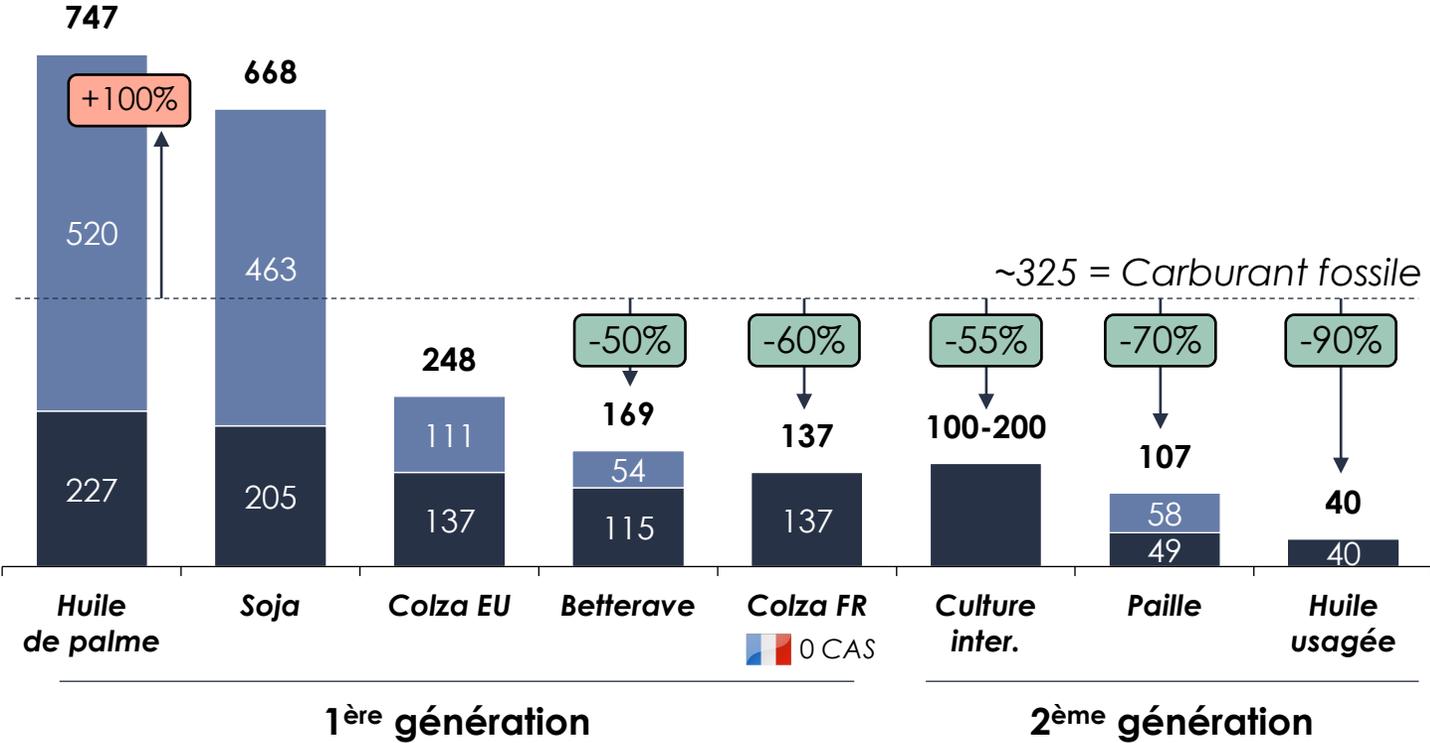
Sources : Transition(s) 2050, ADEME ; INRAE

Selon l'origine et la matière première, un biocarburant est +/- une bonne idée pour le climat

Emissions par biocarburant (2020, UE, gCO₂e/kWh)



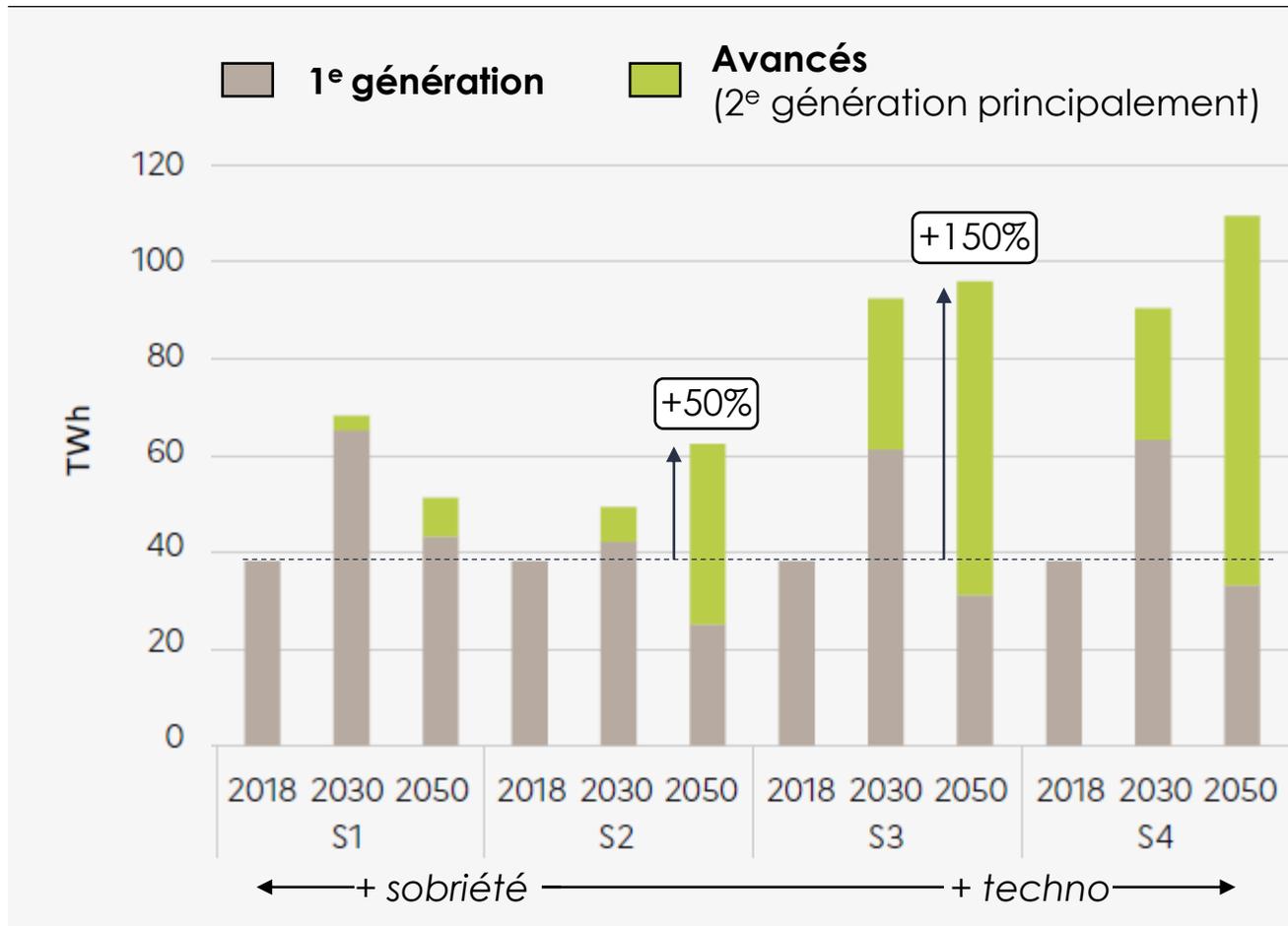
■ Emissions amont (culture, transformation, distribution, etc.) ■ Changement d'affectation des sols (CAS) amorti sur 20 ans (ex : déforestation)



Sources : ICCT, European Commission, Globiom

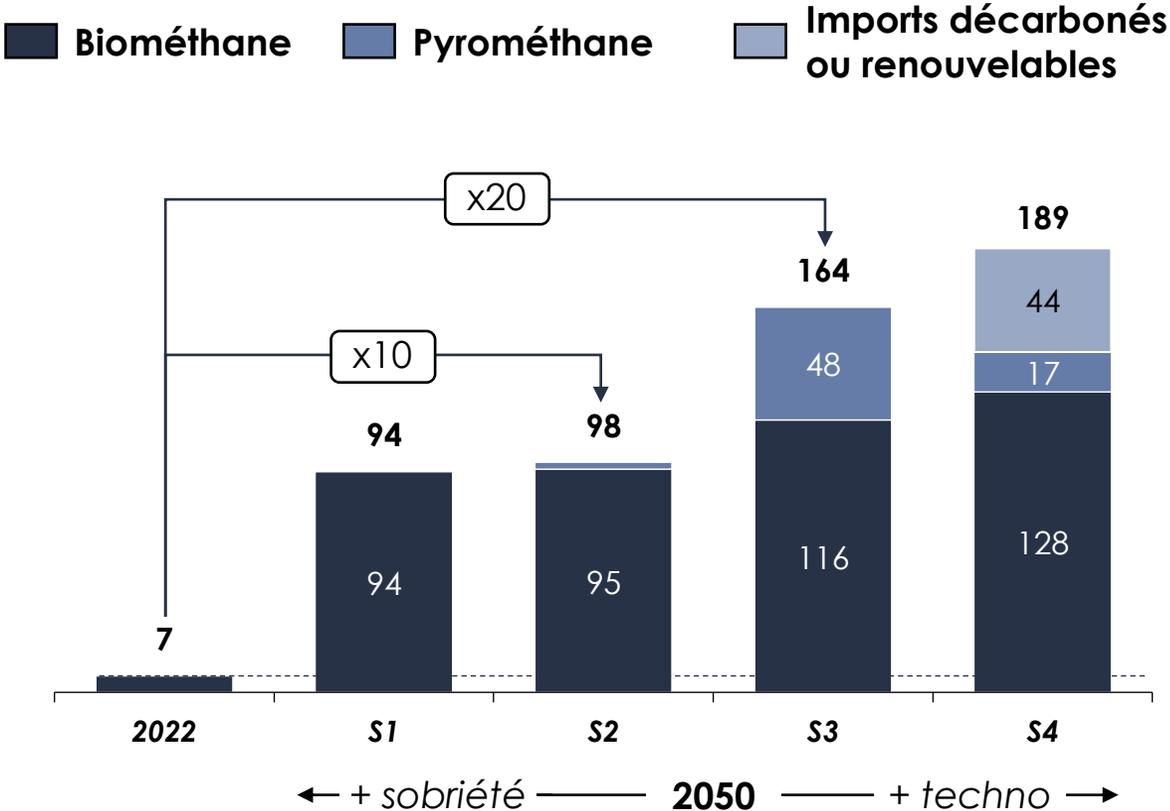
Biocarburants liquides : une augmentation de la production entre +50% et +150% pour les scénarios centraux, afin d'alimenter l'aviation

Part de biocarburants en 2018, 2030 et 2050 - scénarios ADEME



Gaz renouvelables : une multiplication par 10 à 20 d'ici 2050

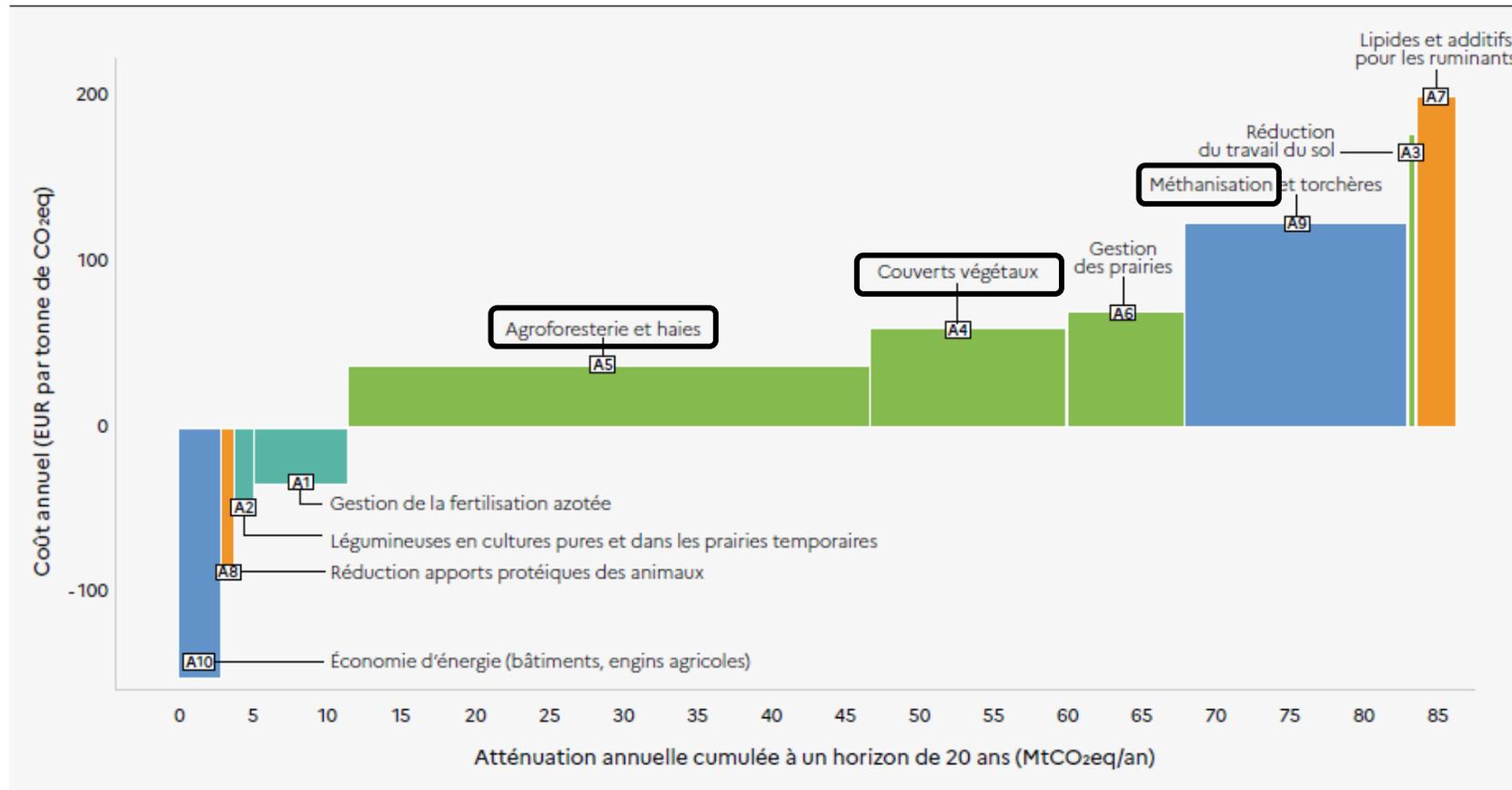
Évolution production gaz renouvelables (TWh, 2022-50 - scénarios ADEME)



Source : Transition(s) 2050, ADEME

3 grandes pratiques agricoles pour stocker du carbone, enrichir la biodiversité, produire des énergies renouvelables

Coûts et potentiels annuels d'atténuation à horizon 20 ans des émissions de GES des principaux leviers d'action en France métropolitaine



Produire plus de biomasse dans les scénarios S3 et S4 a une contrepartie lourde sur le plan de la consommation d'eau, VS S1 et S2

Consommation d'eau pour l'irrigation
(Mds m³ / an, 2018-50 - scénarios ADEME)

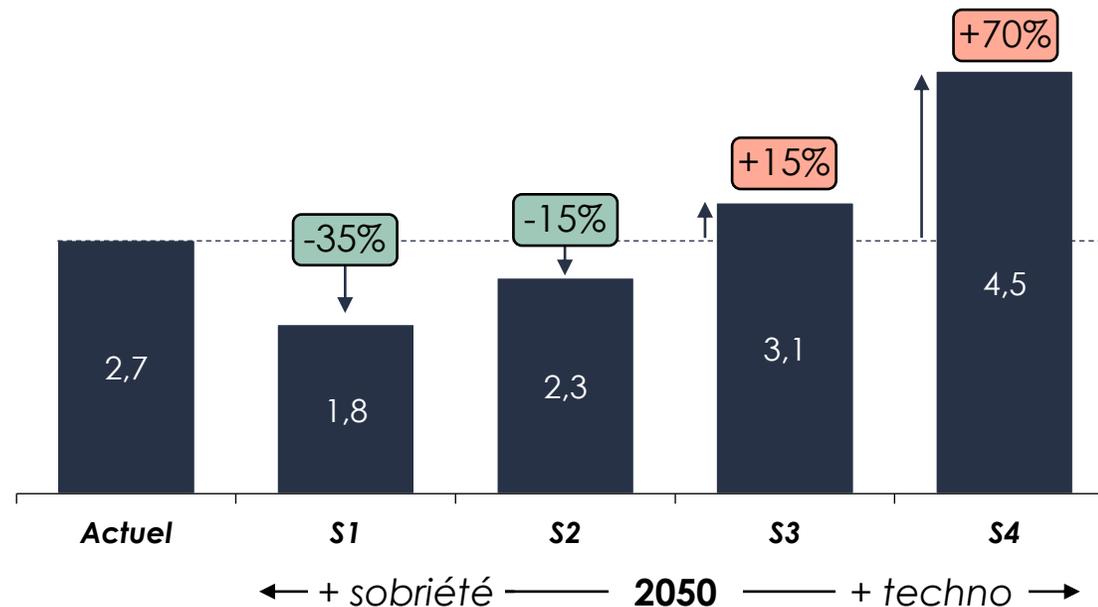


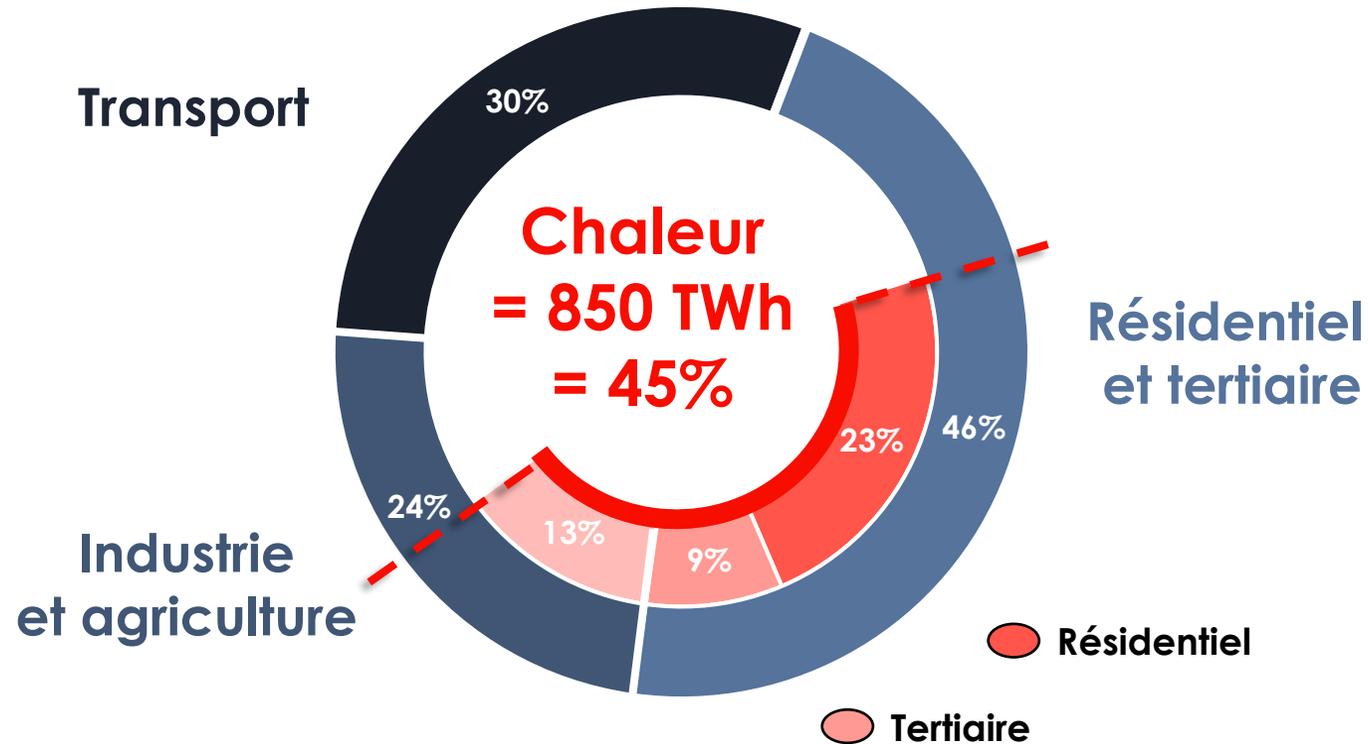
Tableau de bord à 5 indicateurs : bioénergies

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	Usages →		1 MWh carburant liquide		1 MWh gaz	1 MWh d'électricité	
		1 MWh gaz	1 MWh bois	Biocarburant 1 ^e Gén.	Biocarburant 2 ^e Gén.	Biométhane	Nucléaire existant	Photovoltaïque (sol, toitures)
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	Gaz naturel ~200	Bois ~20	100 à 800	40 à 150	~40	~10	~40 <i>Baisse à venir</i>
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Terres rares prochaine génération ?
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,1	500	250	250	250	0,1	10
Coûts complets	€	40 à 100€	40 à 80€	50 à 90€	80 à 200€	80 à 100€	40 à 70€	40 à 180€
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%	> 90% <i>70% pour les matériaux</i>	70% <i>Relocaliser ?</i>	Pas encore mature	> 90%	> 90%	70% <i>Relocaliser, recycler ?</i>
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Climat : feux, sécheresses	Alimentation Climat : rendement	Climat : rendement	Risque de pollution locale Climat : rend.	Risque accident Déchets Climat : eau	Variable

Chaleur bas-carbone, la grande oubliée

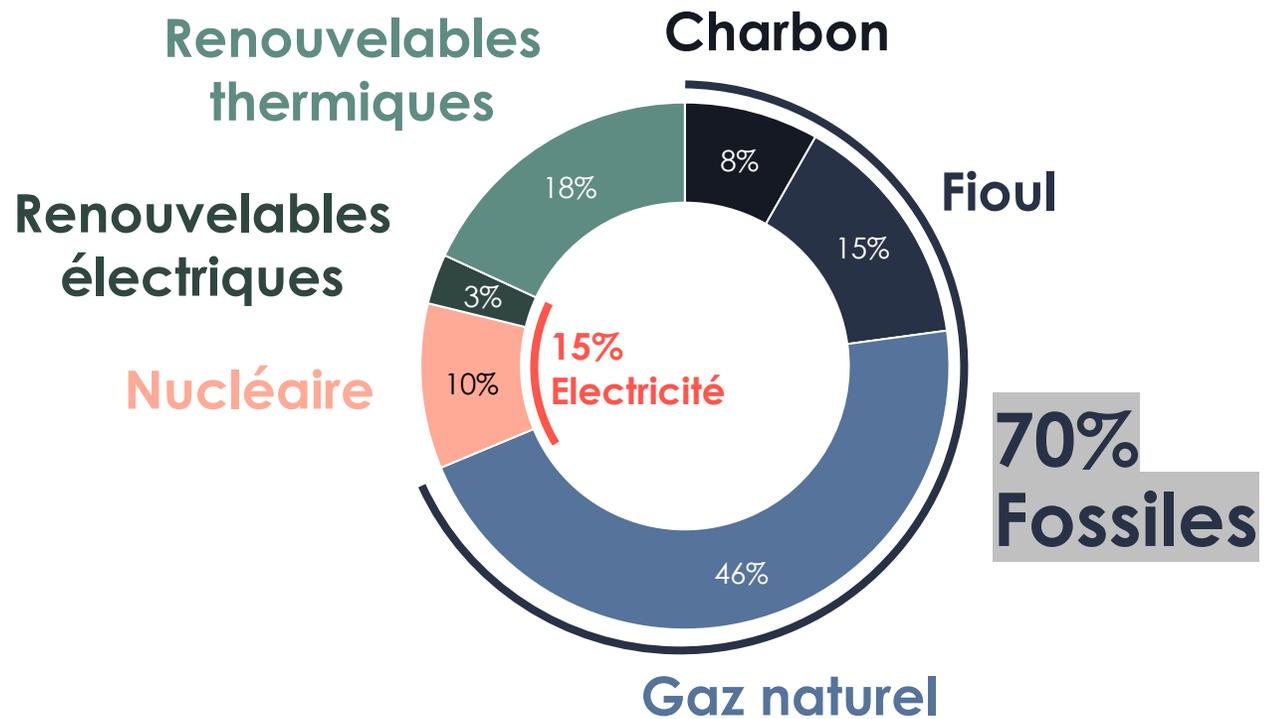
45% de l'énergie est consommée sous forme de chaleur

Usages chaleur dans la consommation d'énergie finale en France
(%TWh, 2019, hors usages non énergétiques)



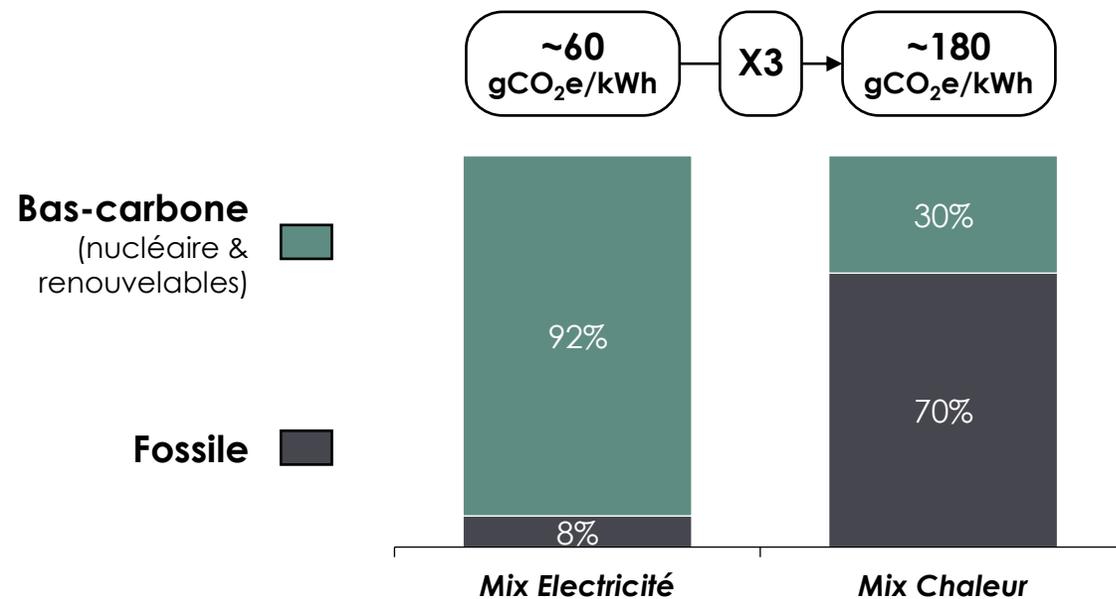
70% de la chaleur est produite à partir d'énergies fossiles

Energies consommées pour des usages chaleur en France
(% TWh, 2019, hors usages non énergétiques)



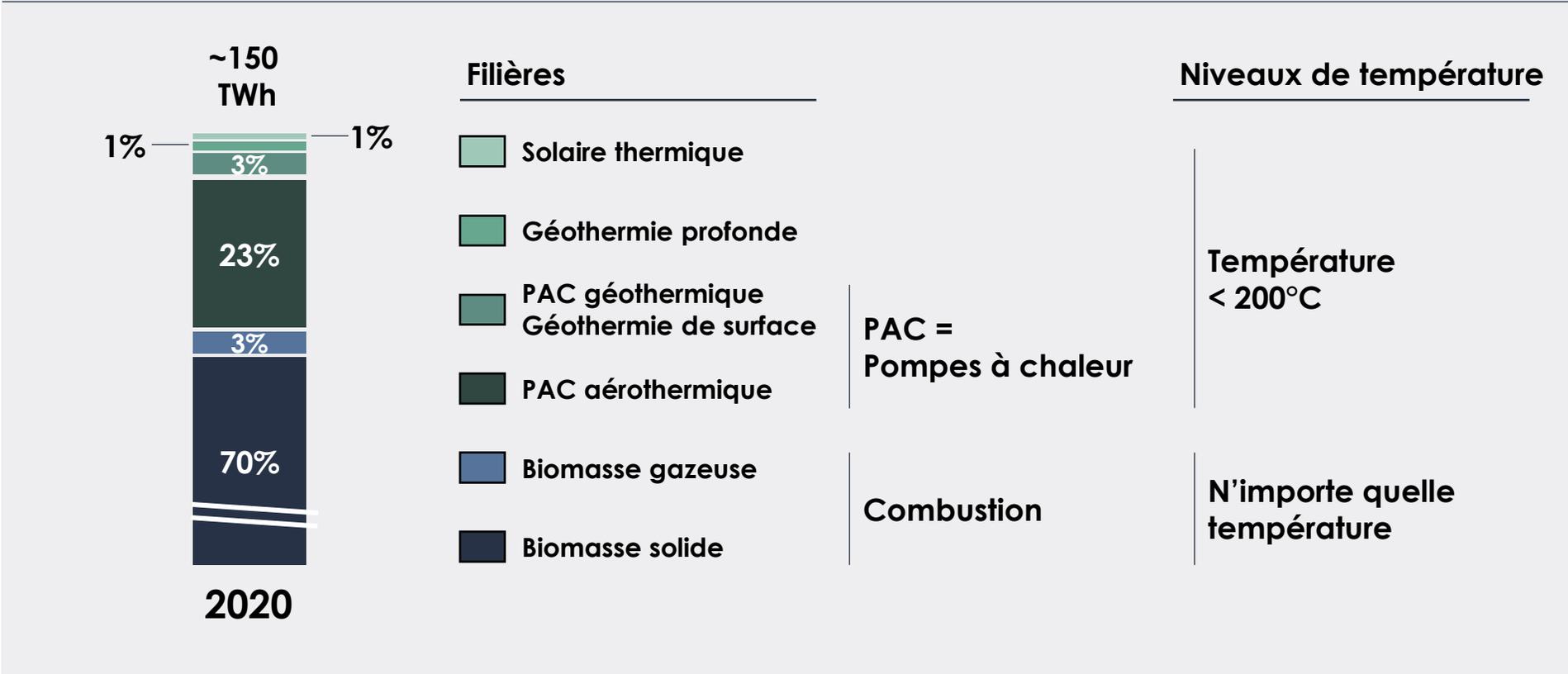
Une chaleur carbonée, oubliée des pouvoirs publics

Part fossile VS bas-carbone dans l'électricité et la chaleur (% TWh, 2019)



Chaleur renouvelable / renouvelables thermiques : quelles filières de production ?

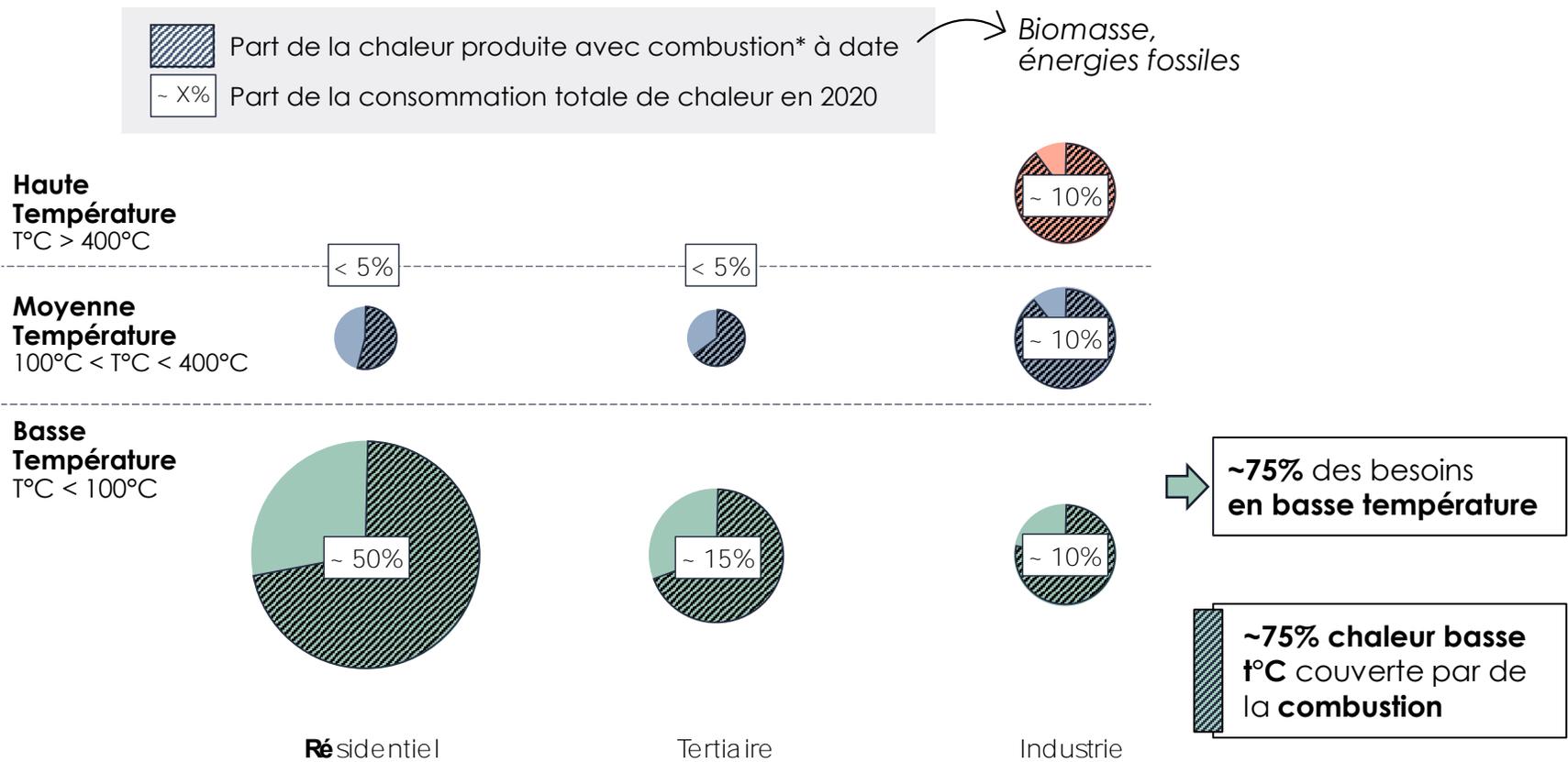
Filières de production de chaleur renouvelable (2020, % TWh)



Pour les PAC, seules les calories puisées dans l'environnement sont comptabilisées
 Périmètre géographique : France métropolitaine continentale (champ défini par la PPE)
 Source : Panorama de la chaleur renouvelable, ADEME 2019, 2020, 2021, PPE, analyse Carbone 4

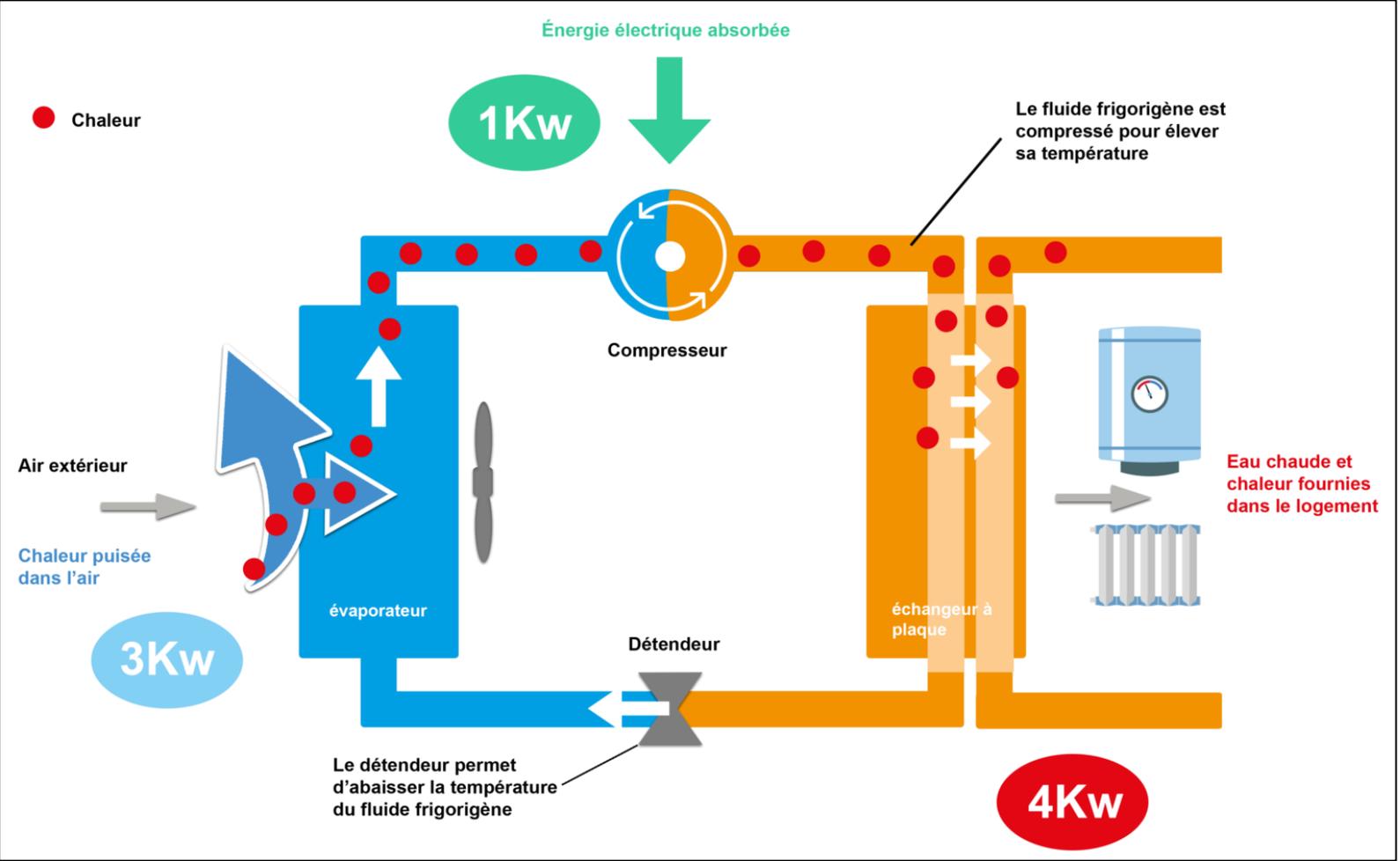
Les besoins basse température représentent l'essentiel des besoins en chaleur, particulièrement dans le résidentiel et le tertiaire

Répartition des besoins de chaleur par température et par secteur en France (2020)

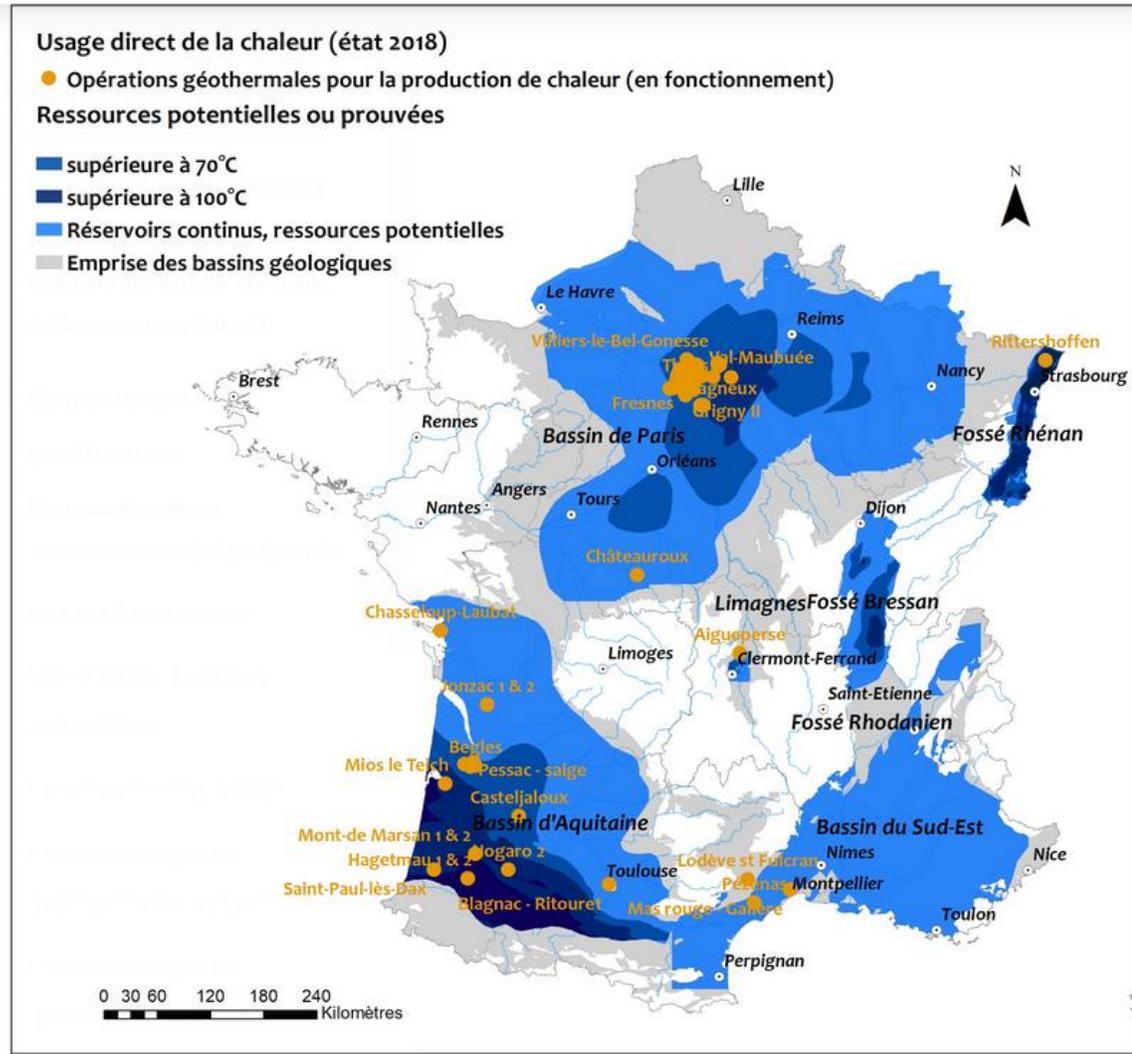


*Sources renouvelables incluses. Sources : Consommations d'énergie par usage du résidentiel (2020, SDES), Consommation énergétique du secteur tertiaire (CEREN, 2020), Données sur l'énergie dans l'industrie (CEREN, 2016), Répartition par secteur de la consommation finale de l'industrie (SDES, 2019), Heating without global warming (IEA), analyse Carbone 4

La pompe à chaleur aérothermique : principe de fonctionnement



La géothermie



Sources : <https://www.geothermies.fr/les-technologies-de-geothermie-profonde> ;
https://www.carbone4.com/files/Publication_Carbone_4_Chaleur_renewable.pdf

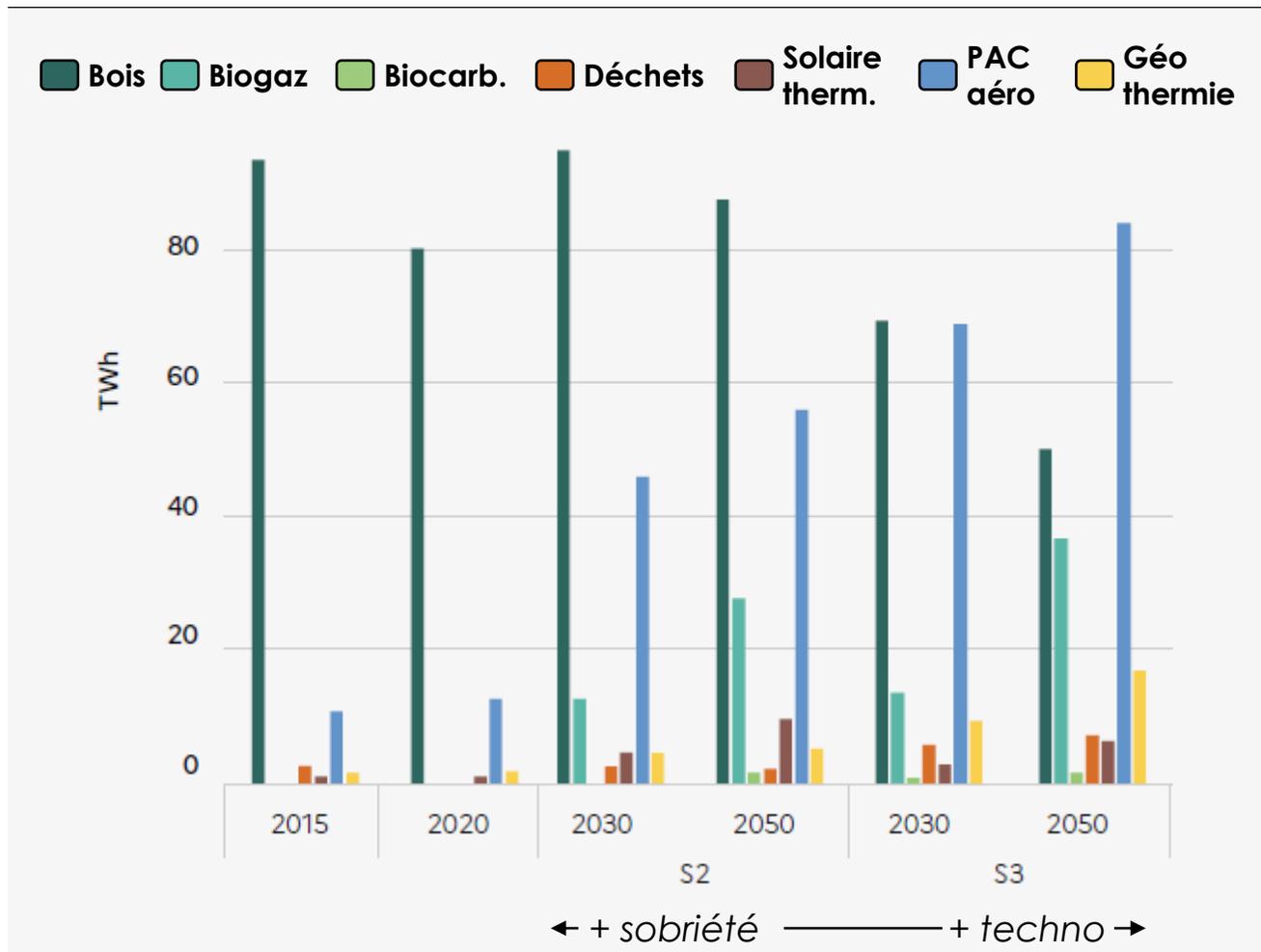
Tableau de bord à 5 indicateurs : chaleur

Usages →

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	1 MWh chaleur						1 MWh élec.
		Gaz naturel	Bois	Biométhane	PAC (aéro et géo)	Géothermie profonde	Solaire therm. (sol, toitures)	Photovoltaïque (sol, toitures)
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	~200	~20	~40	~30	~10	~20	~40 <i>Baisse à venir</i>
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Terres rares prochaine génération ?
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,1	500	250	0,1 <i>Mix élec</i>	<1	5	10
Coûts complets	€	40 à 100€	40 à 80€	80 à 100€	30 à 100€	20 à 80€	40 à 200€	40 à 180€
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%	> 90% <i>70% pour les matériaux</i>	> 90%	80% <i>Relocaliser ?</i>	> 90%	> 90%	70% <i>Relocaliser, recycler ?</i>
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Climat : feux, sécheresses	Risque de pollution locale Climat : rend.	Fluide frigorigène	Risque de pollution locale	Variable	Variable

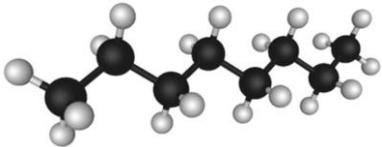
Chaleur renouvelable dans les scénarios de l'ADEME : une biomasse globalement stable, avec un essor des PAC aérothermiques

Évolution prod. chaleur renouvelable hors réseaux - scénarios ADEME



L'hydrogène, illusions perdues ?

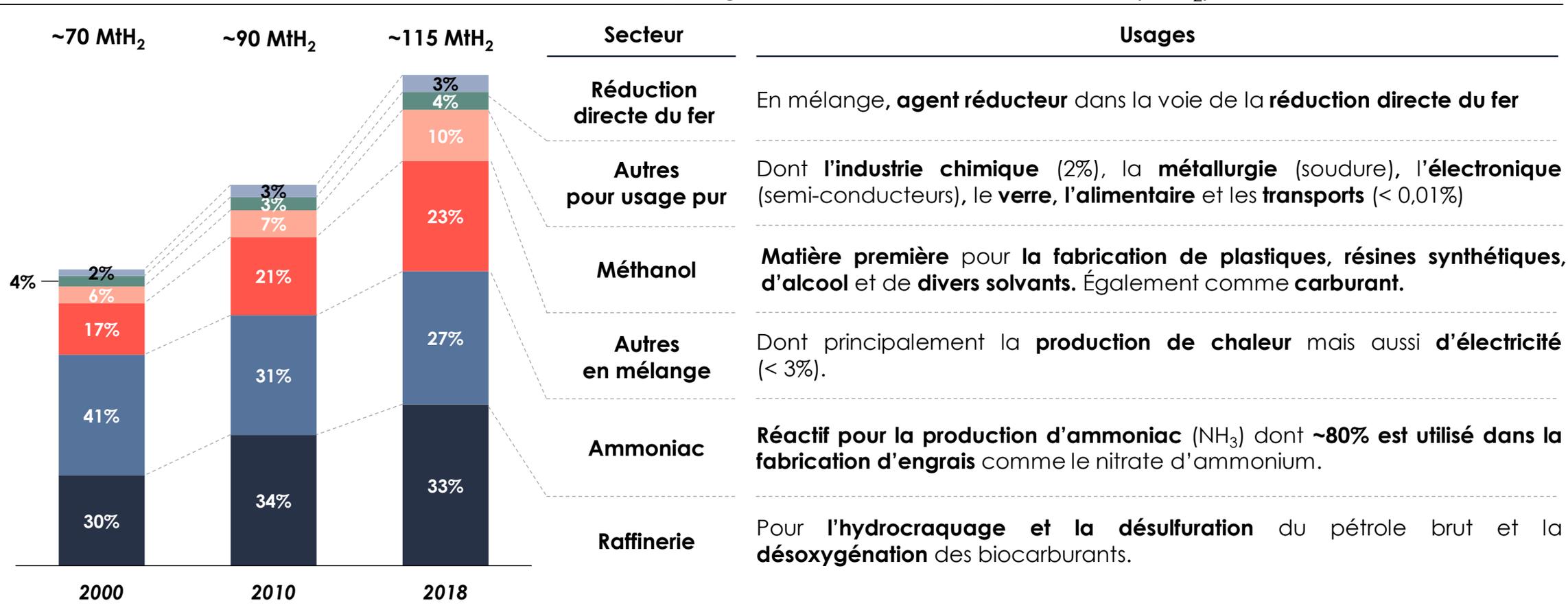
L'hydrogène contient 3 fois plus d'énergie que l'essence à masse équivalente, mais il faut le concentrer pour l'utiliser

	Essence	Méthane	Hydrogène
Molécule	 <p>C_8H_{18}</p>	 <p>CH_4 (Gaz naturel)</p>	 <p>H_2</p>
Densité massique à 15°C ambiante ¹ (kg/m ³)	<p>750 kg/m³</p> <p>Enorme avantage : dense à température ambiante</p>	<p>0.7 kg/m³</p> <p>Il faut concentrer le gaz (compression, liquéfaction) pour l'utiliser</p>	<p>0.1 kg/m³</p> <p>Il faut concentrer le gaz (compression, liquéfaction) pour l'utiliser</p>
Densité énergétique (kWh/kg)	<p>13 kWh/kg</p> <p>Liquide à 15°C 1.3 litres = 1 kg</p>	<p>15 kWh/kg</p> <p>Liquide à -162°C 2.4 litres = 1 kg</p>	<p>33 kWh/kg</p> <p>Liquide à -253°C 14 litres = 1 kg</p>

(1) 15 degrés Celsius / 1 bar
Sources: analyse Carbone 4

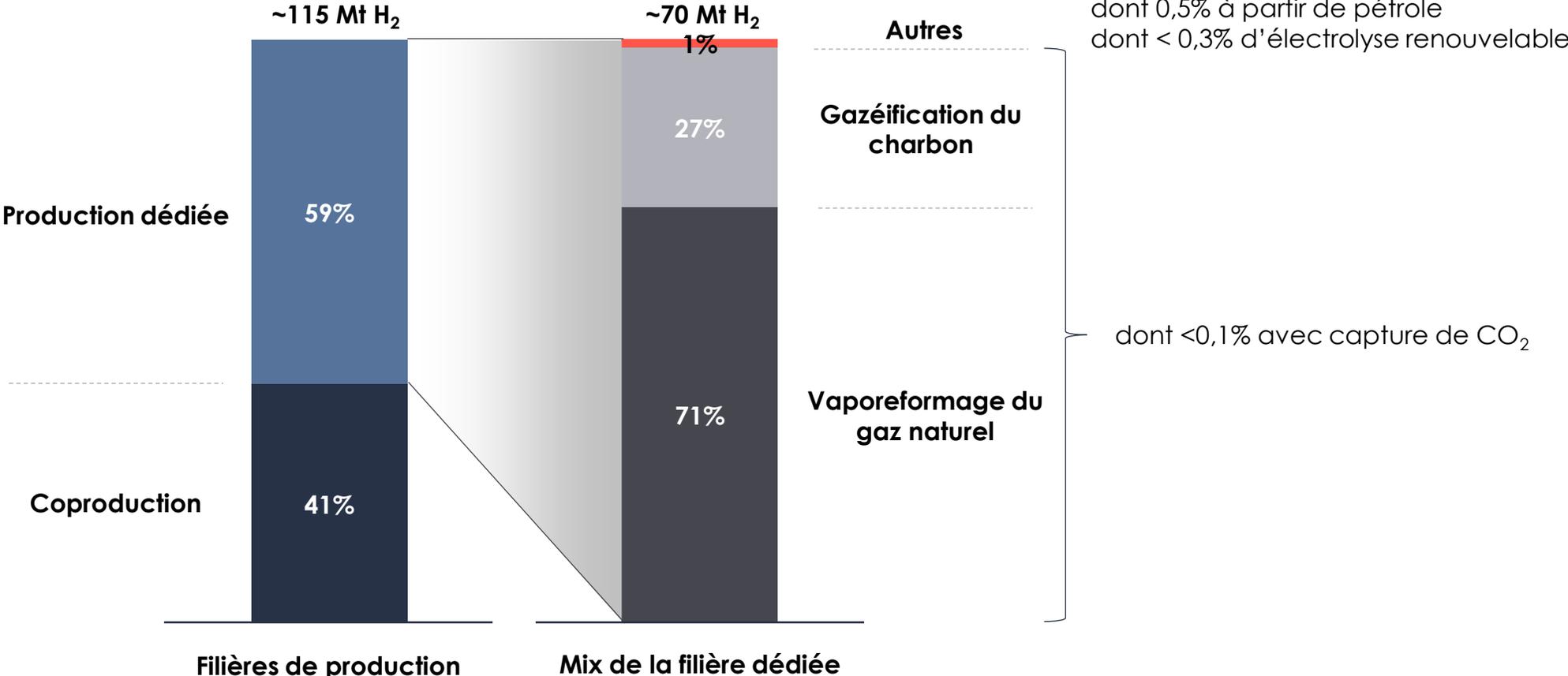
Au niveau mondial, l'hydrogène est utilisé exclusivement dans les industries, majoritairement comme réactif

Évolution de la demande d'Hydrogène dans le monde par secteur (MtH₂)



La grande majorité de la production dédiée d'hydrogène est issue de gaz naturel et charbon

Production d'Hydrogène dans le monde en 2018 par filière (MtH₂) et mix de production de la filière dédiée

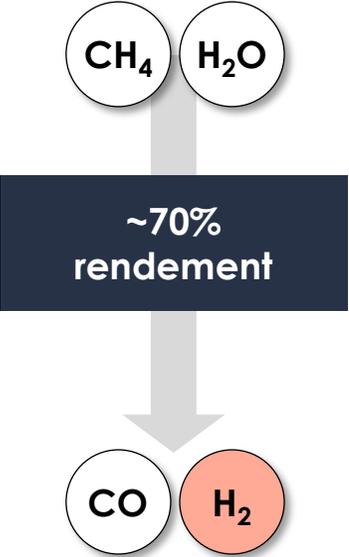


Source : The Future of Hydrogen, AIE 2019

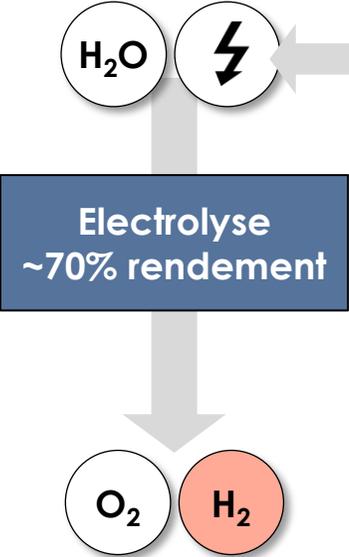
Produire de l'hydrogène par électrolyseur est peu efficace d'un point de vue énergétique

D'une production fossile à la production électrique

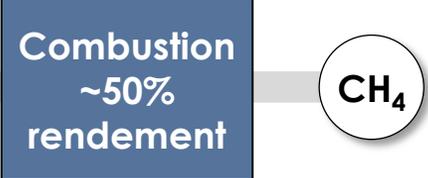
Vaporeformage du gaz naturel



Electrolyseur

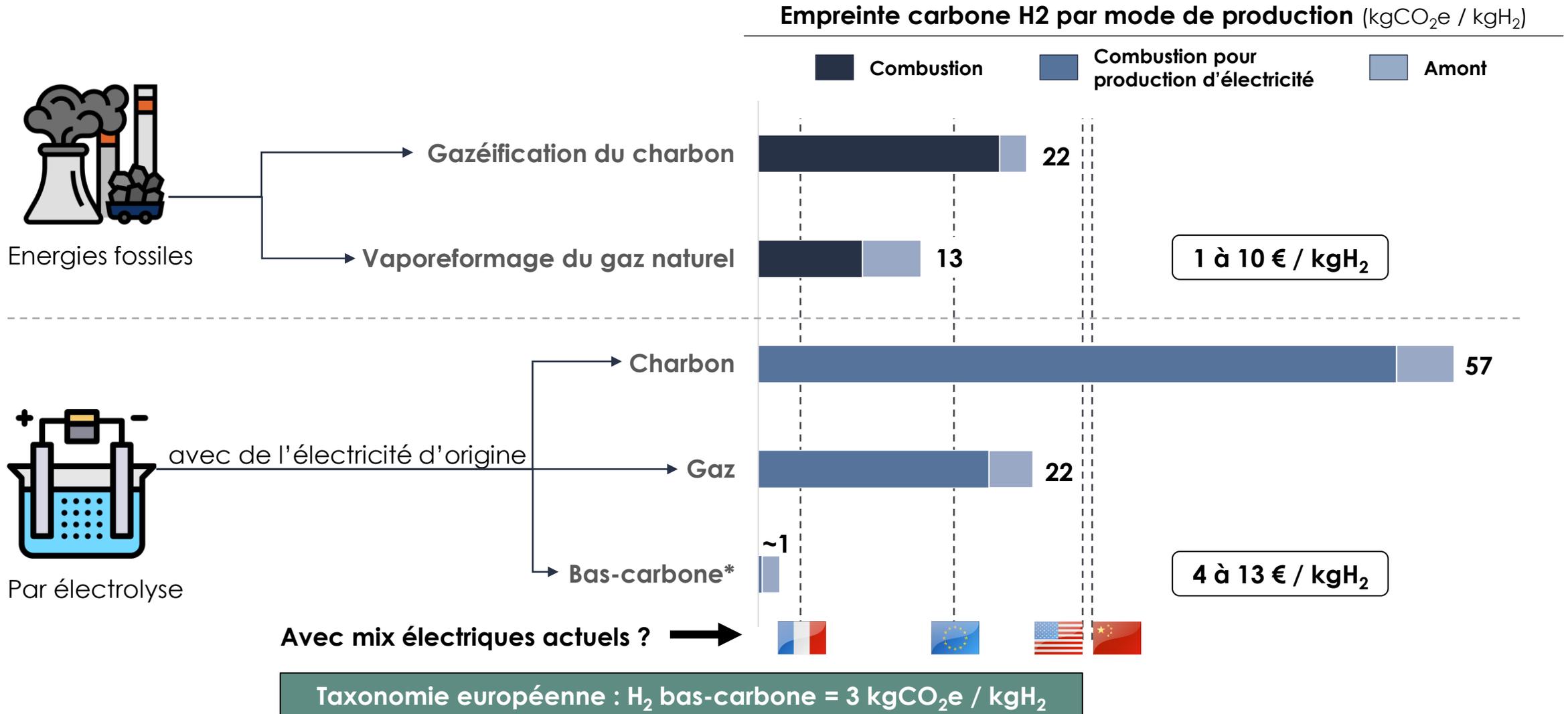


Centrale électrique



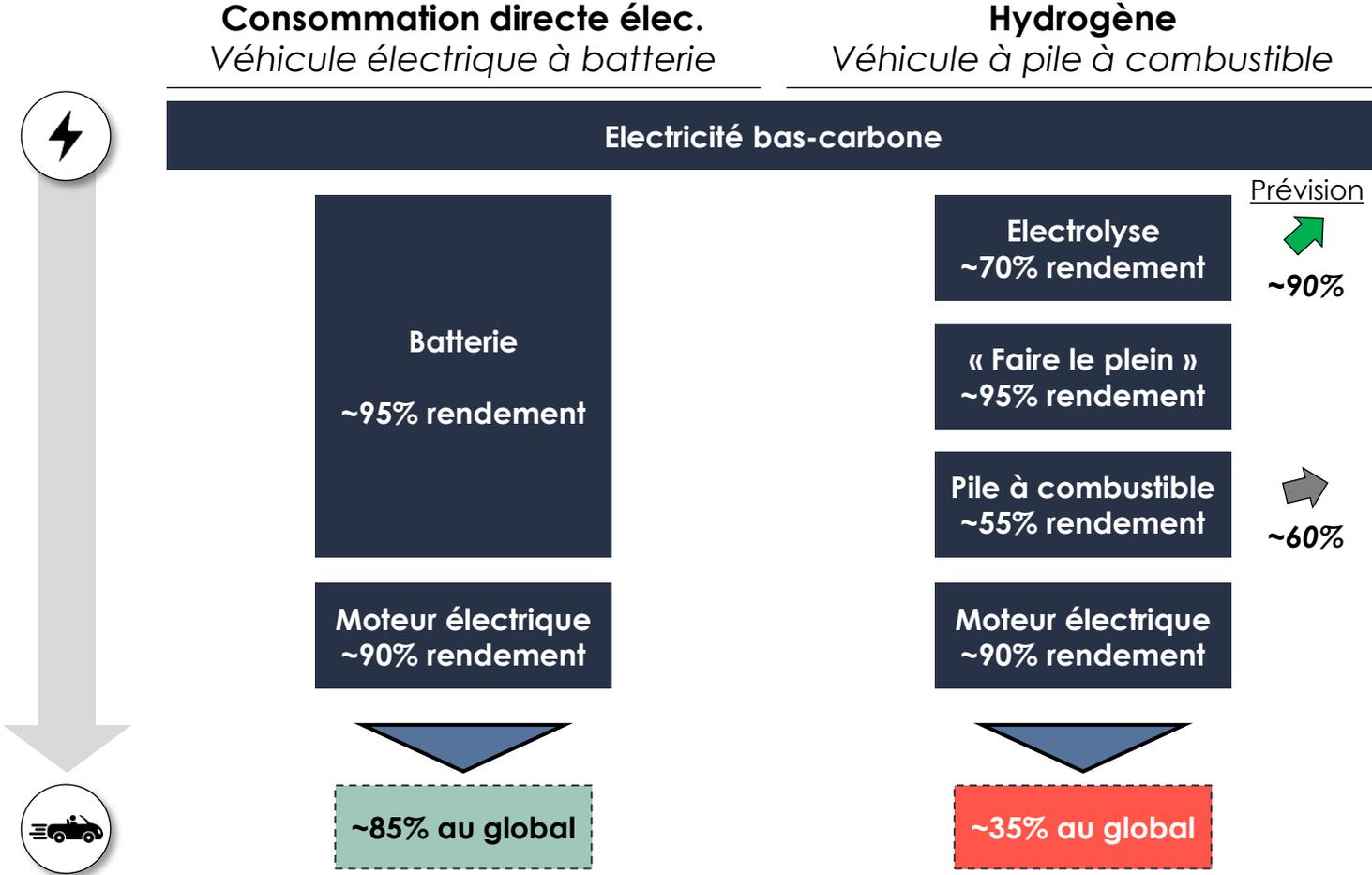
Au global, ~35% rendement

Des empreintes carbone très disparates selon le moyen de production



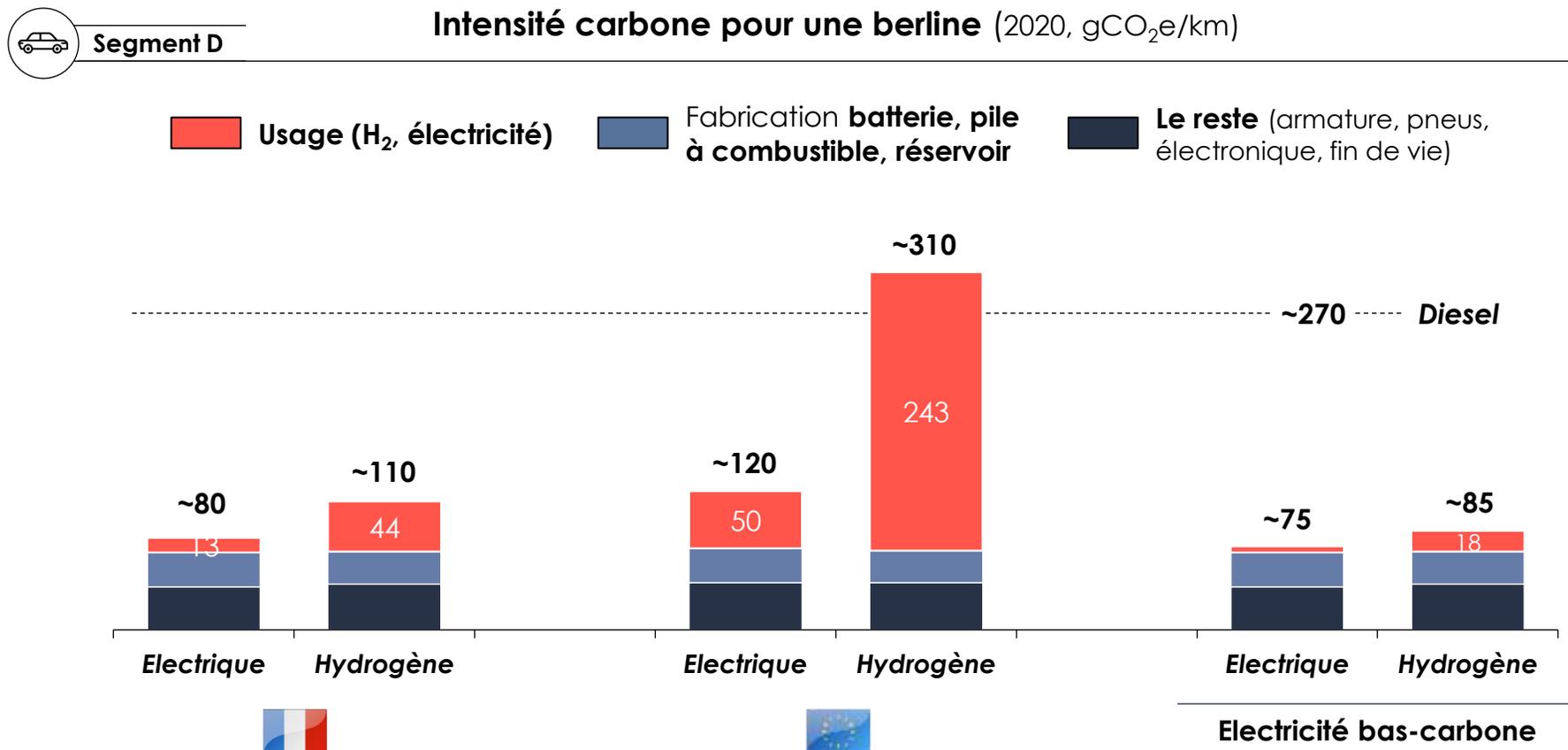
*Bas-carbone : éolien, solaire PV, hydraulique, nucléaire ; sources : ADEME, analyse Carbone 4

Illustration mobilité électrique : l'efficacité énergétique de l'hydrogène se détériore encore plus quand on intègre l'usage aval



Sources : Transport & Environment, <https://www.carbone4.com/publication-hydrogene-bas-carbone>

Cette inefficacité énergétique globale de l'H2 rend l'alternative 100% électrique, si elle existe, toujours plus performante



Note : électrique = voiture électrique à batterie ; hydrogène = voiture avec pile à combustible

Sources : Carbone 4, <https://www.carbone4.com/files/wp-content/uploads/2020/12/Transport-Routier-Motorisations-Alternatives-Publication-Carbone-4.pdf>

Regardons 11 usages parmi 3 secteurs clés

Industrie	Transports	Énergie
Production d'ammoniac	Maritime	Consommation en mélange dans les réseaux de gaz
Production de méthanol	Aérien	Stockage pour le système électrique
Production d'acier	Routier : camions	Raffinage
Usage chaleur	Ferroviaire	

Analyse intra-sectorielle : Industrie

L'intérêt de l'H₂ bas-carbone (3 kgCO₂e/kgH₂) est évalué selon le potentiel de décarbonation, l'horizon temporel pertinent et la présence ou non de solutions concurrentes plus performantes pour décarboner.

Segment		Pertinence de l'H ₂ bas-carbone	Pouvoir unitaire de décarbonation ¹	Horizon temporel ²	Alternatives décarbonantes, complémentaires ou concurrentes
Industrie	Production d'ammoniac	✓	~73%	⌚	<ul style="list-style-type: none"> • CCS sur le site de production
	Production de méthanol	✓	~70%	⌚	
	Acier : DRI à l'H ₂	✓	~76%	⌚ ⌚	<ul style="list-style-type: none"> • CCS sur le site de production • Recyclage de la ferraille par four électrique • Réduction directe « gas based »
	Acier : injection dans BF-BOF	✗	~14%	⌚	
	Chaleur haute t°C	✓ / ~	~55%	⌚ ⌚	<ul style="list-style-type: none"> • Electricité directe (ex : four) • Biomasse

Légende :



Solution déployable à ... court terme



moyen terme

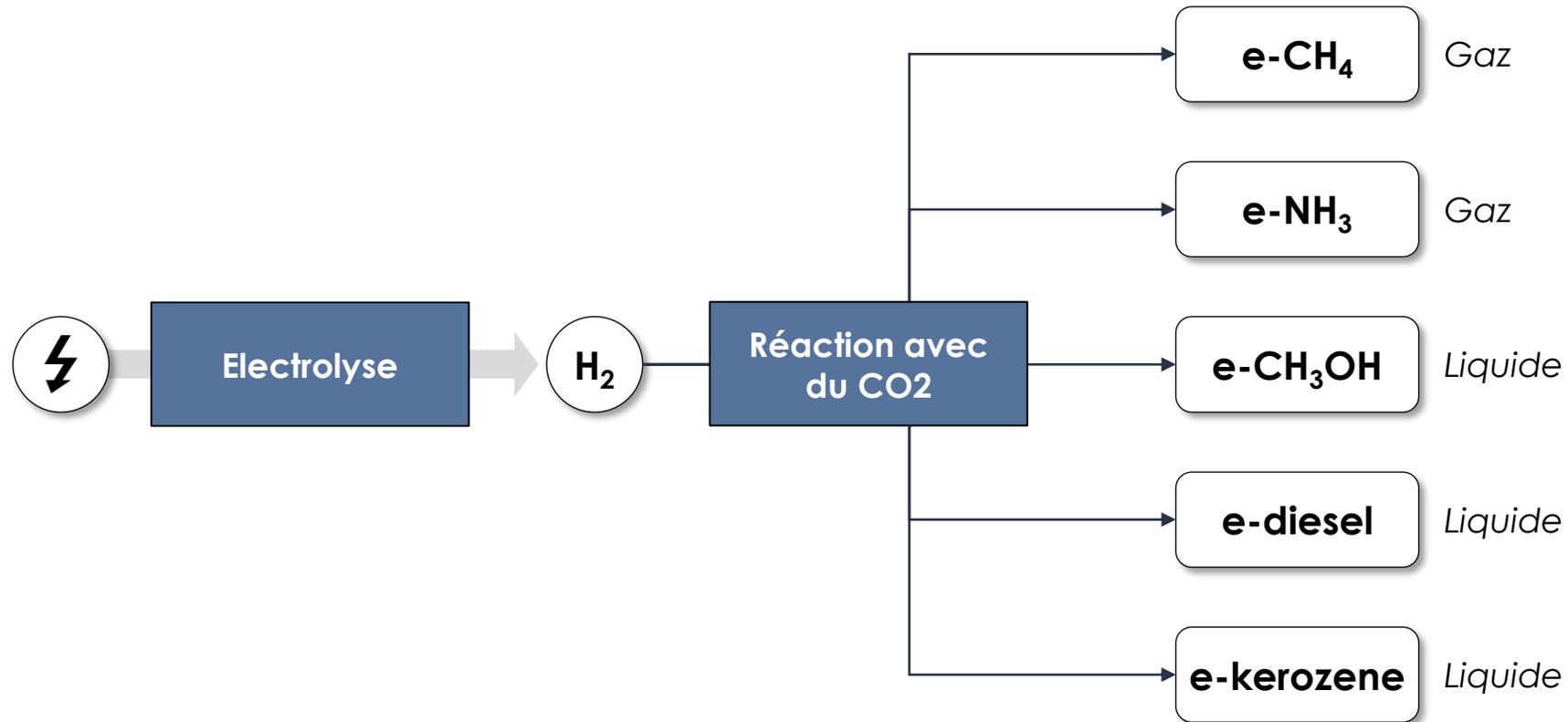


long terme

(1) Le pouvoir unitaire de décarbonation est calculé par rapport à une situation de référence qui est majoritaire au sein du segment analysé.

(2) L'horizon temporel pertinent est défini en fonction de la maturité technologique de la solution associée à l'utilisation d'H₂ mais également au contexte (ex : avec le temps, l'activité des raffineries va fortement diminuer donc le besoin en H₂ bas-carbone est défini comme transitoire).

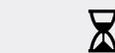
E-fuels = Power-to-X : une base d'électricité, une étape par H₂, pour finir avec une molécule que notre système énergétique consomme déjà



Analyse intra-sectorielle : Mobilité

Légende :

Solution déployable à ...



court terme



moyen terme



long terme

L'intérêt de l'H₂ bas-carbone (3 kgCO₂e/kgH₂) est évalué selon le potentiel de décarbonation, l'horizon temporel pertinent et la présence ou non de solutions concurrentes plus performantes pour décarboner.

Segment	Pertinence de l'H ₂ bas-carbone	Pouvoir unitaire de décarbonation ¹	Horizon temporel ²	Alternatives décarbonantes, complémentaires ou concurrentes	
Mobilité	Ferroviaire	✓ / ~	~78%	🕒 🕒	• Electrification : directe des voies ou batteries
	Camions	~ / ✗	~70%	🕒 🕒	• Batteries • Bioénergies : bioGNV, biocarburants 2G
	Maritime : LH ₂	✗	~66%	🕒 🕒 🕒	
	Maritime : e-ammoniac	~	~39%	🕒 🕒	• Bioénergies : biocarburants liquides 2G et BioGNL 2G
	Maritime : e-méthanol	✓	~50%	🕒	
	Maritime : e-GNL	✓	~53%	🕒	
	Aérien court à moyen courrier : usage direct	✗	~66%	🕒 🕒 🕒	• Batteries
	Aérien : e-fuels	✓	~62%	🕒 🕒	• Biocarburants 2G

(1) Le pouvoir unitaire de décarbonation est calculé par rapport à une situation de référence qui est majoritaire au sein du segment analysé.

(2) L'horizon temporel pertinent est défini en fonction de la maturité technologique de la solution associée à l'utilisation d'H₂ mais également au contexte (ex : avec le temps, l'activité des raffineries va fortement diminuer donc le besoin en H₂ bas-carbone est défini comme transitoire).

Analyse intra-sectorielle : Énergie

L'intérêt de l'H₂ bas-carbone (3 kgCO₂e/kgH₂) est évalué selon le potentiel de décarbonation, l'horizon temporel pertinent et la présence ou non de solutions concurrentes plus performantes pour décarboner.

Segment		Pertinence de l'H ₂ bas-carbone	Pouvoir unitaire de décarbonation ¹	Horizon temporel ²	Alternatives décarbonantes, complémentaires ou concurrentes
Énergie	Raffinage	~	~15%	 Transitoire	• CCS sur le site de production
	En mélange dans les réseaux de gaz	x	~4%		• Biométhane et e-méthane
	Stockage pour le système électrique	Nécessaire si bcp d'EnRv ³	n.a.	 	• Réservoirs hydrauliques

Légende :



Solution déployable à ... court terme



moyen terme



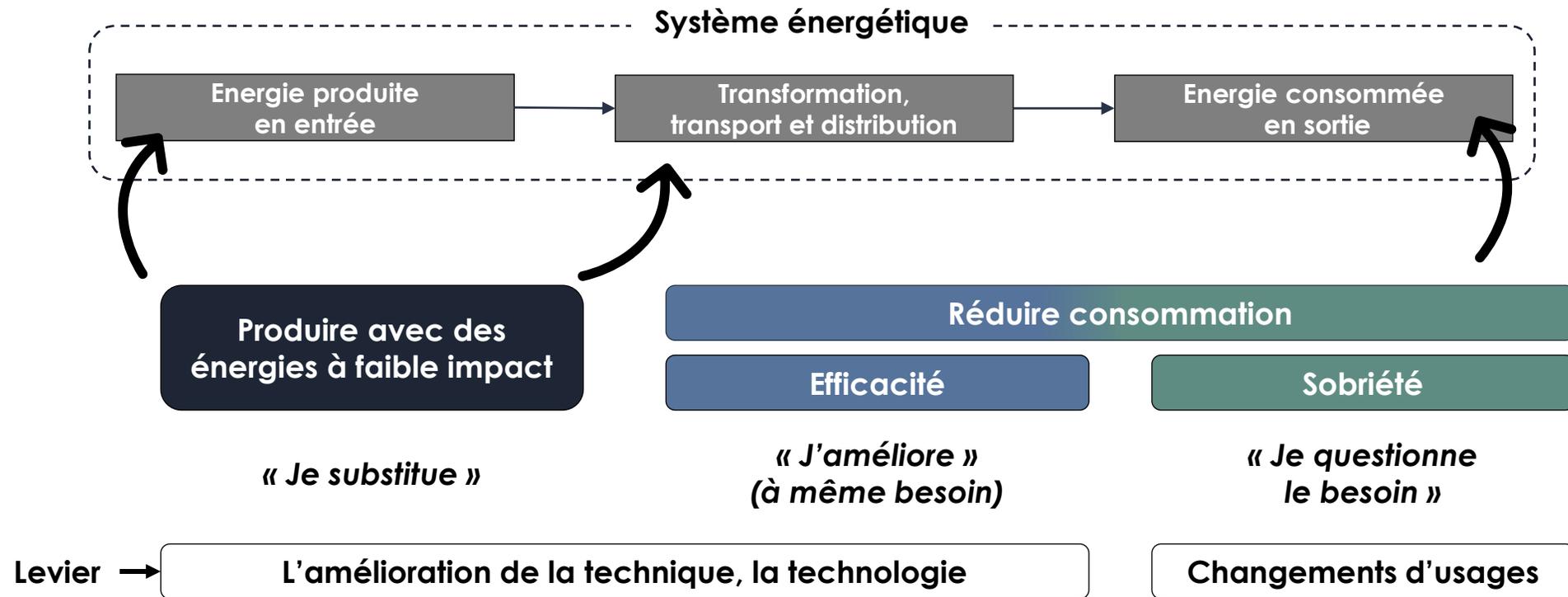
long terme

- (1) Le pouvoir unitaire de décarbonation est calculé par rapport à une situation de référence qui est majoritaire au sein du segment analysé.
 (2) L'horizon temporel pertinent est défini en fonction de la maturité technologique de la solution associée à l'utilisation d'H₂ mais également au contexte (ex : avec le temps, l'activité des raffineries va fortement diminuer donc le besoin en H₂ bas-carbone est défini comme transitoire).
 (3) Énergies renouvelables variables.

Tableau de bord à 5 indicateurs : hydrogène

Indicateurs <i>En cycle de vie</i>	Unités	Usages →						
		1 MWh gaz	1 MWh H ₂	1 MWh chaleur	1 MWh carb. liq.	1 MWh gaz	1 MWh d'électricité	
		Gaz naturel	Hydrogène électrolyse	Bois	Biocarburant 2 ^e Gén.	Biométhane	Nucléaire existant	Photovoltaïque (sol, toitures)
Gaz à effet de serre (énergie)	kgCO ₂ e	~200	85-100 (fuite) Mix électrique Baisse à venir	~20	40 à 150	~40	~10	~40 Baisse à venir
Matériaux critiques	Kg	Non significatif	Platine pile à combustible Mix électrique	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	Terres rares prochaine génération ?
Occupation du sol (biodiversité, acceptabilité)	m ²	0,1	0,1 Mix électrique	500	250	250	0,1	10
Coûts complets	€	40 à 100€	70 à 150€ Mix électrique	40 à 80€	80 à 200€	80 à 100€	40 à 70€	40 à 180€
% valeur ajoutée « locale » (emplois locaux, dépendance NRJ)	%	< 50%	> 90% Mix électrique	> 90% 70% pour les matériaux	Pas encore mature	> 90%	> 90%	70% Relocaliser, recycler ?
Autres enjeux spécifiques	-	Pollution locale Social	Pertinence = usages Inefficace NRJ	Climat : feux, sécheresses	Climat : rendement	Risque de pollution locale Climat : rend.	Risque accident Déchets Climat : eau	Variable

Mix énergétique : seulement une question de technologies ?



Taux de retour énergétique (TRE) : définitions



Energie produite tout au long de la vie de l'actif

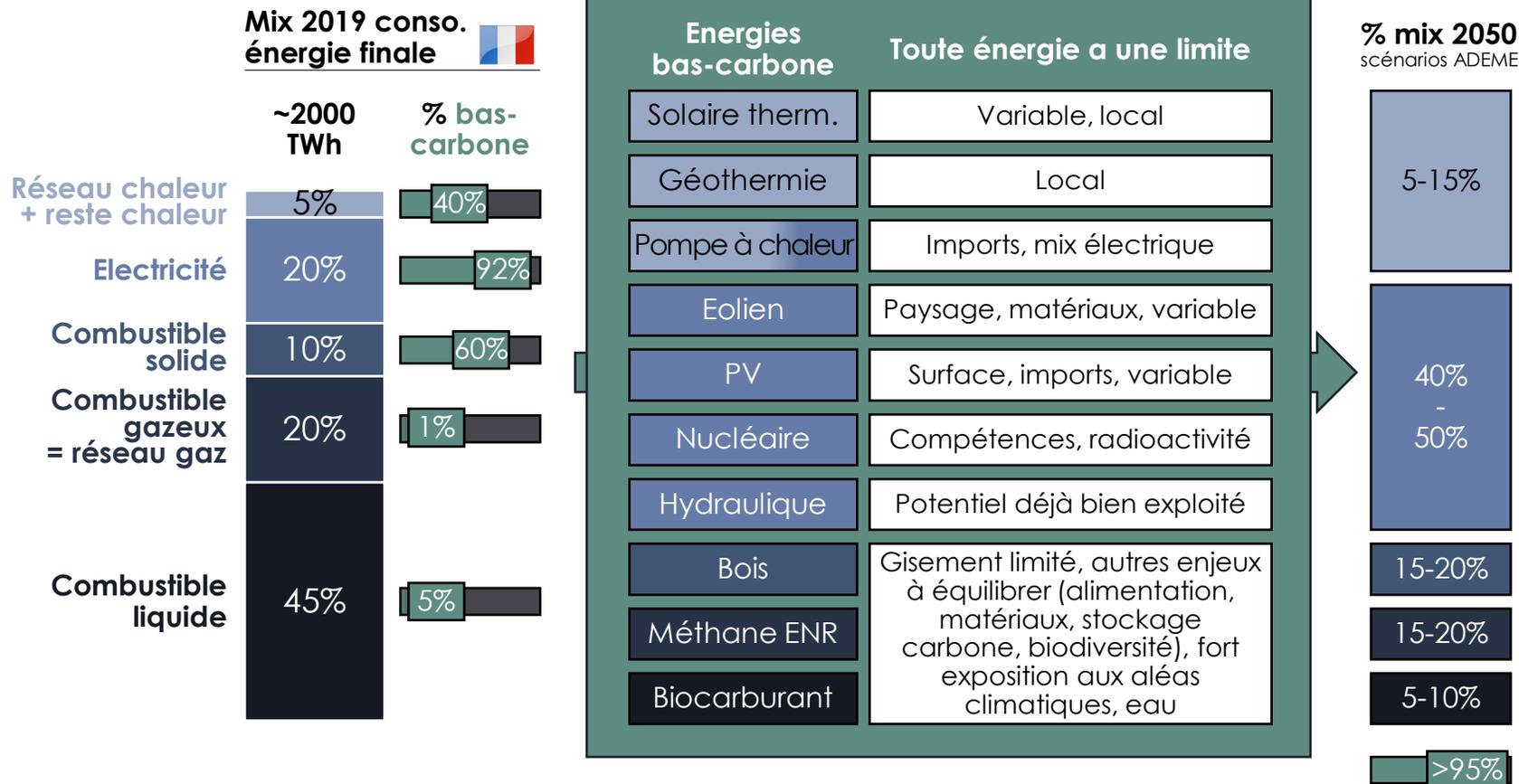
$$\text{Taux de Retour Energétique} = \frac{\text{Energie récupérée}}{\text{Energie investie}}$$



Energie consommée en cycle de vie pour creuser, construire, extraire, fabriquer, etc.

- Si **TRE < 1**, vous dépensez plus d'énergie que vous en récupérez
- **Objectif** : le maximiser en étant économe en énergie sur tout le cycle de vie

Mix 2050 : >95% d'énergies bas-carbone avec leurs limites ; de grands défis à relever pour les réseaux

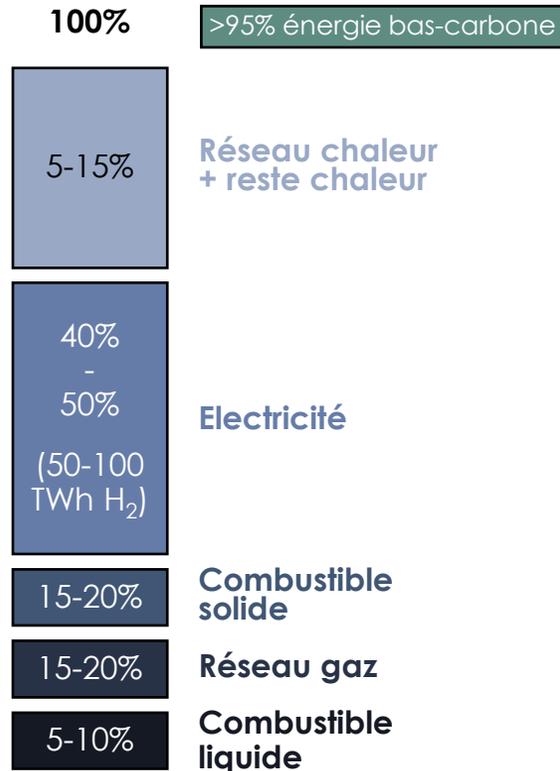


Quel volume d'énergie ?

Notes : mix 2050 en énergie finale ; (1) Scénarios S2 et S3 de l'ADEME
Sources : négaWatt ; Transition(s) 2050, ADEME

Mix 2050 : quelle réduction de la consommation d'énergie ?

Mix énergétique 2050 – scénarios ADEME



S1 GÉNÉRATION FRUGALE

- Recherche de sens
- **Frugalité choisie mais aussi contrainte**
- Préférence pour le local
- Nature sanctuarisée

S2 COOPÉRATIONS TERRITORIALES

- Évolution soutenable des modes de vie
- **Economie du partage**
- Équité
- Préservation de la nature inscrite dans le droit

S3 TECHNOLOGIES VERTES

- **Plus de nouvelles technologies que de sobriété**
- Consumérisme « vert » au profit des populations solvables, société connectée
- Les services rendus par la nature sont optimisés

S4 PARI RÉPARATEUR

- Maintien **consommation de masse**
- La nature est une ressource à exploiter
- Confiance dans la capacité à réparer les dégâts causés aux écosystèmes

+ Sobriété



+ Techno

~800 TWh
-55% (VS 2015)

~825 TWh
-50% (VS 2015)

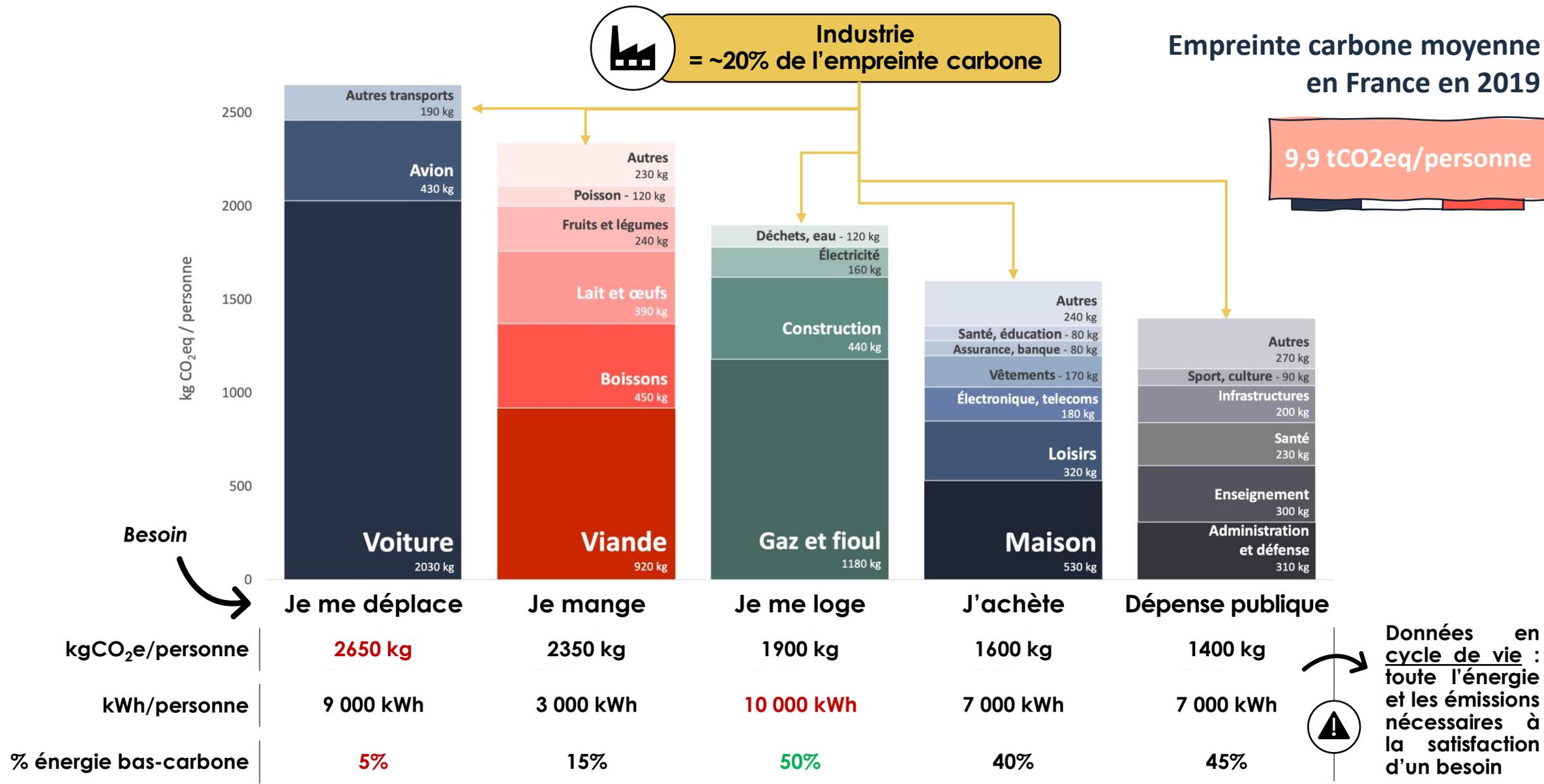
~1075 TWh
-40% (VS 2015)

~1350 TWh
-25% (VS 2015)



Tous les scénarios ne sont pas équivalents : augmentation consommation en eau, artificialisation, exploitation de la forêt

Industrie et consommation de masse

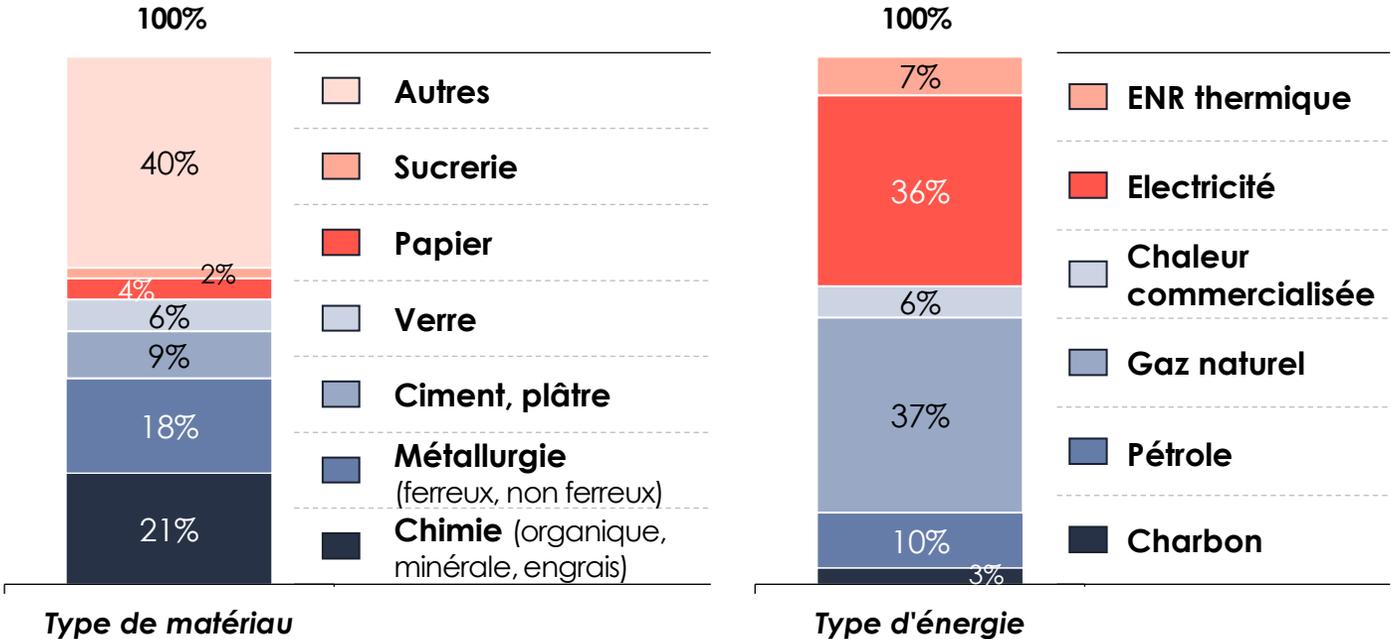


Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).

Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

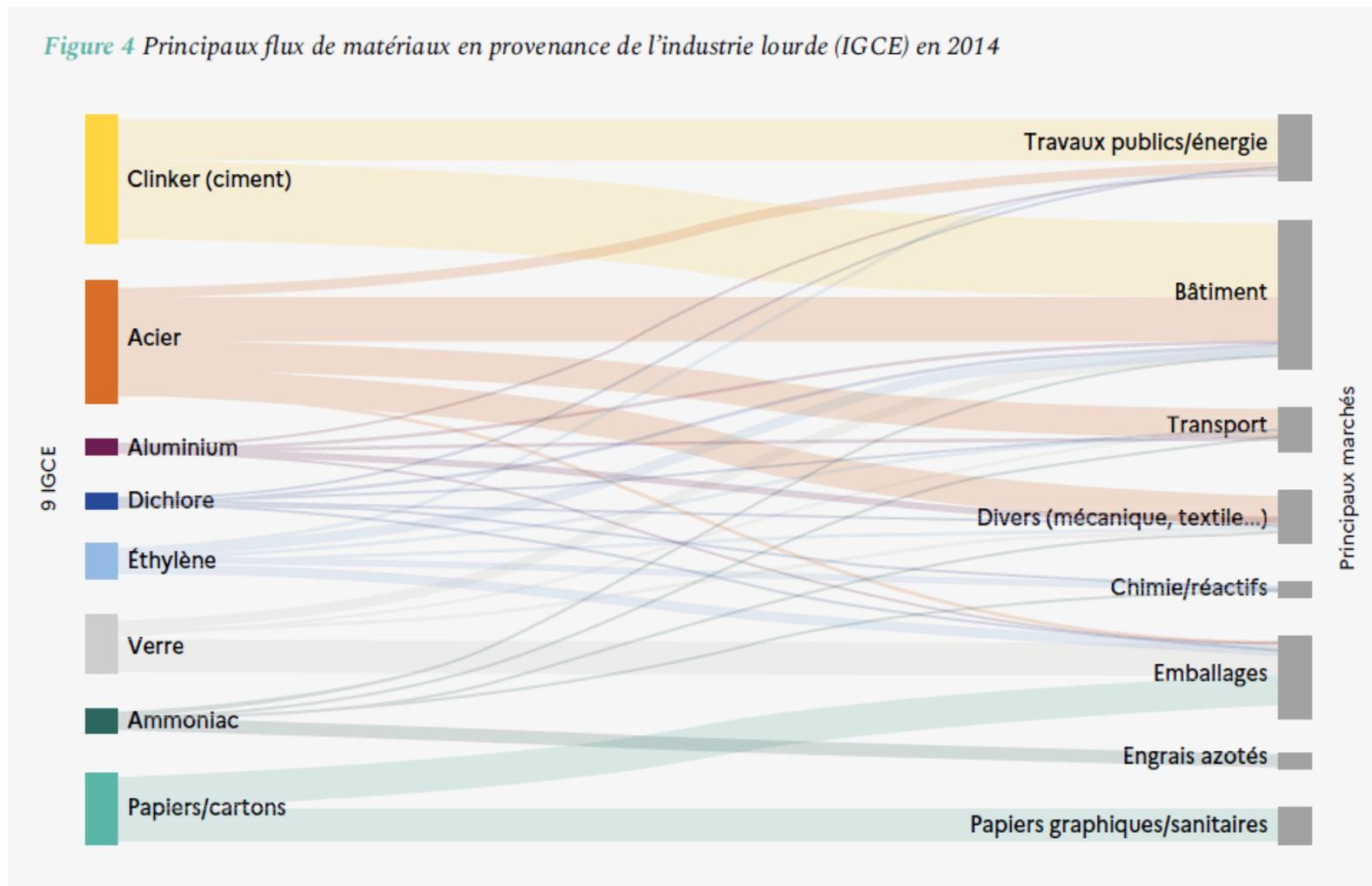
L'industrie, c'est la transformation des matériaux à partir d'énergie

Consommation d'énergie (%)



Note : La segmentation par matériau date de 2016, celle par type d'énergie de 2021
Source : Transition(s) 2050, ADEME ; <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2022/19-bilan-de-lenergie-en-france>

Ces matériaux se retrouvent dans tous les secteurs avals



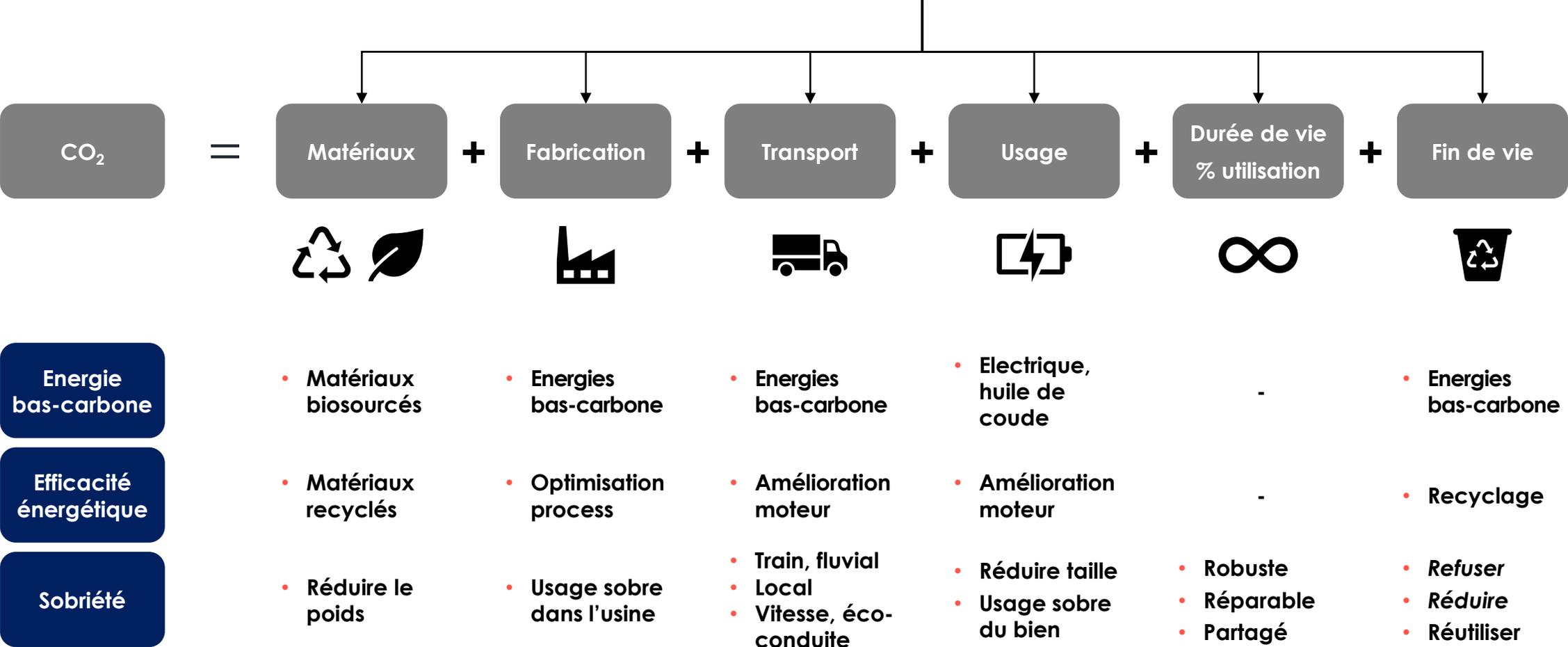
Le solde de notre balance commerciale en biens manufacturés « industriels » est déficitaire depuis plus qq décennies

	Solde commercial	Production	Consommation	P/C
	(Milliards d'euros)			
Habillement, cuir, textile	● -13,1	22,9	36	0,64
Bois & Papier	● -4,1	30	34,1	0,88
Chime	● 11	73,4	62,4	1,18
Pharmacie	● 1,8	38,3	36,5	1,05
Caoutchouc et plastique	● -5,7	34,6	40,3	0,86
Métallurgie & produits métalliques	● -5,8	83,4	89,2	0,93
Informatique, électronique, optique	● -13,7	36,2	49,9	0,73
Équipements électriques	● -3,8	31,8	35,6	0,89
Machines et équipements	● -2,1	48,5	50,6	0,96
Automobile	● -4,5	105,5	110	0,96
Autres matériels de transport	● 20,7	52	31,3	1,66
Meubles et autres	● -8,1	21,8	29,9	0,73

Tableau 5 - Production, consommation et solde commercial (en milliards d'euros) de plusieurs secteurs de l'industrie française en 2014, et ratio production/consommation (P/C)

Alors quoi faire ?

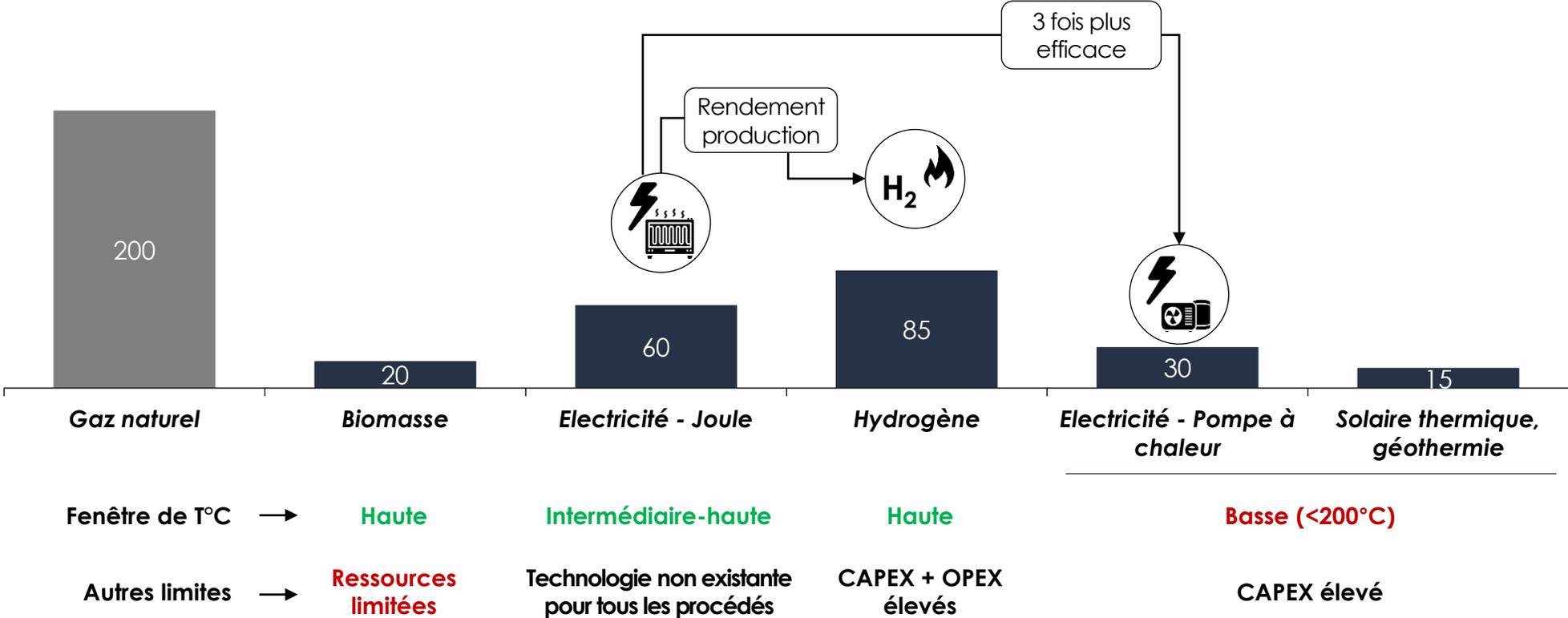
Décomposition des principaux leviers d'émissions (directes et indirectes) d'un bien manufacturé



La biomasse doit être fléchée vers les hautes températures

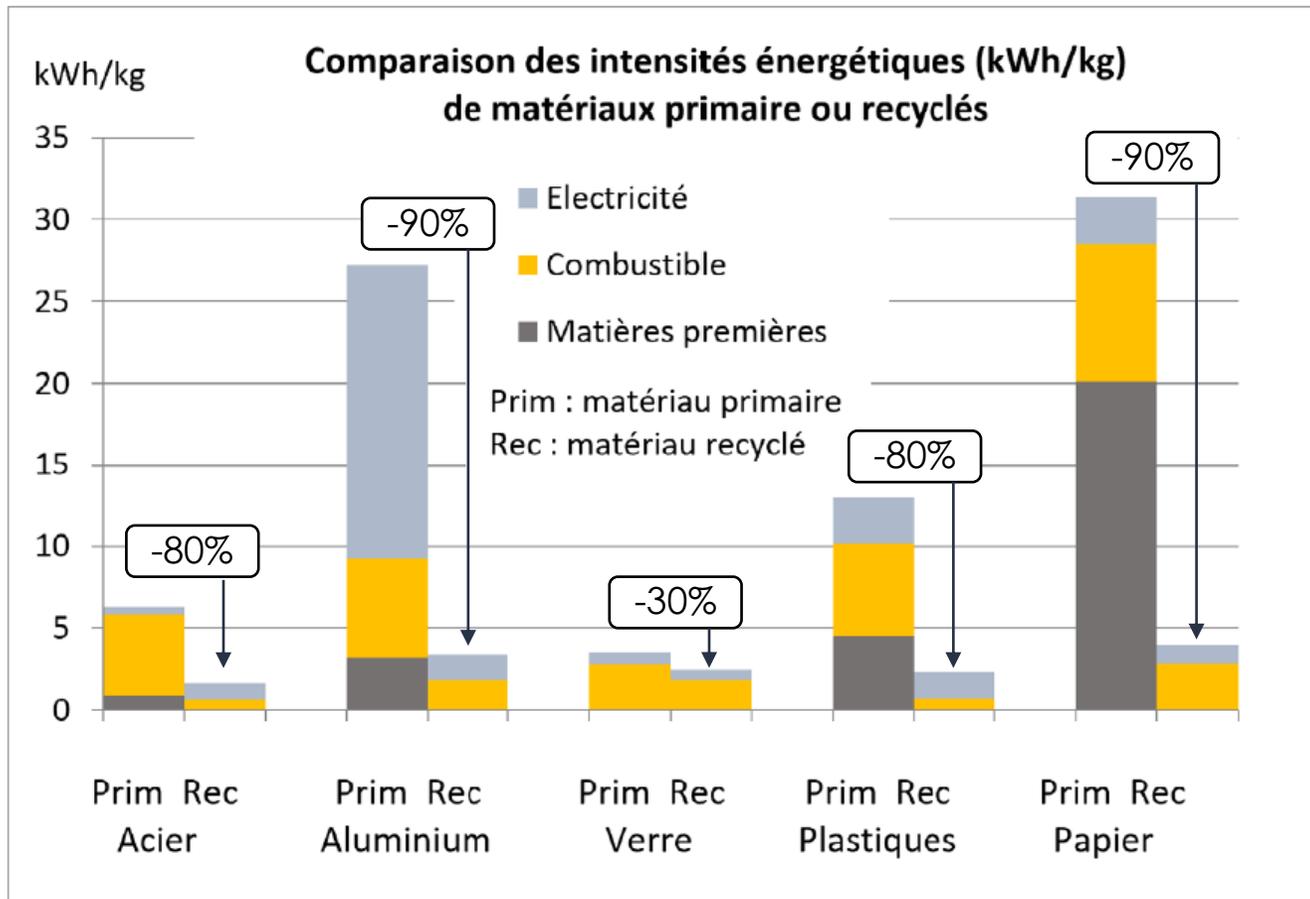
Des solutions alternatives existent pour les basses températures

Impact climatique par type d'énergie pour un usage chaleur (gCO₂e/kWh PCS)



Sources : ADEME, AIE, analyses Carbone 4

Le recyclage permet des réductions significatives de consommation d'énergie



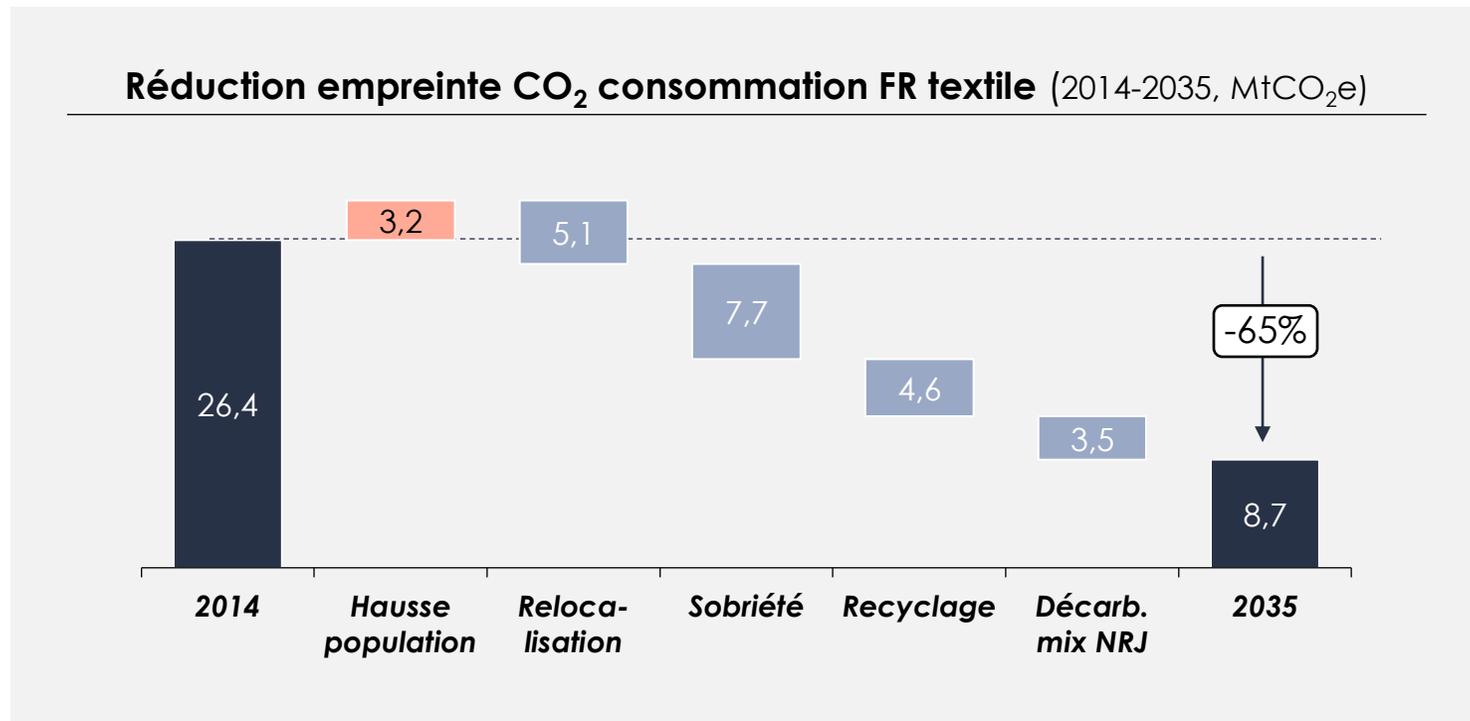
Part matériaux recyclés – négaWatt

	2014	2050	2050
	Réel	Possible	Réel
Acier	43%	80%	80%
Alu	55%	85%	68%
Cuivre	17%	95%	70%
Lithium	0%	90%	77%
Verre creux	57%	80%	50%
Bitume	0%	90%	90%
Lubrifiants	0%	90%	90%
Plastiques	6%	90%	41%

Des marges de progrès mais attention au mythe du 100%

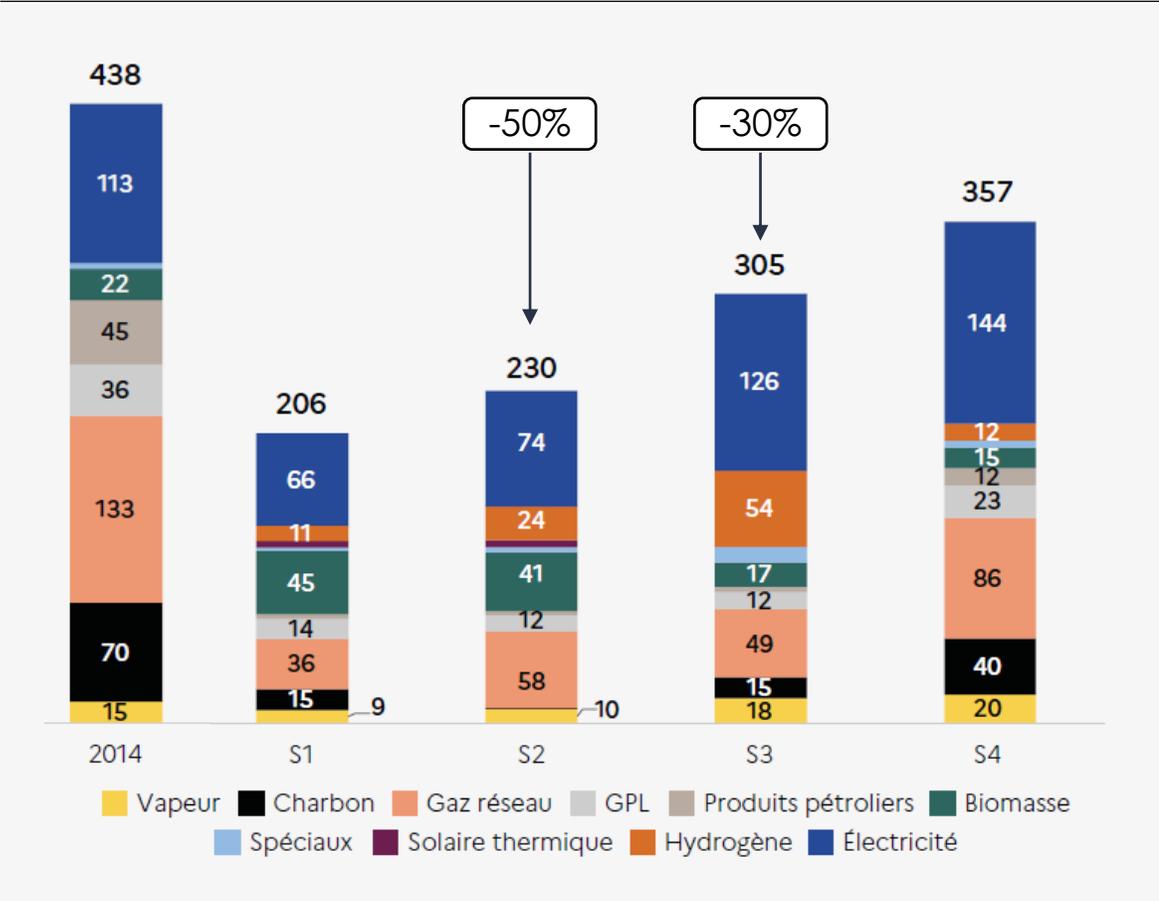
- **Tout n'est pas collectable.** Ex : le titane utilisé dans le dentifrice, pigments de peinture
- **Tout n'est pas recyclable.** Ex : les alliages de métaux : « Complicé de récupérer farine et œufs d'un gâteau »
- **Tout n'est pas recyclable au bon niveau de qualité.** Ex : emballage en carton souillé d'aliments

Textile : négaWatt positionne les différents leviers sur ce secteur

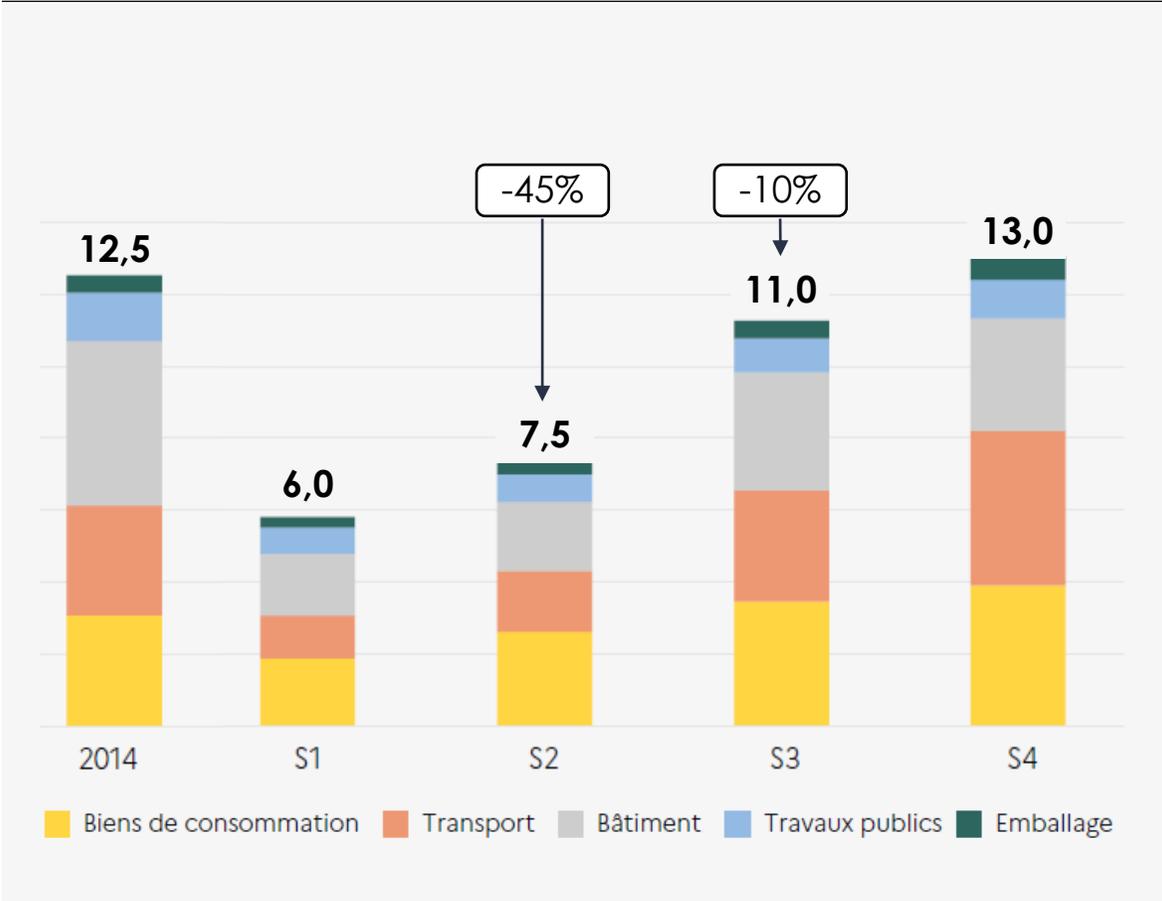


L'industrie en 2050 : sobriété et efficacité permettent de réduire nos consommations entre 30% et 50%

Consommation d'énergie pour l'industrie en 2050 (TWh)



Demande d'acier par secteur en 2050 (Mtonnes)



Notes : consommations d'énergie incluant les usages énergétiques et non énergétiques
Sources : Transition(s) 2050, ADEME

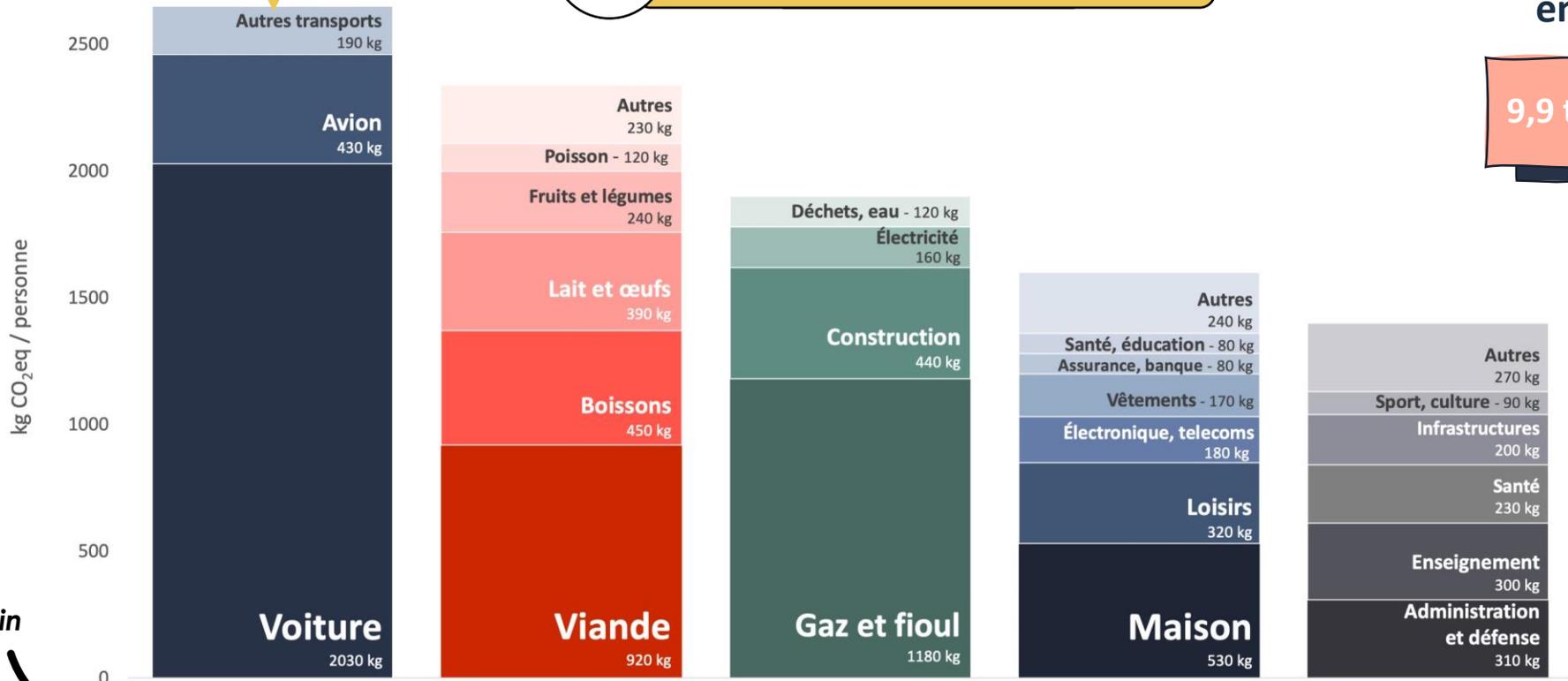
Mobilité courte distance des passagers



Mobilité passagers
= ~25% de l’empreinte carbone

Empreinte carbone moyenne en France en 2019

9,9 tCO₂eq/personne



Besoin



	Je me déplace	Je mange	Je me loge	J'achète	Dépense publique
kgCO ₂ e/personne	2650 kg	2350 kg	1900 kg	1600 kg	1400 kg
kWh/personne	9 000 kWh	3 000 kWh	10 000 kWh	7 000 kWh	7 000 kWh
% énergie bas-carbone	5%	15%	50%	40%	45%



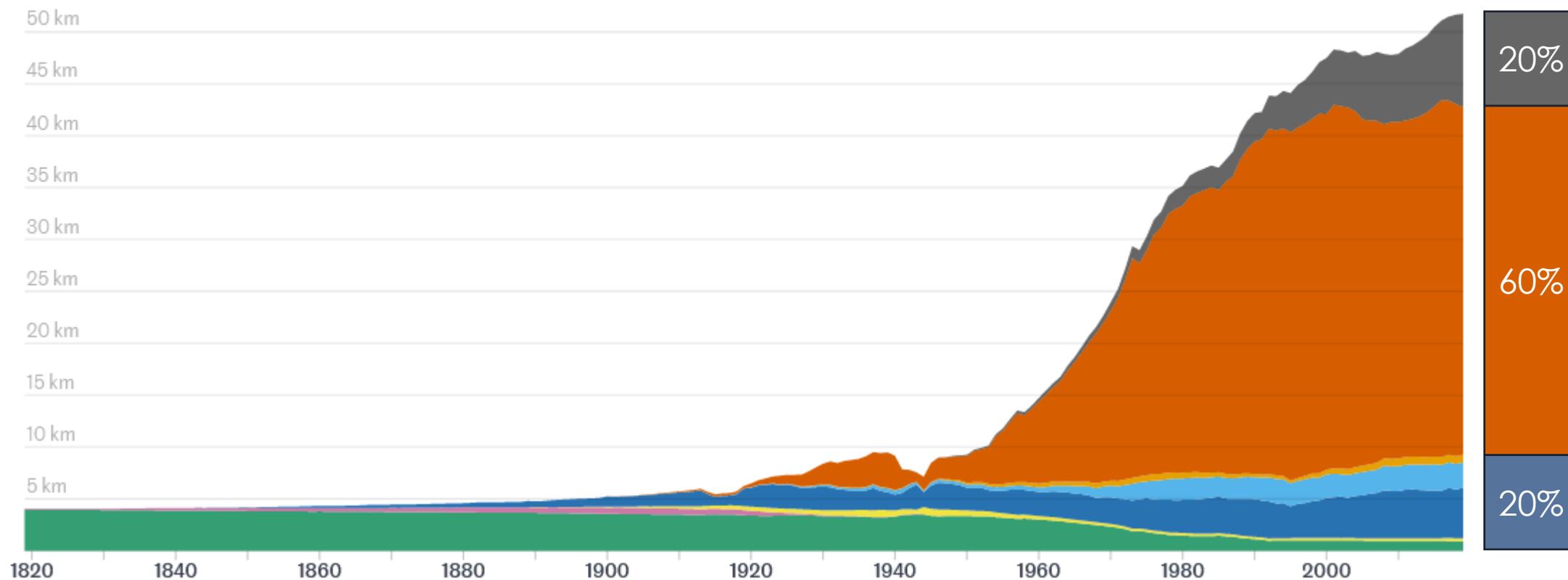
Données en cycle de vie : toute l'énergie et les émissions nécessaires à la satisfaction d'un besoin

Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).
Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

L'évolution des distances parcourues selon le mode de transport

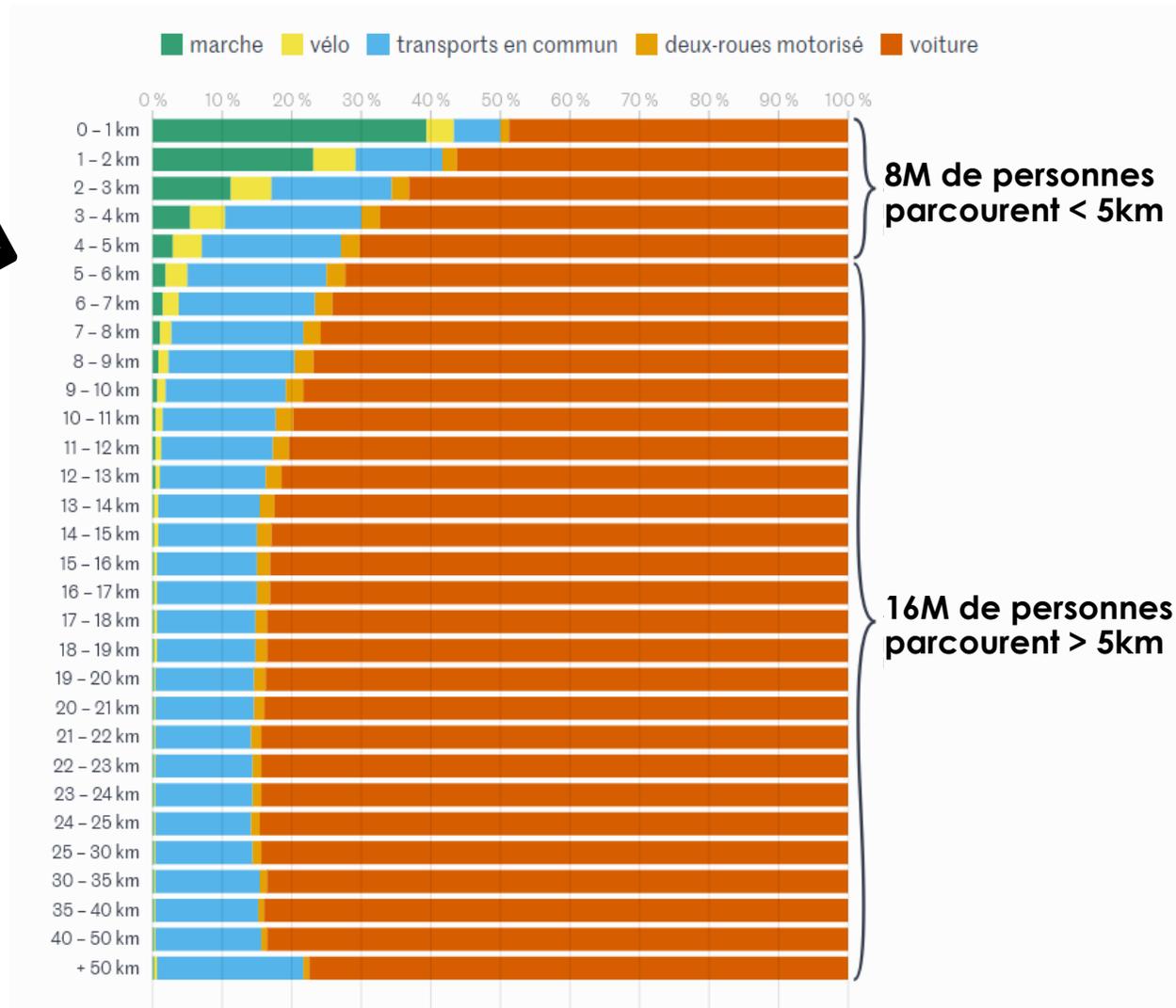
Ce graphique présente une estimation de l'évolution de la distance parcourue en France par personne et par jour en moyenne, de 1819 à 2019.

■ marche ■ vélo ■ attelage ■ ferroviaire ■ transports en commun ■ voiture ■ deux-roues motorisé ■ avion



L'omniprésence de la voiture dans les déplacements courte distance

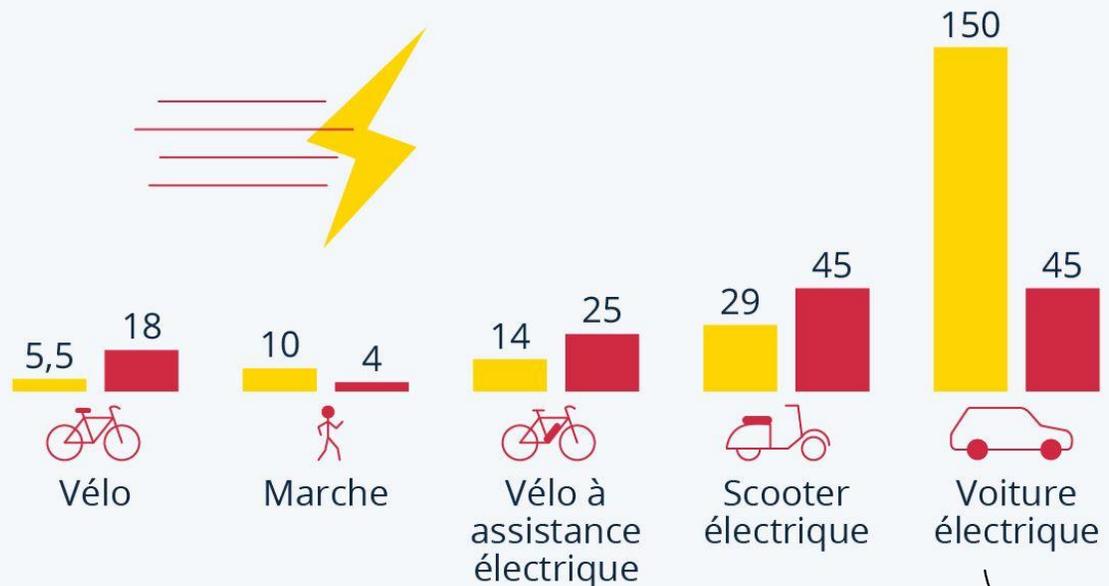
Proportions des modes de transports selon la distance domicile-travail (2019)



Marqueur culturel : « Une voiture (toujours plus grosse) pour tous »

La voiture, reine de l'inefficacité énergétique

■ Énergie consommée par km (Wh) ■ Vitesse moyenne (km/h)

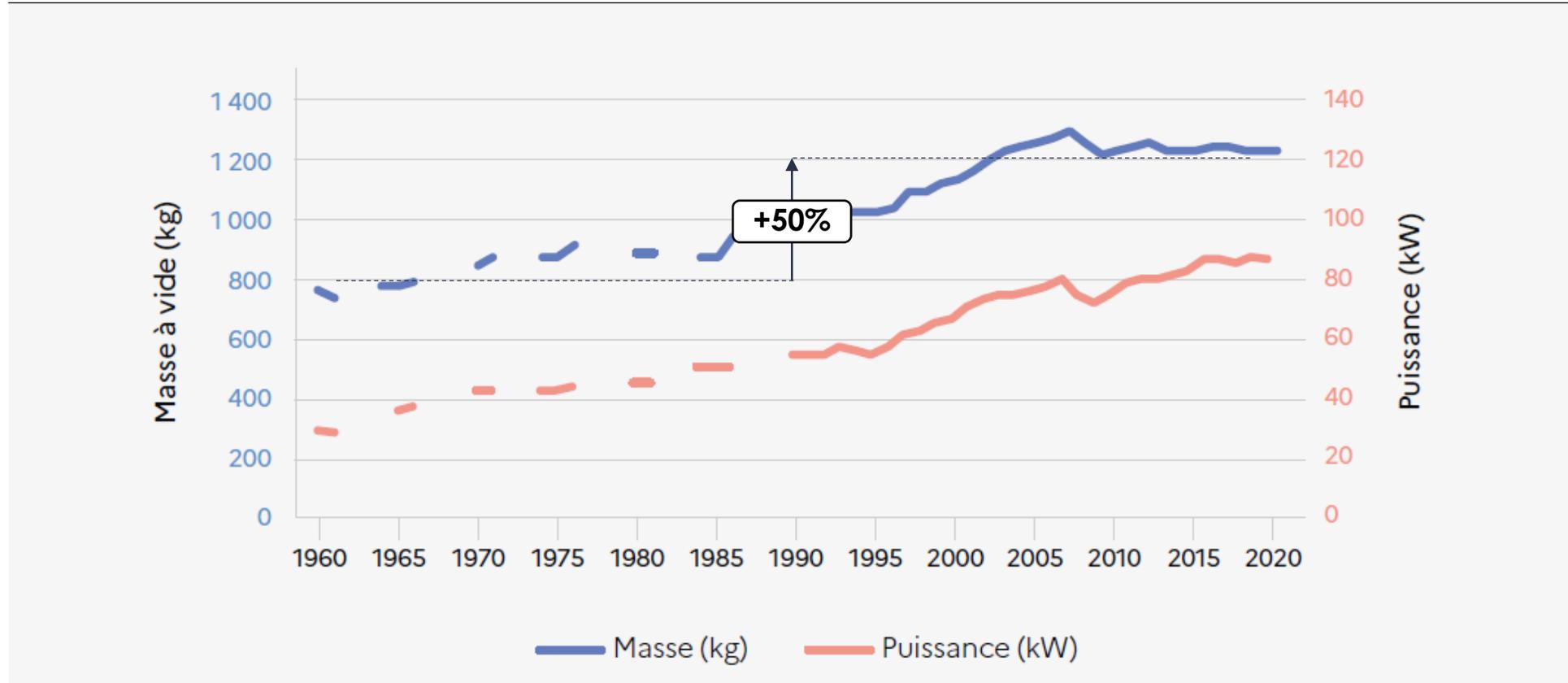


Encore pire pour la voiture thermique

Sources : Transports urbains – L'avenir des véhicules intermédiaires (n°141, 2022) ; <https://www.cc37.org/le-chiffre-du-mois-3-milliards-vs-46-milliards/> ; <https://www.vie-publique.fr/eclairage/273112-tableau-du-reseau-routier-francais> ; <https://www.fntp.fr/data/decryptages/les-amenagements-cyclables-se-deplacer-autrement-et-plus-sobrement> ; <https://assorail.fr/actualites-ferroviaire/chiffres>

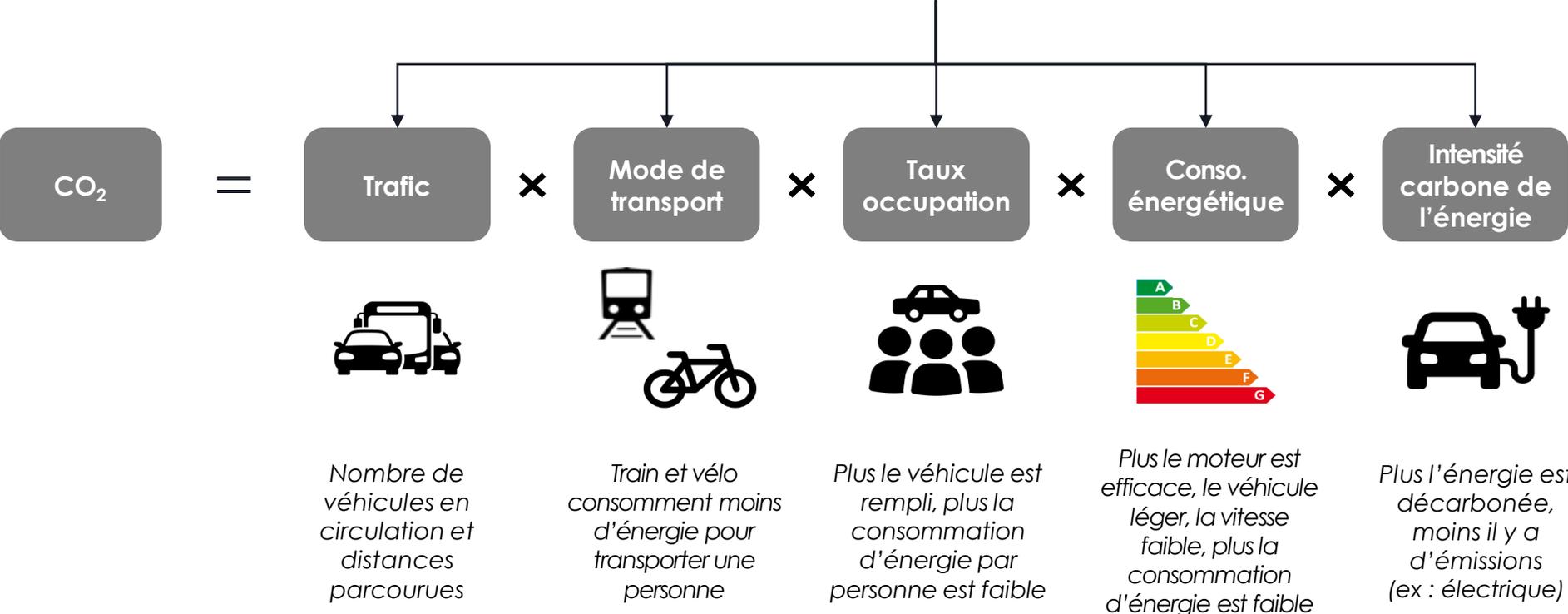
Effet rebond : malgré ces inconvénients, une voiture toujours plus lourde qui efface les gains d'efficacité énergétique

Evolution des caractéristiques (masse, puissance) des voitures particulières neuves en France (1960-2020)



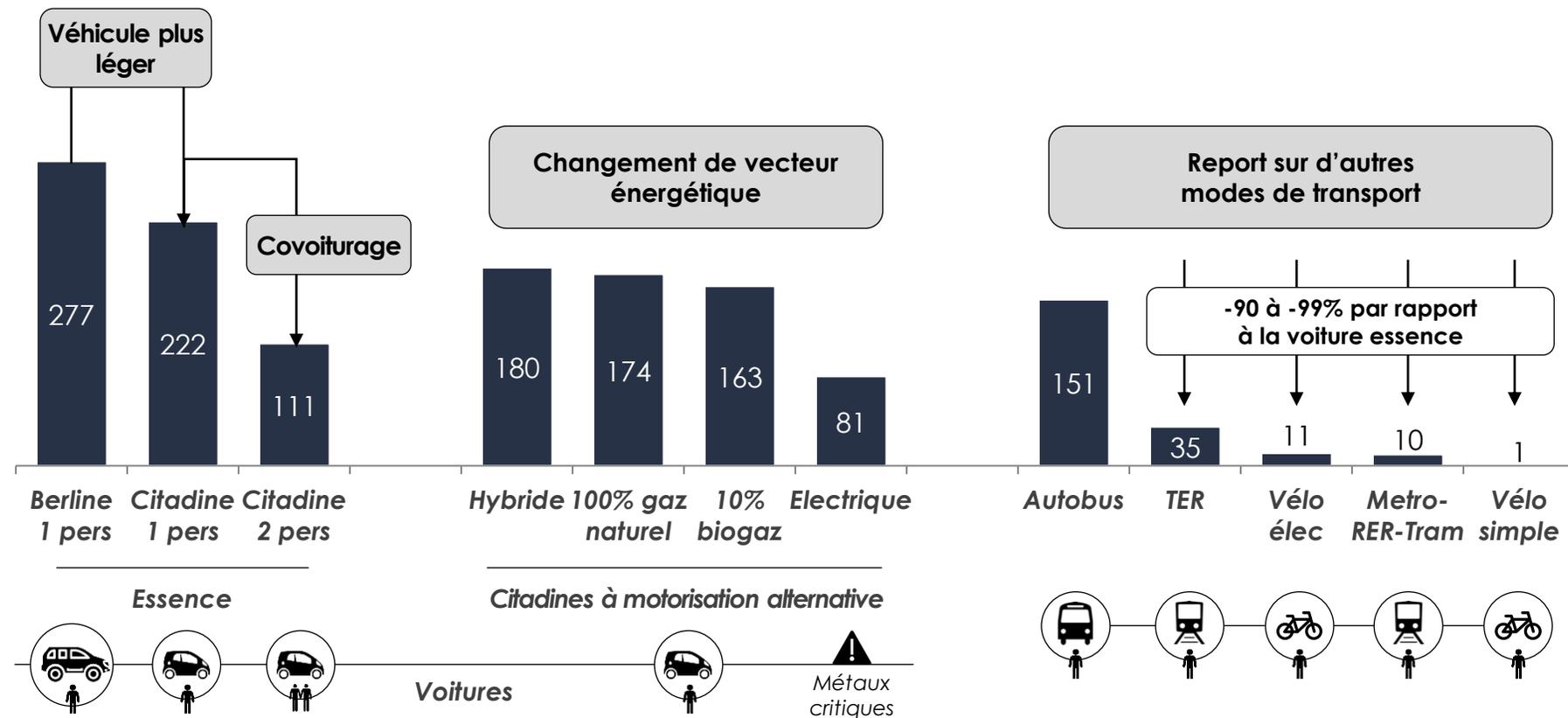
Alors quoi faire ?

Décomposition des leviers d'émissions directes du transport de personnes



Train et vélo sont les modes de déplacement les moins carbonés

Emissions générées par mode de transport (2018, gCO₂e/passager.km)

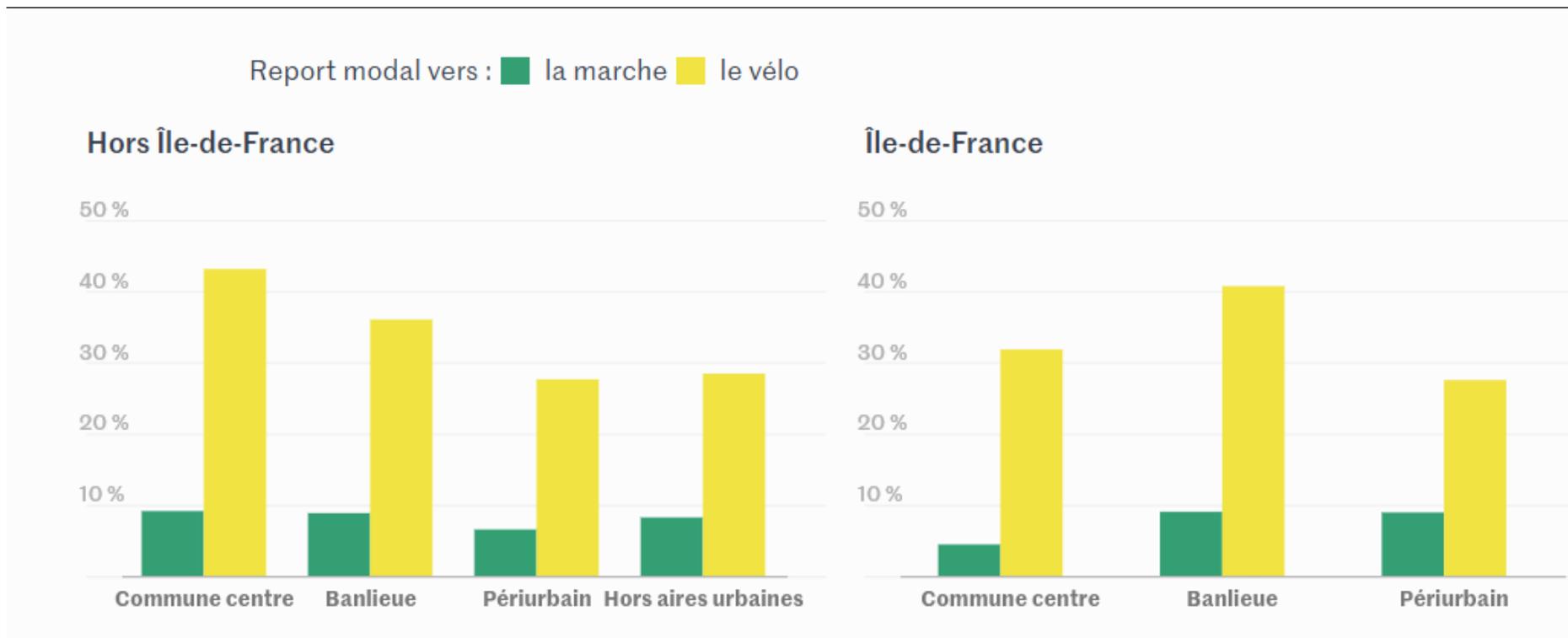


D'autres mesures de sobriété

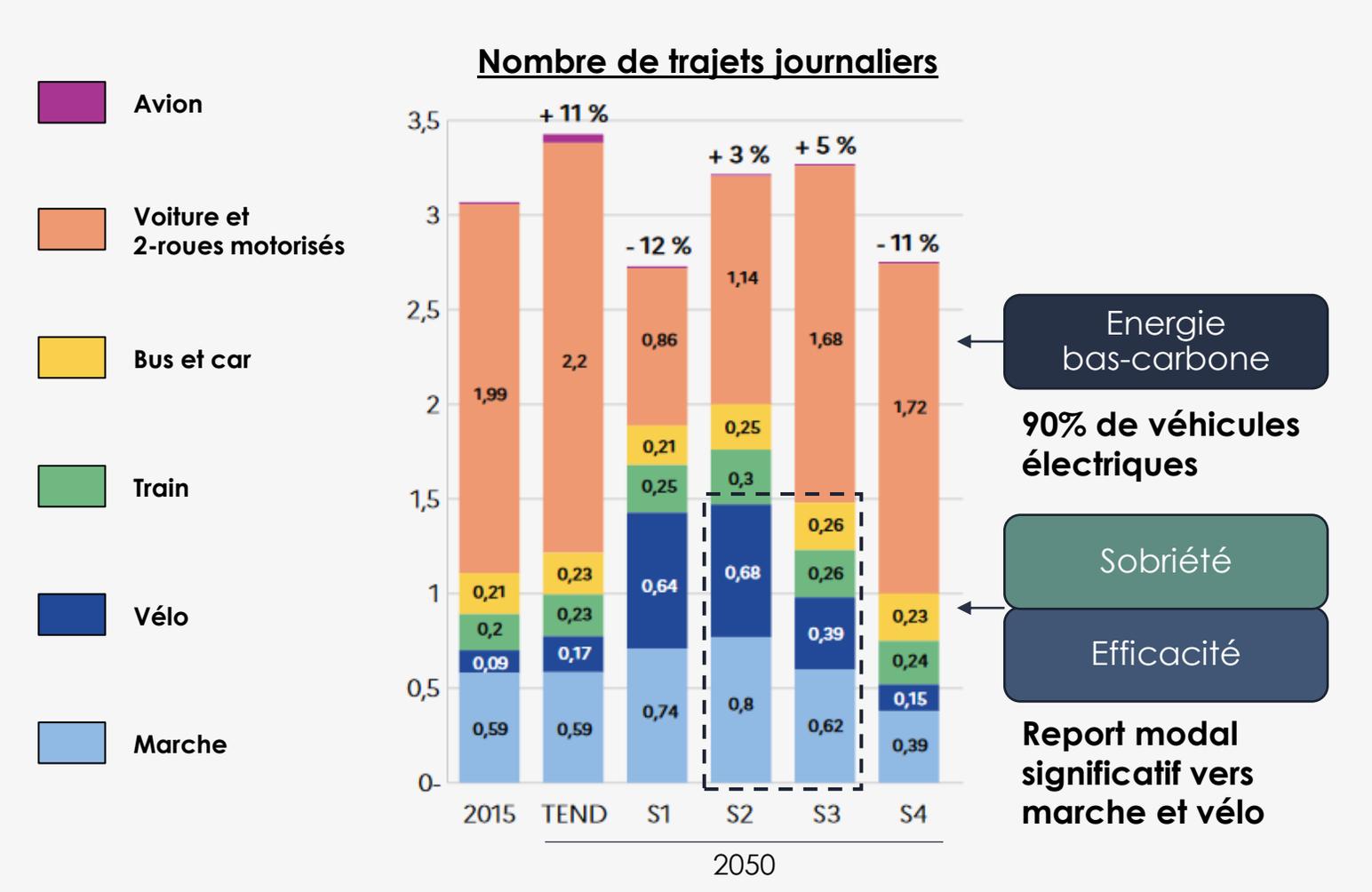
- 110 km/h au lieu de 130 km/h, c'est 25% d'économies d'énergie
- Réduire les distances : travailler plus proche, regrouper les trajets, ...

Vélo : un report modal théorique partout supérieur à un tiers

Portion de trajets qui pourraient être effectués autrement qu'en voiture



La mobilité courte distance en 2050 : essor du vélo, pour une place plus modérée de la voiture à 90% électrique



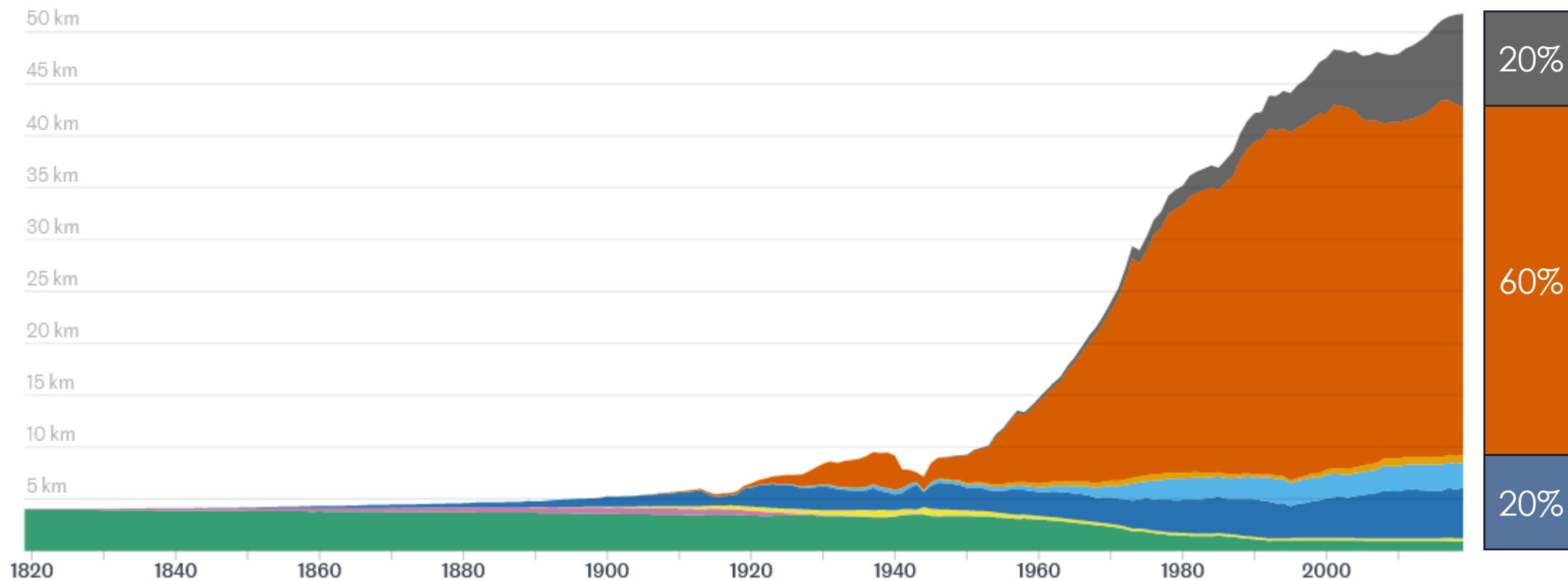
Sources : Transition(s) 2050, ADEME ; <https://www.carbone4.com/analyse-faq-voiture-electrique>

Mobilité longue distance des passagers

L'évolution des distances parcourues selon le mode de transport

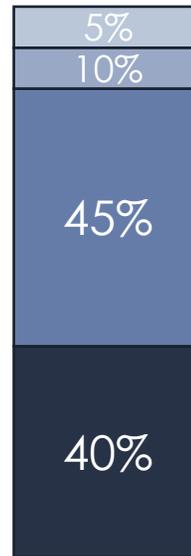
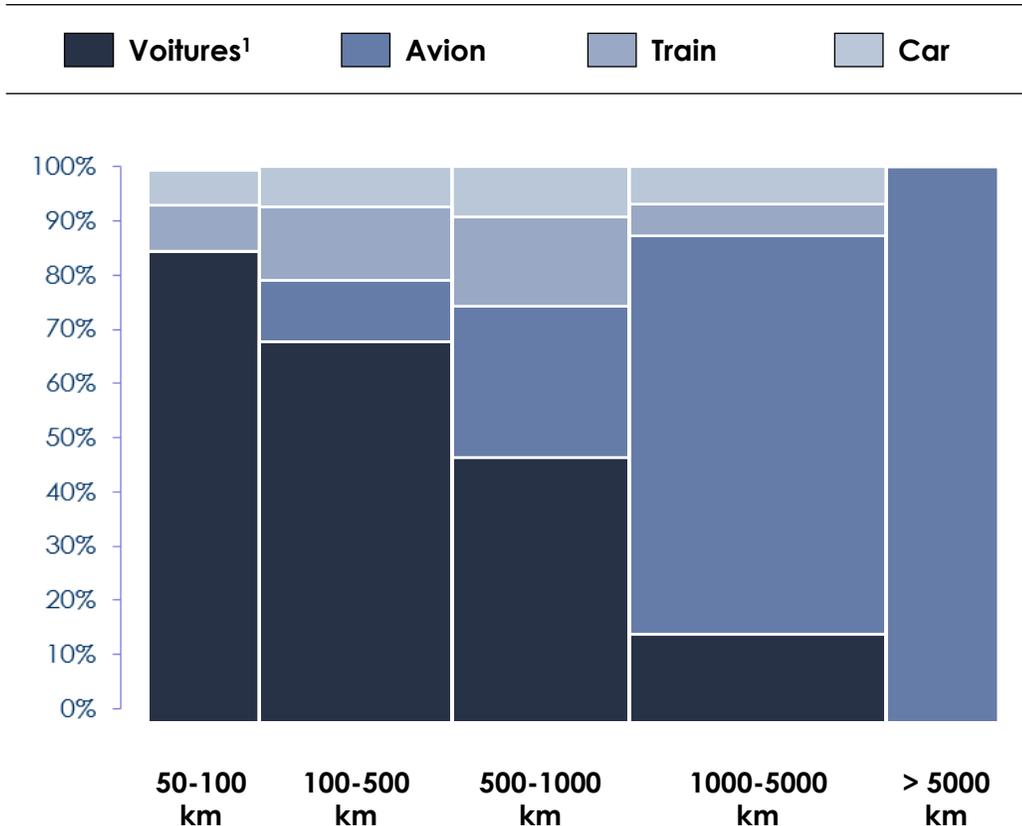
Ce graphique présente une estimation de l'évolution de la distance parcourue en France par personne et par jour en moyenne, de 1819 à 2019.

■ marche ■ vélo ■ attelage ■ ferroviaire ■ transports en commun ■ voiture
■ deux-roues motorisé ■ avion



La longue distance, c'est principalement l'avion et la voiture

Parts modales par distance (2018, % pkm)

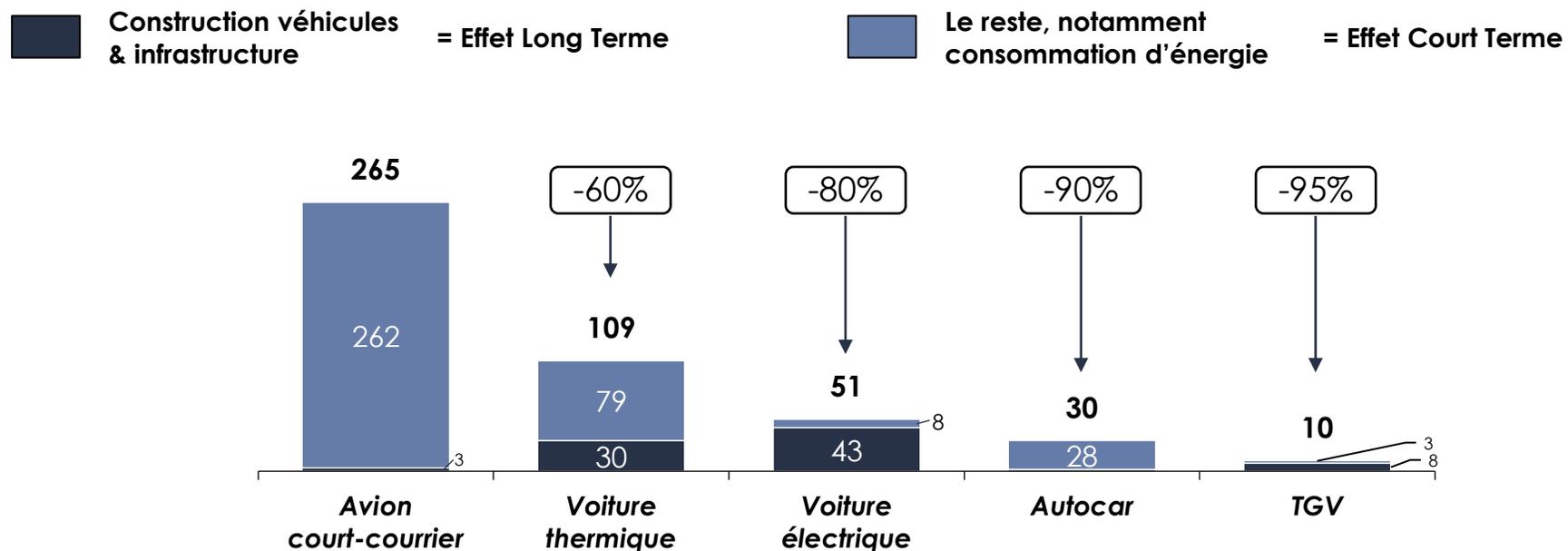


L'avion :

- **75%** pour des raisons **personnelles** (famille, vacances, études) **VS 25%** pour des raisons **professionnelles**.
- **1/3** des Français **ne prennent pas** l'avion **VS 10%** des Français **le prennent plusieurs fois par an**
 - Parmi ceux qui le prennent, on retrouve en majorité les classes aisées

A distance équivalente, l'avion émet 60 à 95% plus d'émissions que les autres modes de transport

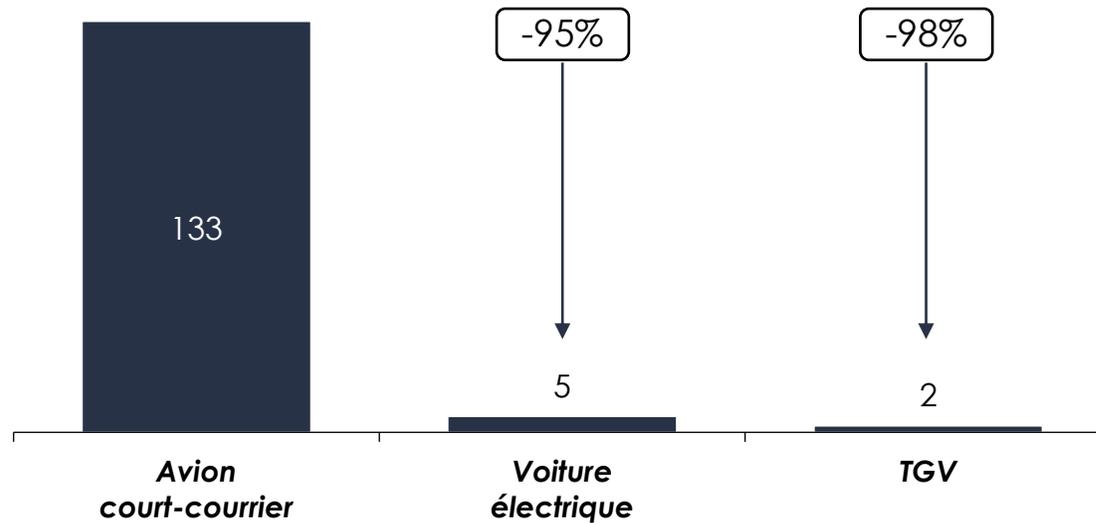
Intensité carbone d'un voyage, par mode de transport (2021, gCO₂e/passager.km)



Notes : taux d'occupation moyen de 2,2 personnes pour la voiture ; effet des trainées de condensation pris en compte pour l'aviation
Source : <https://www.carbone4.com/analyse-faq-aviation-climat>

A durée équivalente, l'avion émet 95% plus d'émissions que les autres modes de transport

Intensité carbone d'un voyage d'une heure, par mode de transport (2021, kgCO₂e/passager)

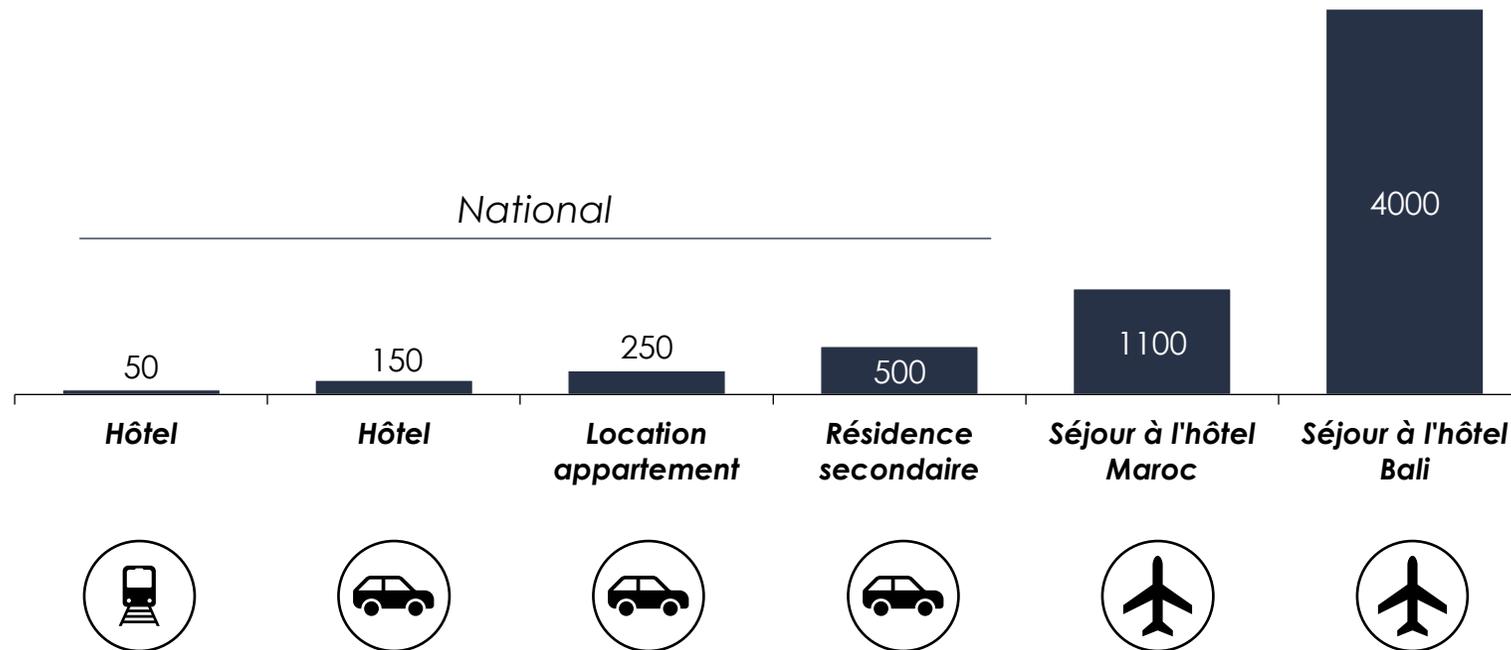


Notes : taux d'occupation moyen de 2,2 personnes pour la voiture ; effet des trainées de condensation pris en compte pour l'aviation
Source : Carbone 4, analyses Alexandre Joly

En émissions absolues, les voyages lointains émettent 10 fois plus qu'un voyage national

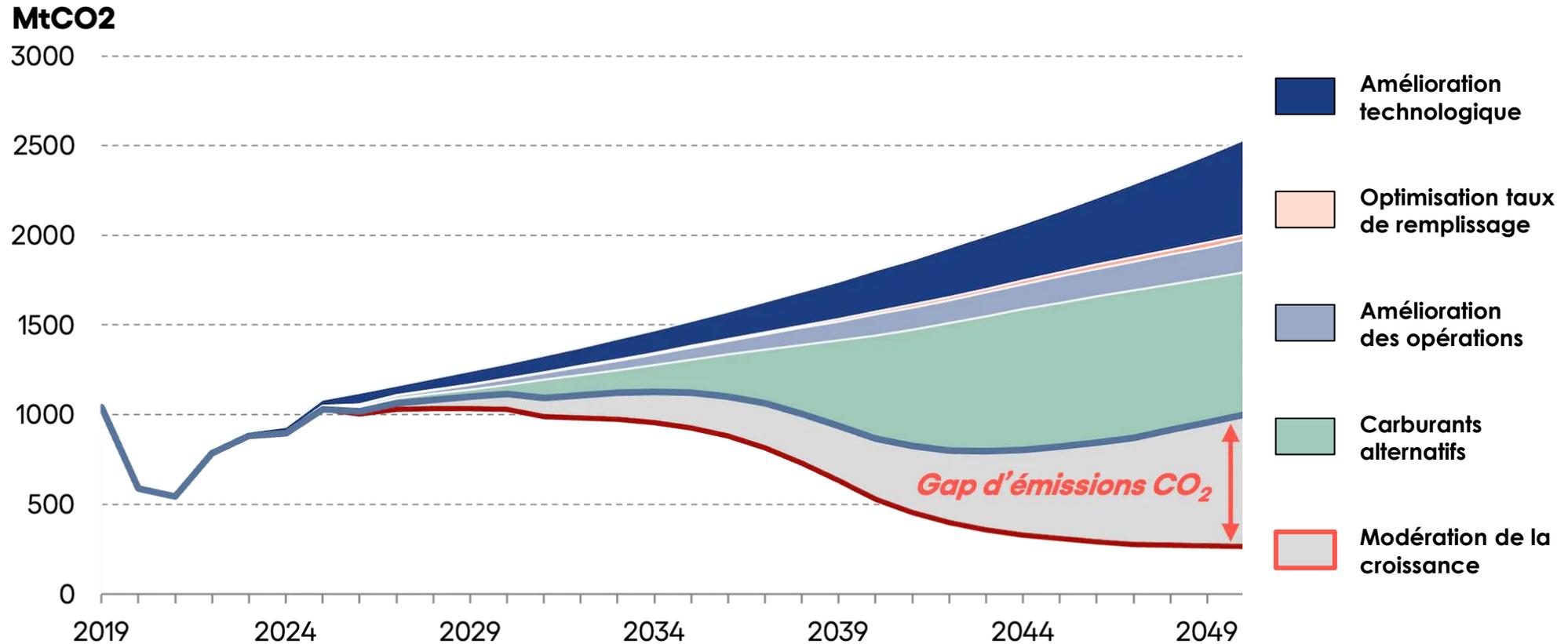
Impact carbone par type de vacances (2021, kgCO₂e/personne)

Périmètre : « se déplacer jusqu'au lieu puis se loger »



Sans modération de la croissance du trafic, l'aviation ne pourra pas être compatible avec l'Accord de Paris

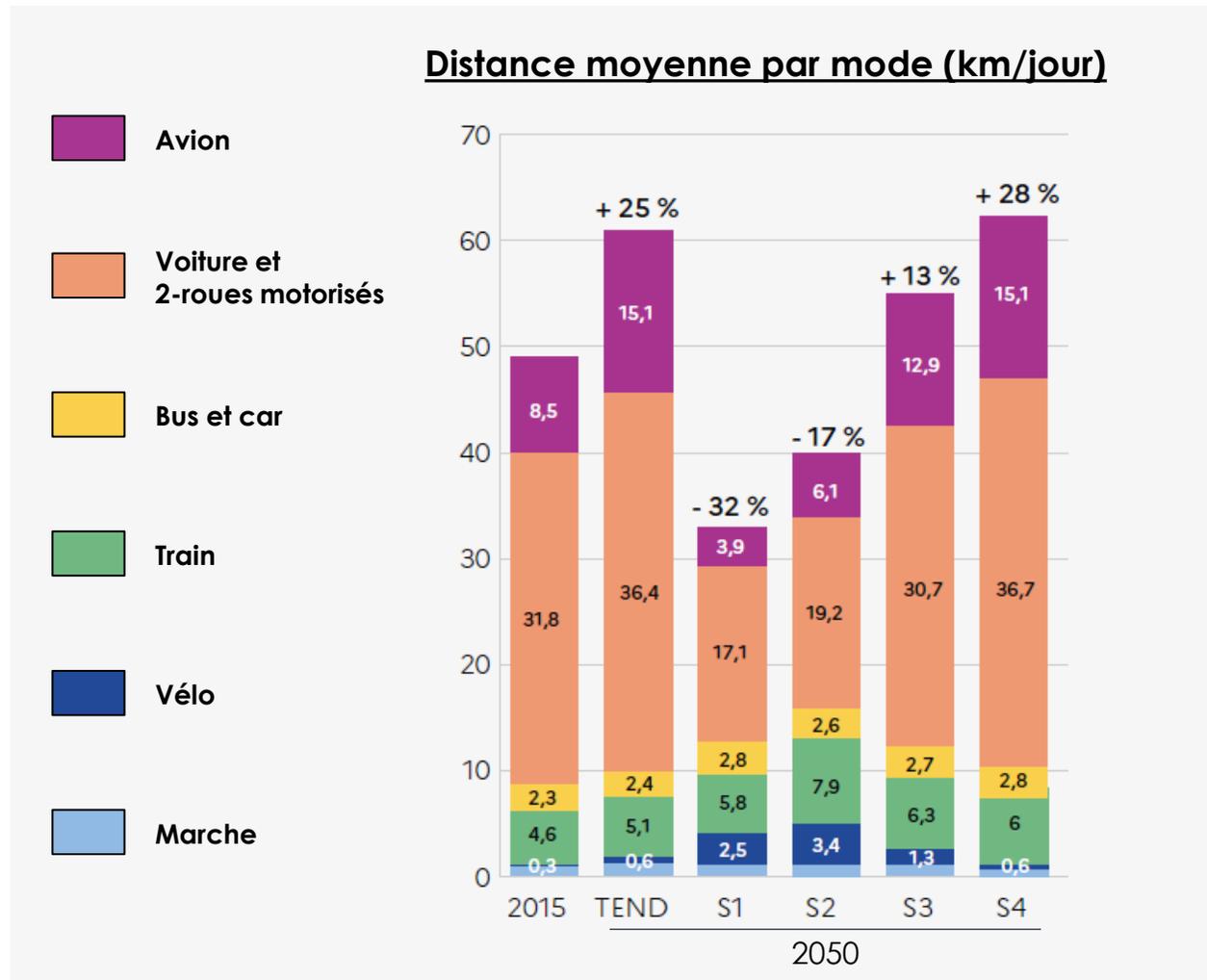
Évolution des émissions de CO₂ du transport aérien mondial, respectant un budget 2°C (2019-2050, MtCO₂)



Note : le périmètre correspond aux émissions amont et de combustion pour le CO₂, et couvre le transport mondial hors régional, budget 2°C défini par l'ISAE Supaéro

Source : <https://www.carbone4.com/analyse-faq-aviation-climat>

La mobilité longue distance en 2050 : réduction des distances, moindre place de l'aviation, un réseau ferré révolutionné

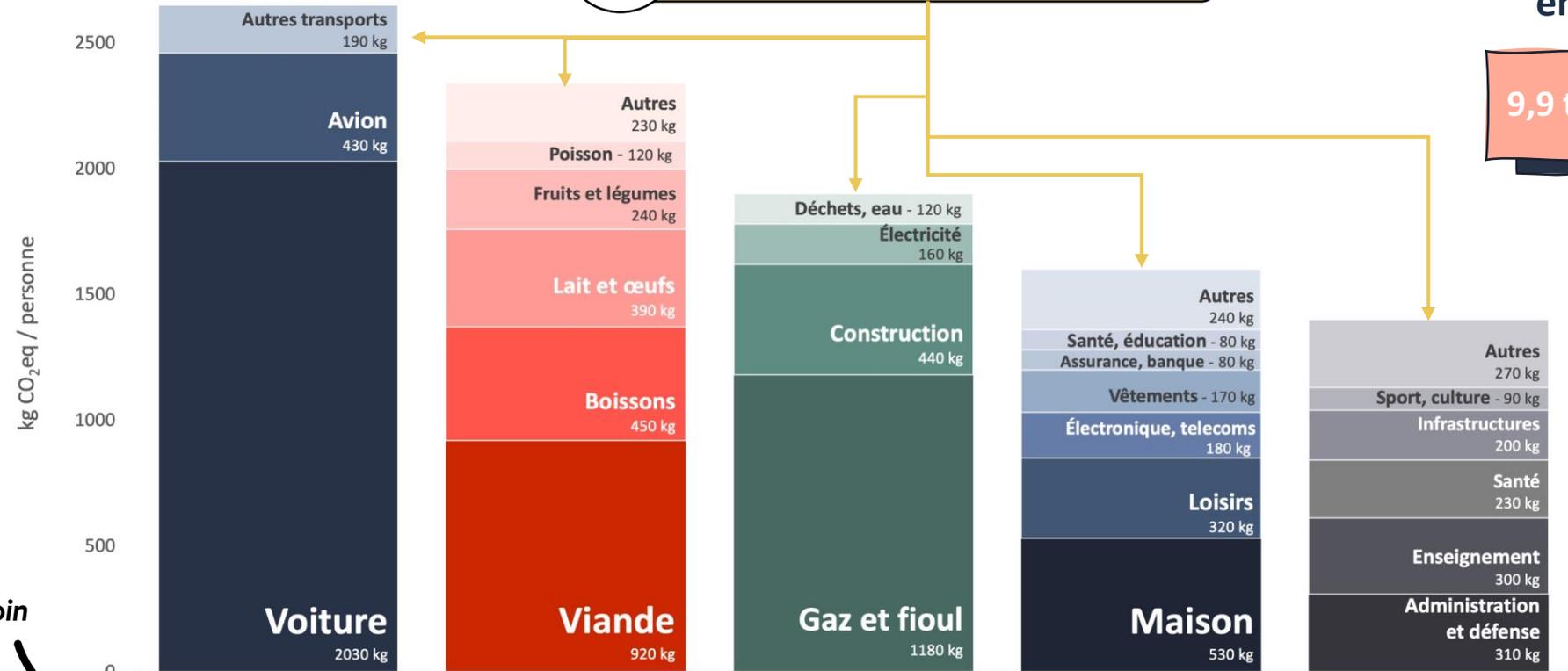


Transport de marchandises

 **Transport marchandises = ~10% de l'empreinte carbone**

Empreinte carbone moyenne en France en 2019

9,9 tCO₂eq/personne



Besoin

	Je me déplace	Je mange	Je me loge	J'achète	Dépense publique
kgCO ₂ e/personne	2650 kg	2350 kg	1900 kg	1600 kg	1400 kg
kWh/personne	9 000 kWh	3 000 kWh	10 000 kWh	7 000 kWh	7 000 kWh
% énergie bas-carbone	5%	15%	50%	40%	45%

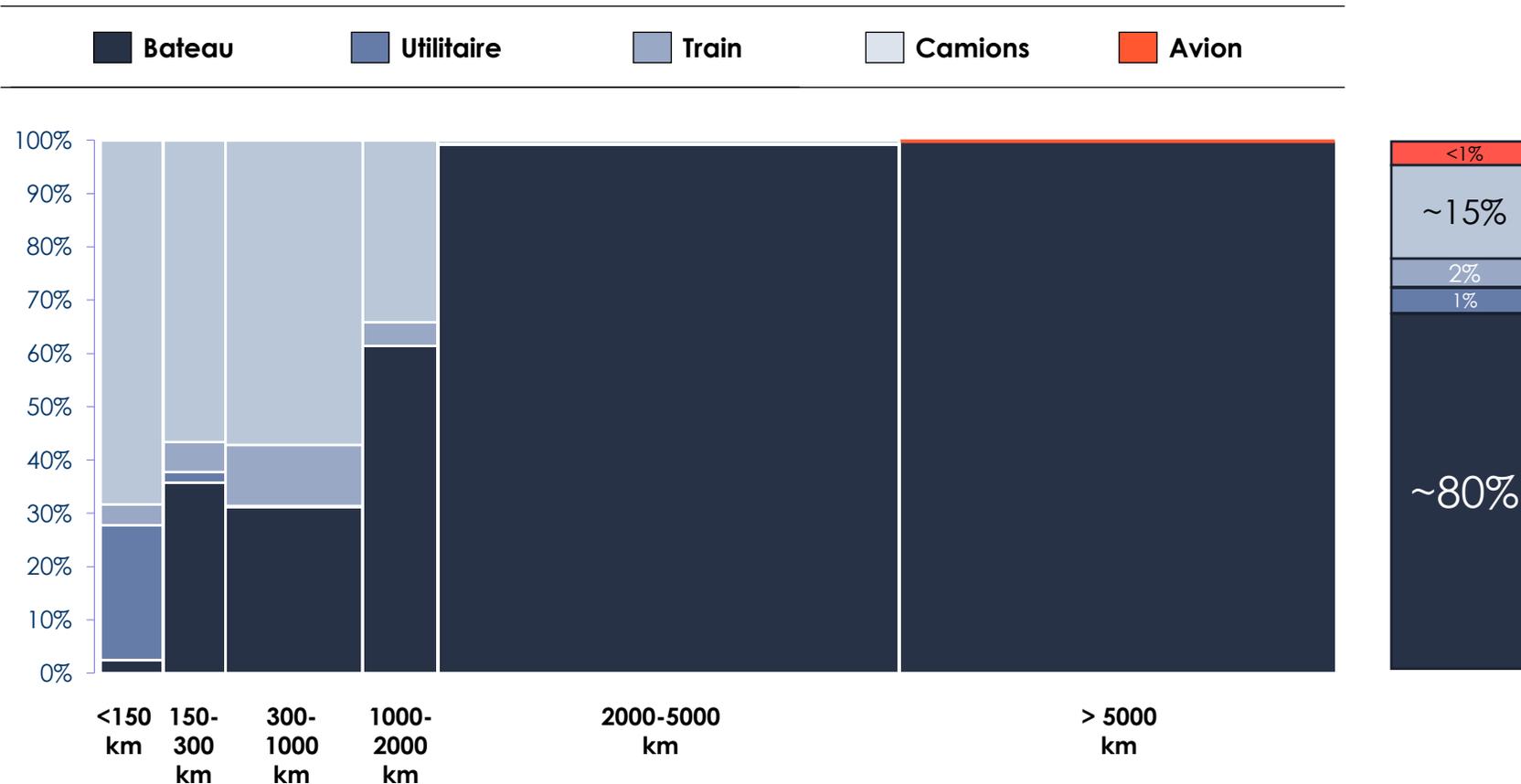


Données en cycle de vie : toute l'énergie et les émissions nécessaires à la satisfaction d'un besoin

Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).
 Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

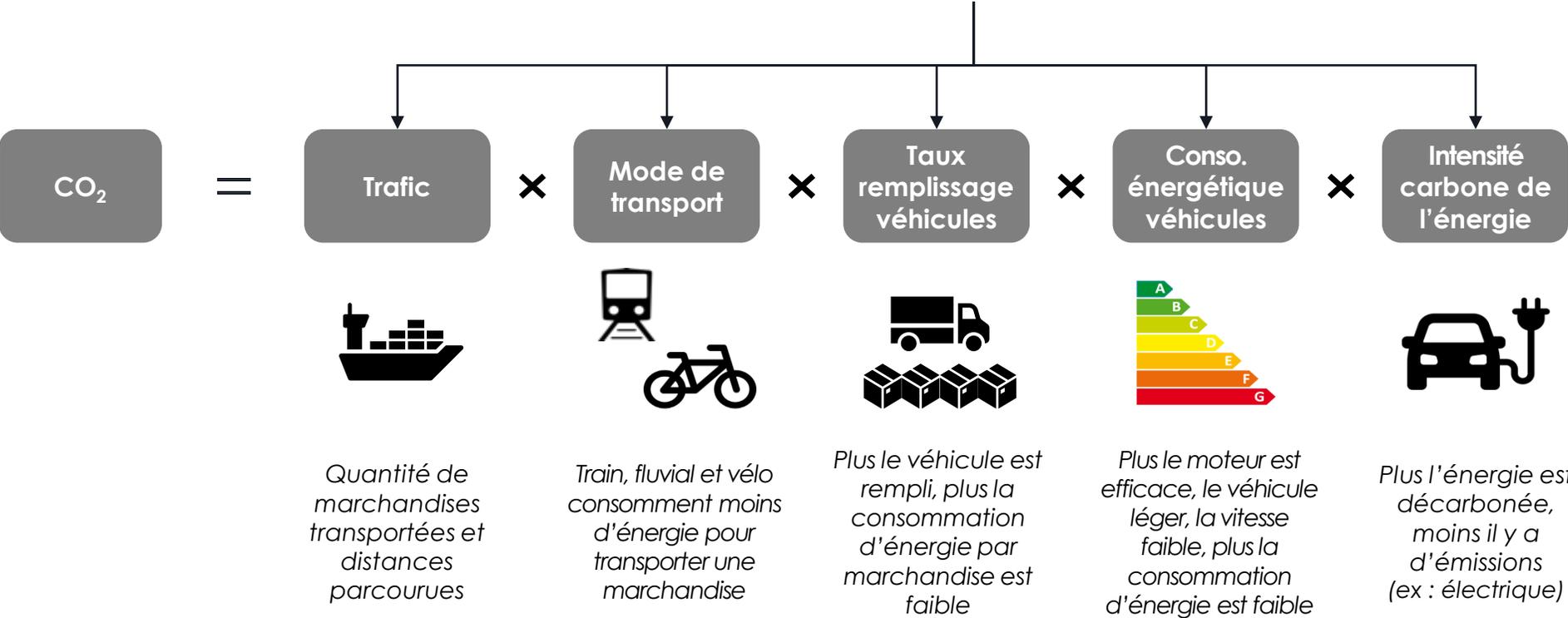
La longue distance, c'est principalement le bateau et le camion

Parts modales par distance (2018, % tkm)



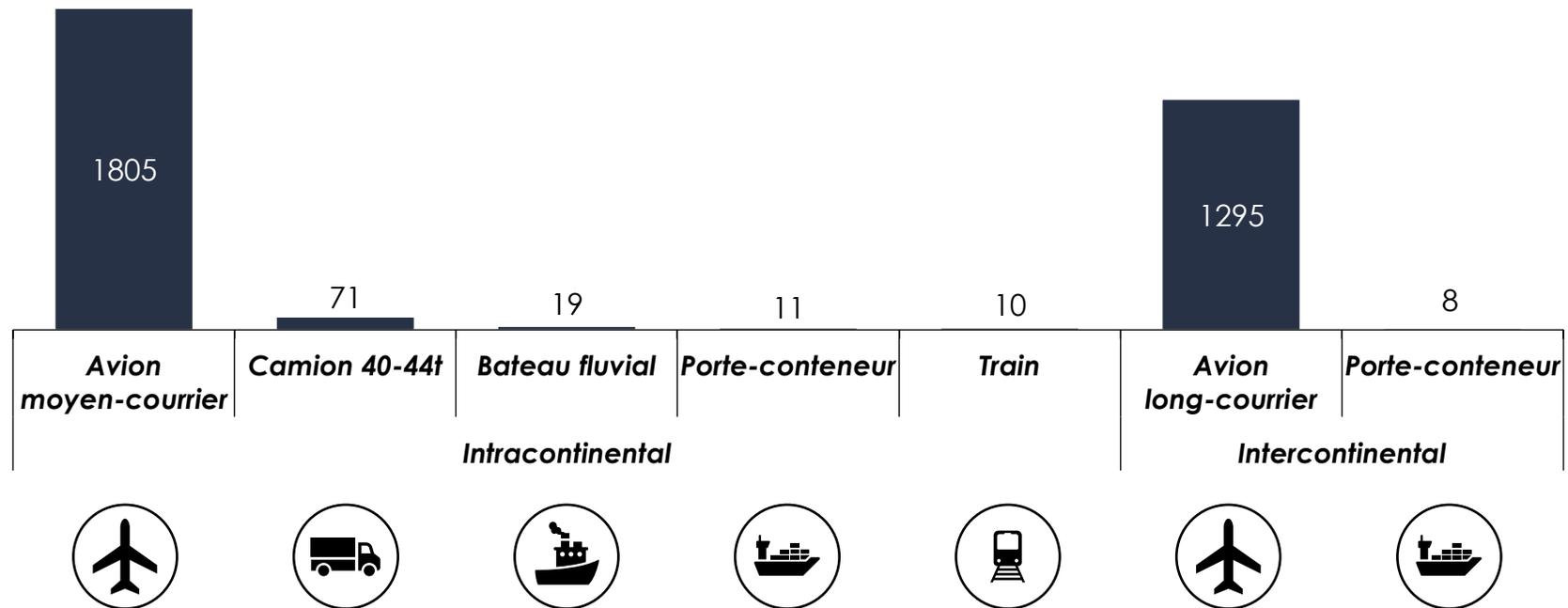
Alors quoi faire ?

Décomposition des leviers d'émissions directes du transport de marchandises



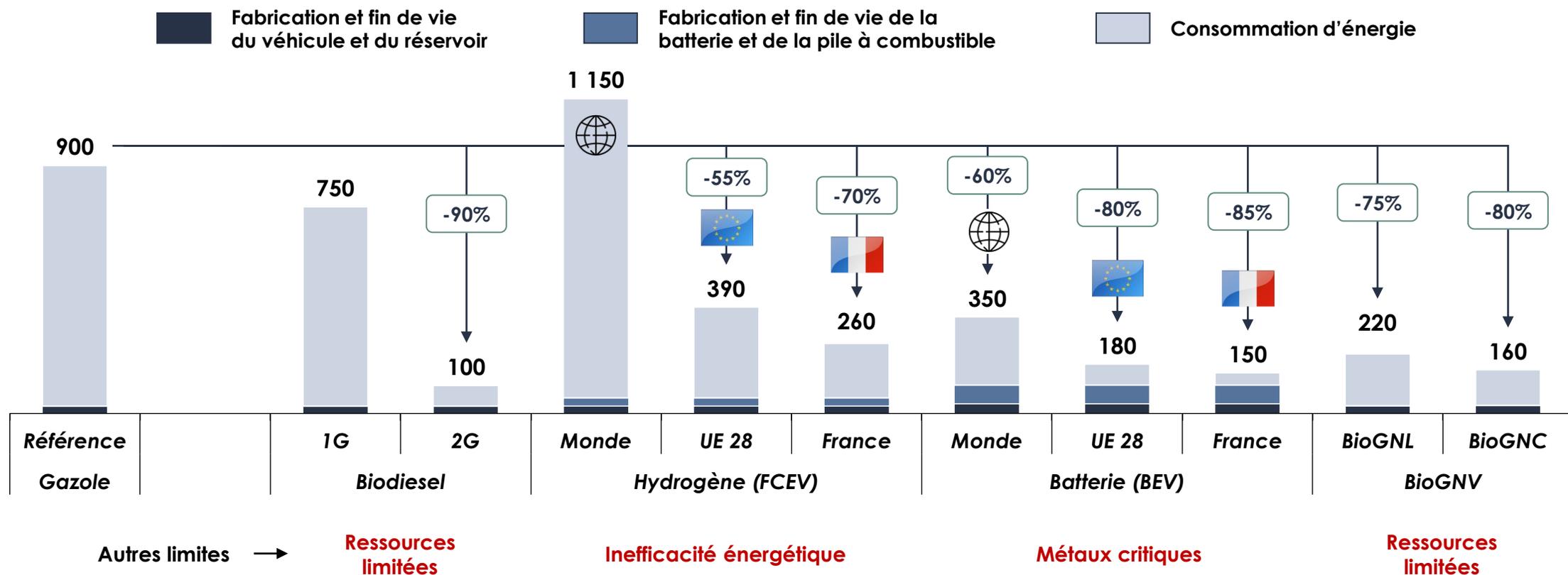
L'avion émet 100 fois plus que le train et le bateau ; le camion 7 fois plus

Intensité carbone par mode de transport de marchandises (2021, gCO₂e/tonne.km)



Quatre grandes alternatives aux carburants fossiles : biodiesel 2G, hydrogène, électrique à batterie, biométhane

Empreinte carbone d'un camion (tracteur routier) acheté en 2030 selon la motorisation et la géographie (gCO₂e/km)

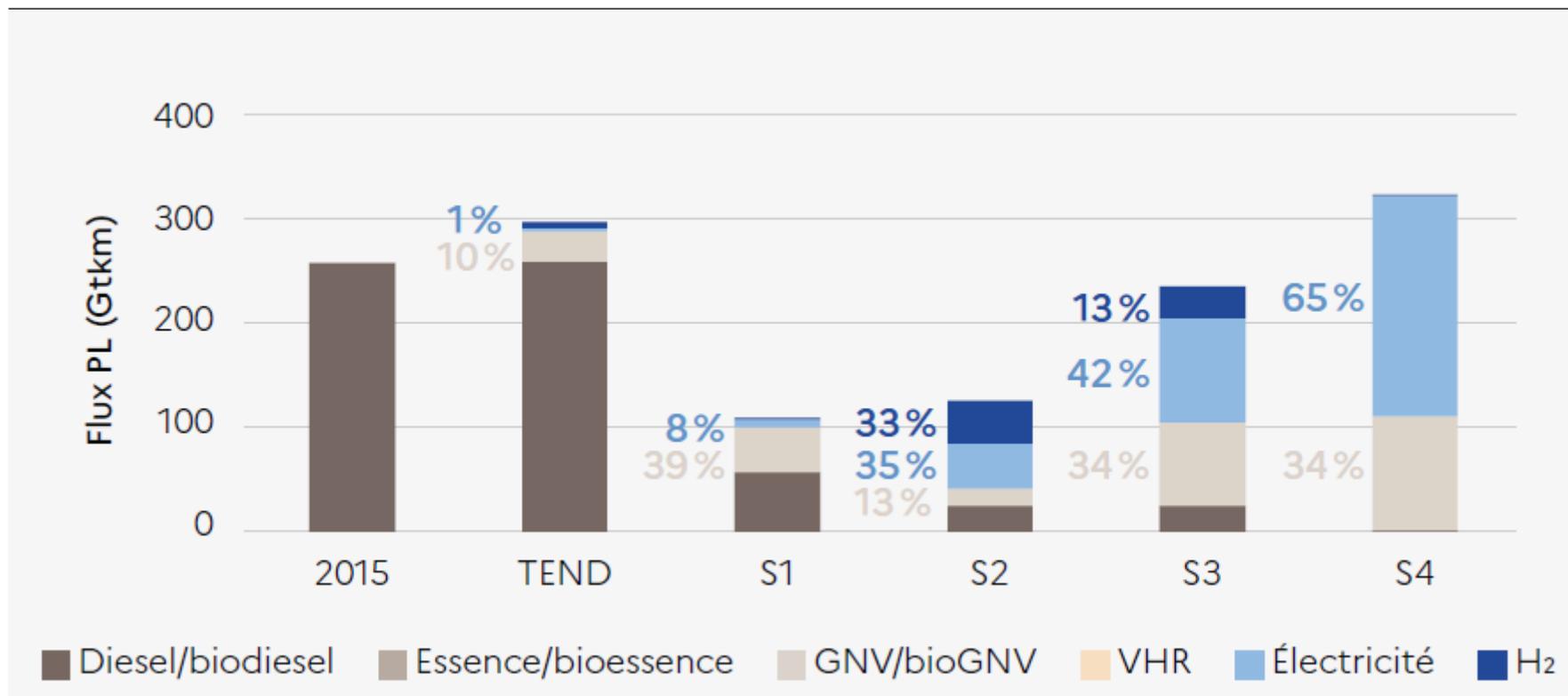


Sigles : BEV pour Battery Electric Vehicle ; FCEV pour Fuel Cell Electric Vehicle ; GNV pour Gaz Naturel Véhicule, GNC pour Gaz Naturel Comprimé, GNL pour Gaz Naturel Liquéfié.

Sources : https://www.carbone4.com/files/Carbone_4_Etude_Hydrogene.pdf

Transport marchandises en 2050 : des mix variés, avec le bioGNV et l'électricité à batterie comme technologies les plus plébiscitées

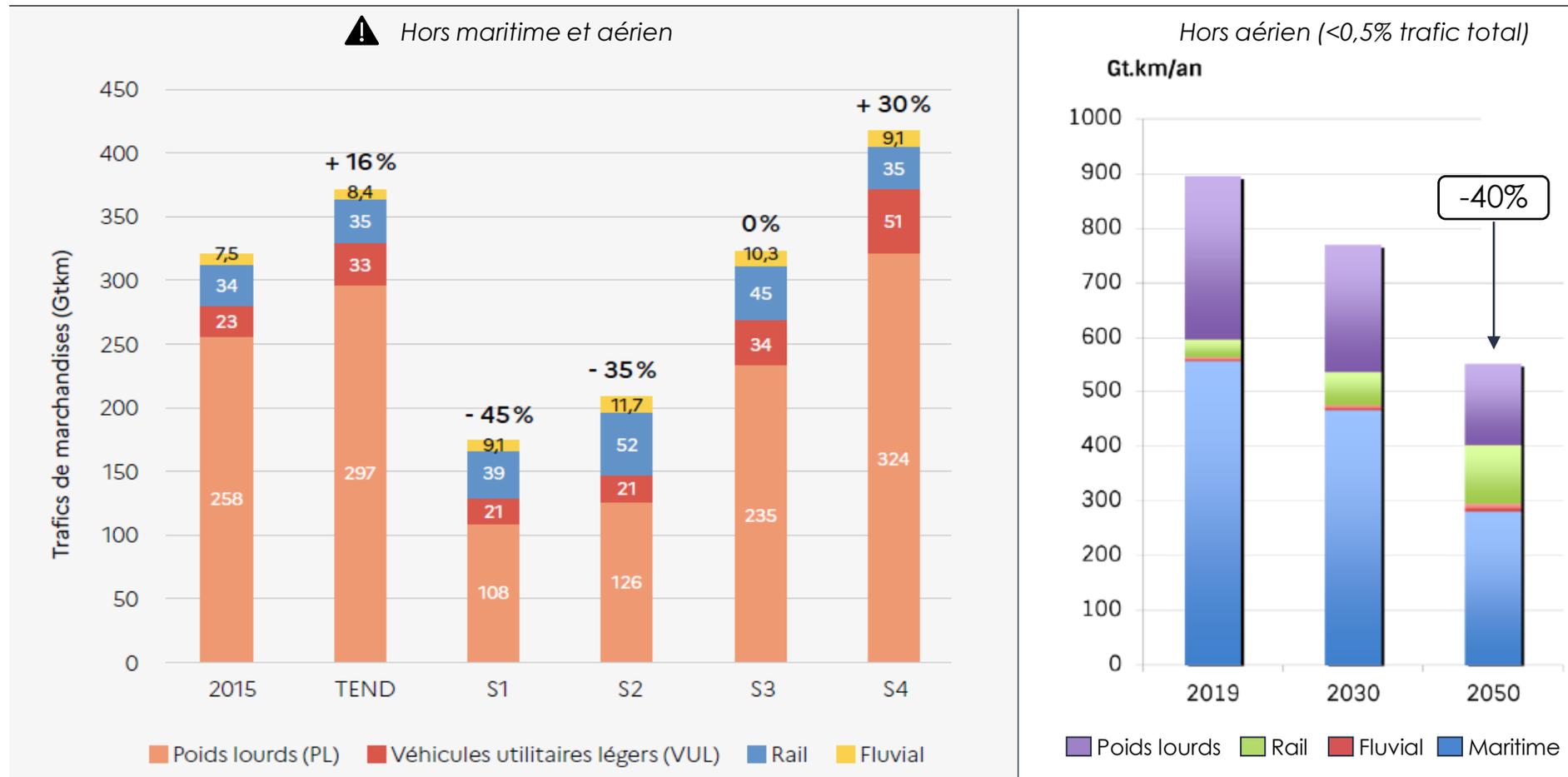
Répartition des vecteurs énergétiques pour les poids lourds en 2050 - scénarios ADEME (% , Gtkm)



Note : VHR = Véhicule Hybride Rechargeable
Sources : Transition(s) 2050, ADEME

Transport de marchandises en 2050 : une maîtrise du trafic, avec une réduction de la place de la route au profit du rail

Evolution du transport de marchandises par mode (2015/19-2050, Gtkm)



Source : Transition(s) 2050, ADEME

Source : Scénario 2022, négaWatt

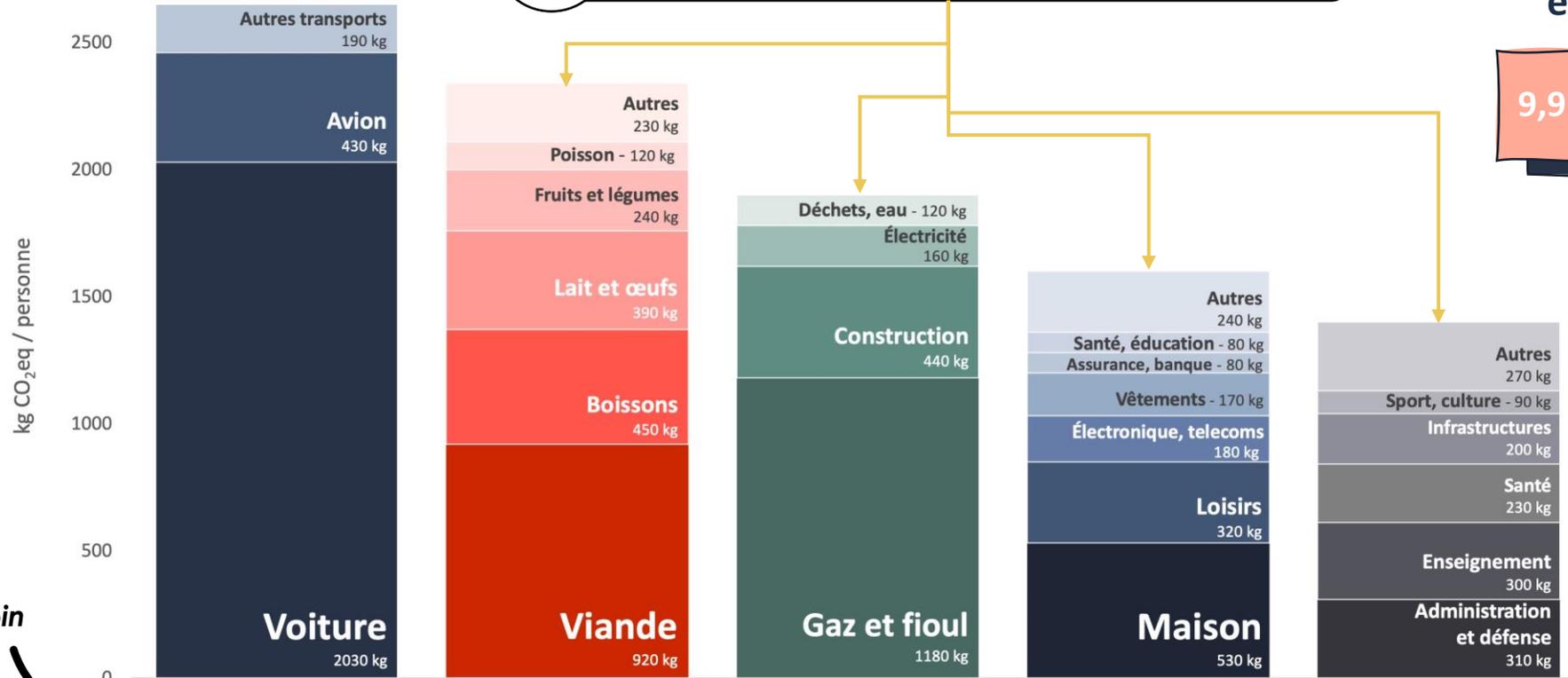
L'utilisation des bâtiments



Energie directe des bâtiments (utilisation)
= ~20% de l'empreinte carbone

Empreinte carbone moyenne en France en 2019

9,9 tCO₂eq/personne



Besoin

kgCO₂e/personne

kWh/personne

% énergie bas-carbone

Je me déplace

2650 kg

9 000 kWh

5%

Je mange

2350 kg

3 000 kWh

15%

Je me loge

1900 kg

10 000 kWh

50%

J'achète

1600 kg

7 000 kWh

40%

Dépense publique

1400 kg

7 000 kWh

45%



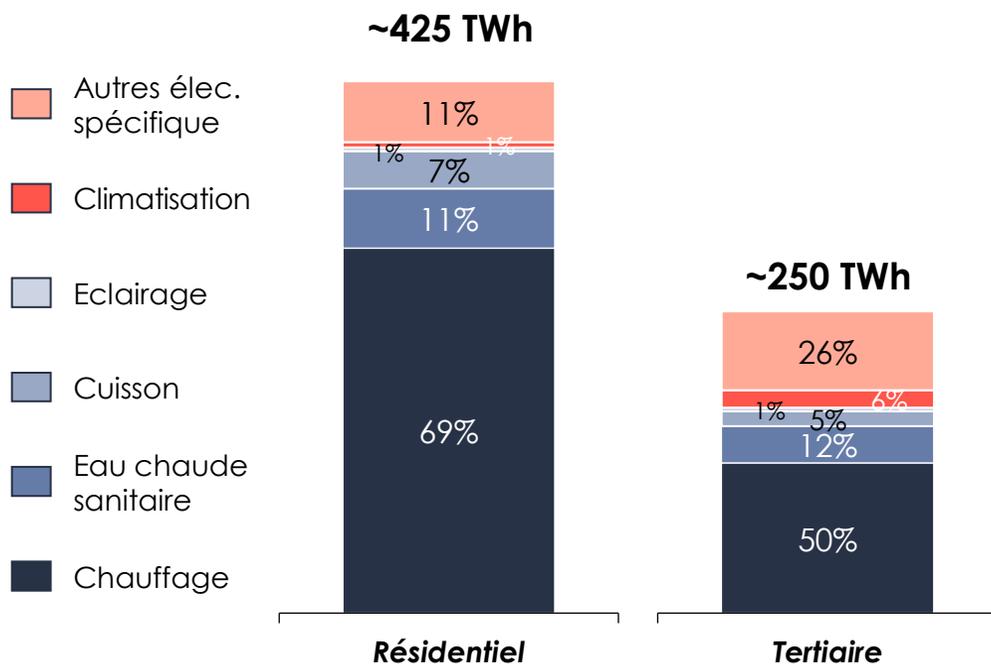
Données en cycle de vie : toute l'énergie et les émissions nécessaires à la satisfaction d'un besoin

Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).

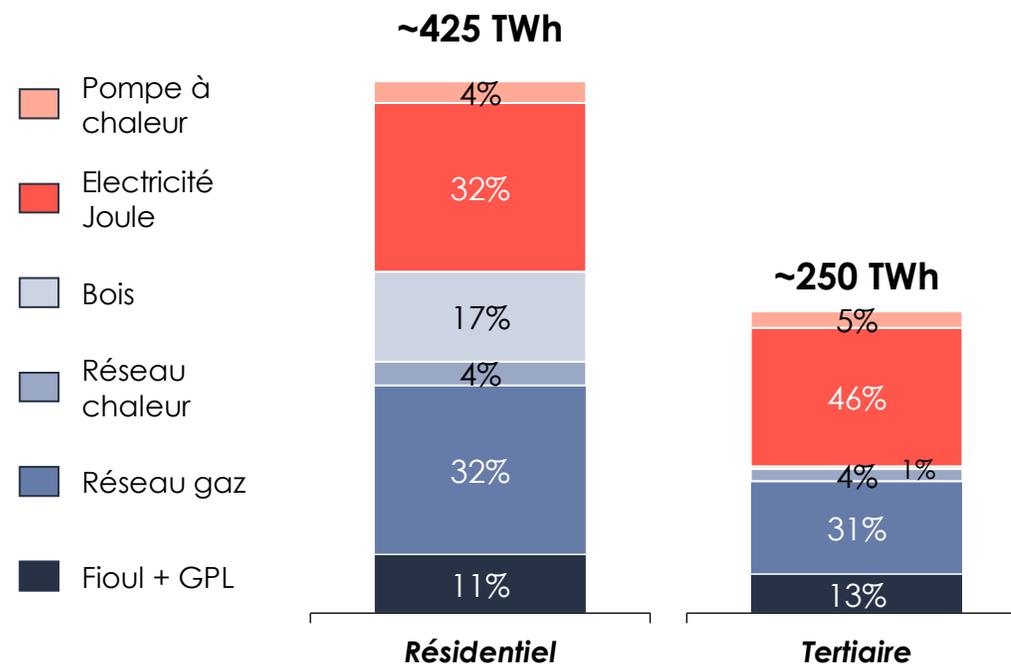
Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

Energie directe : le chauffage comme premier usage, et encore 40% d'énergie fossile

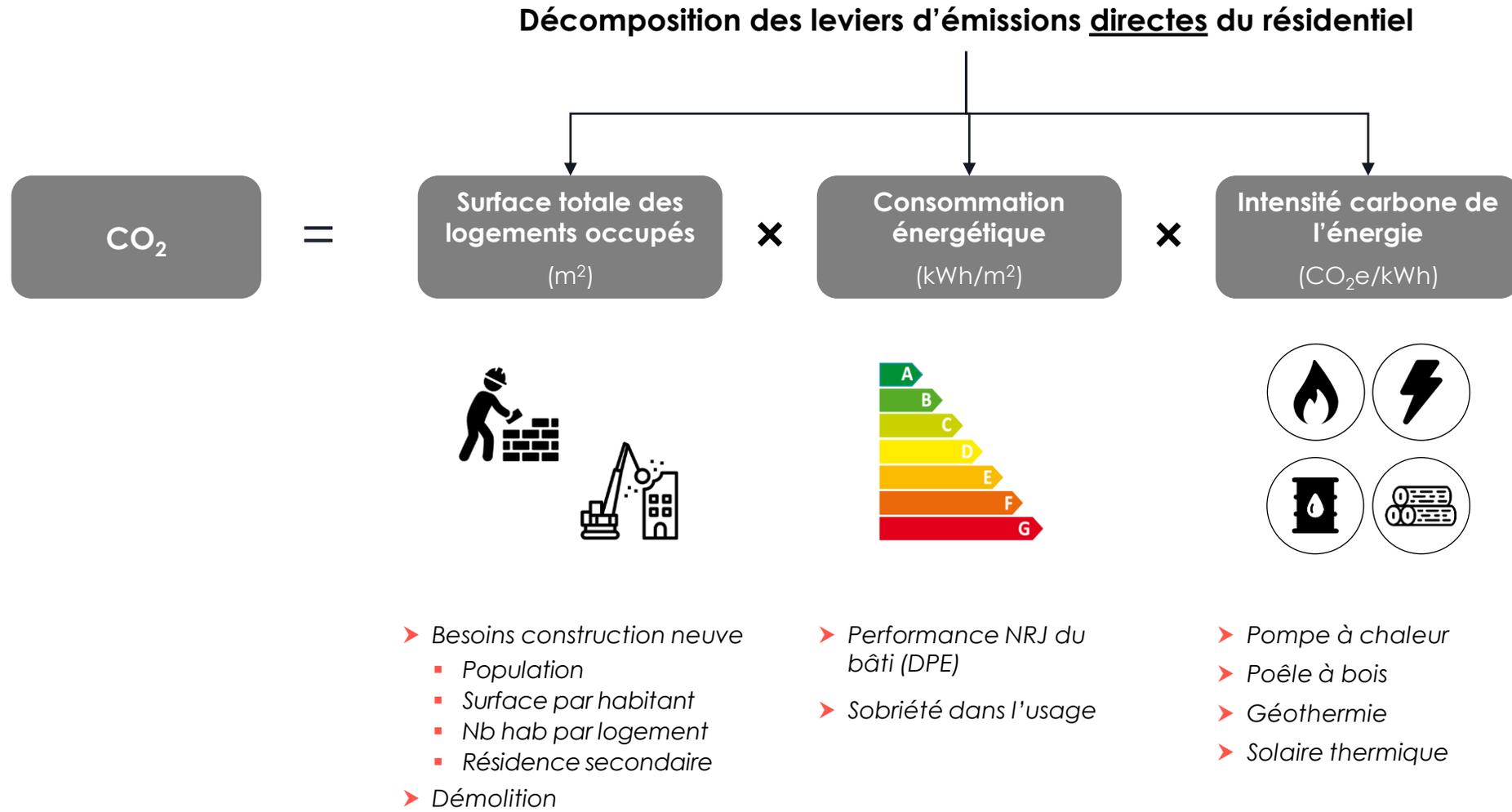
Consommation d'énergie par usage (2020, TWh)



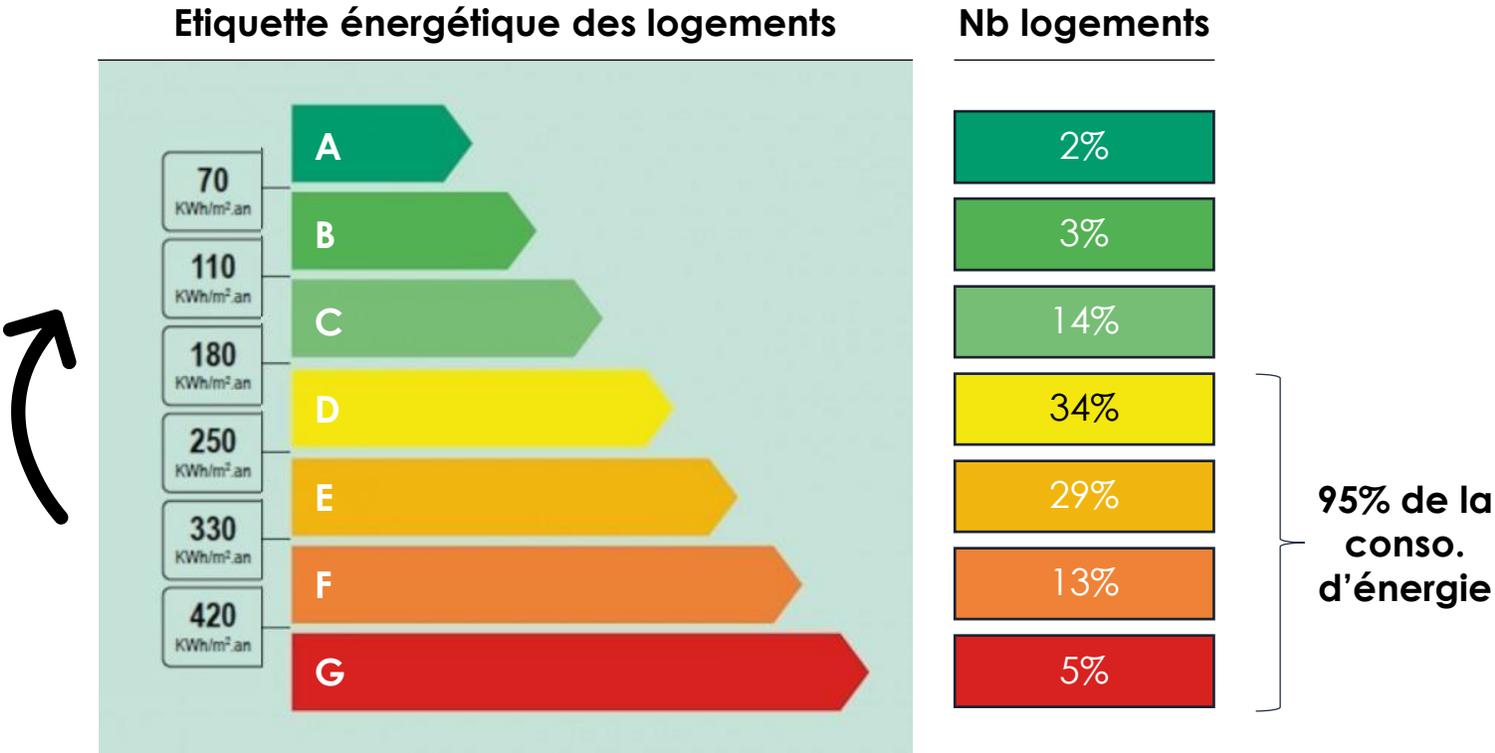
Consommation d'énergie par vecteur (2020, TWh)



Alors quoi faire ?

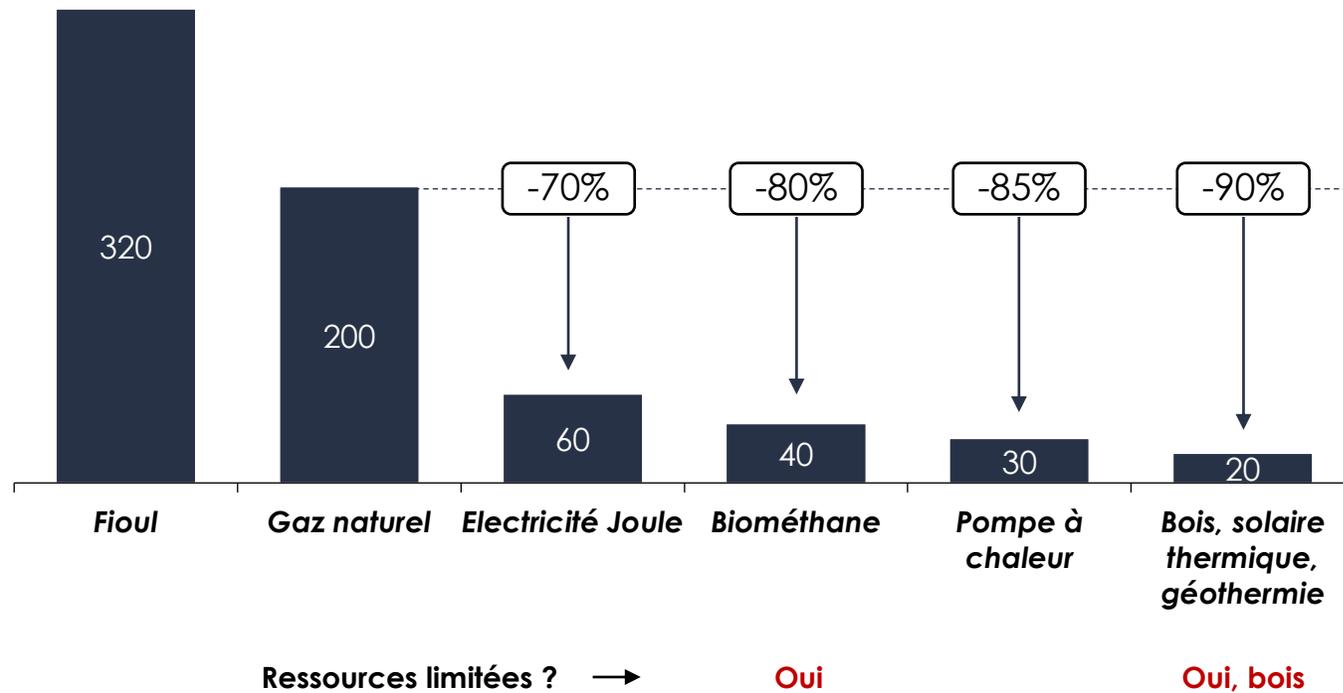


Le grand enjeu est de massifier les rénovations performantes

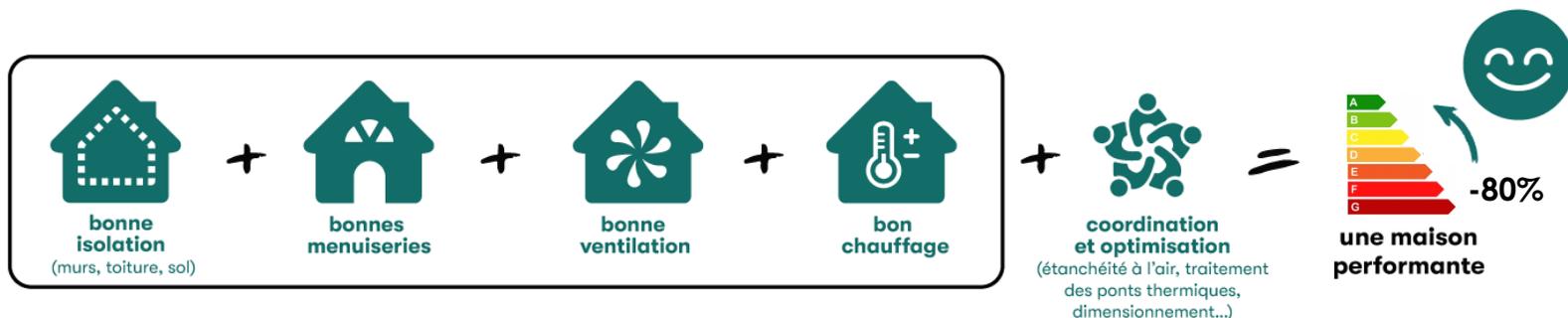


Une fois isolé, le chauffage du logement peut se faire via diverses alternatives aux énergies fossiles

Intensité carbone de différents systèmes de chauffage résidentiel (gCO₂e/kWh)

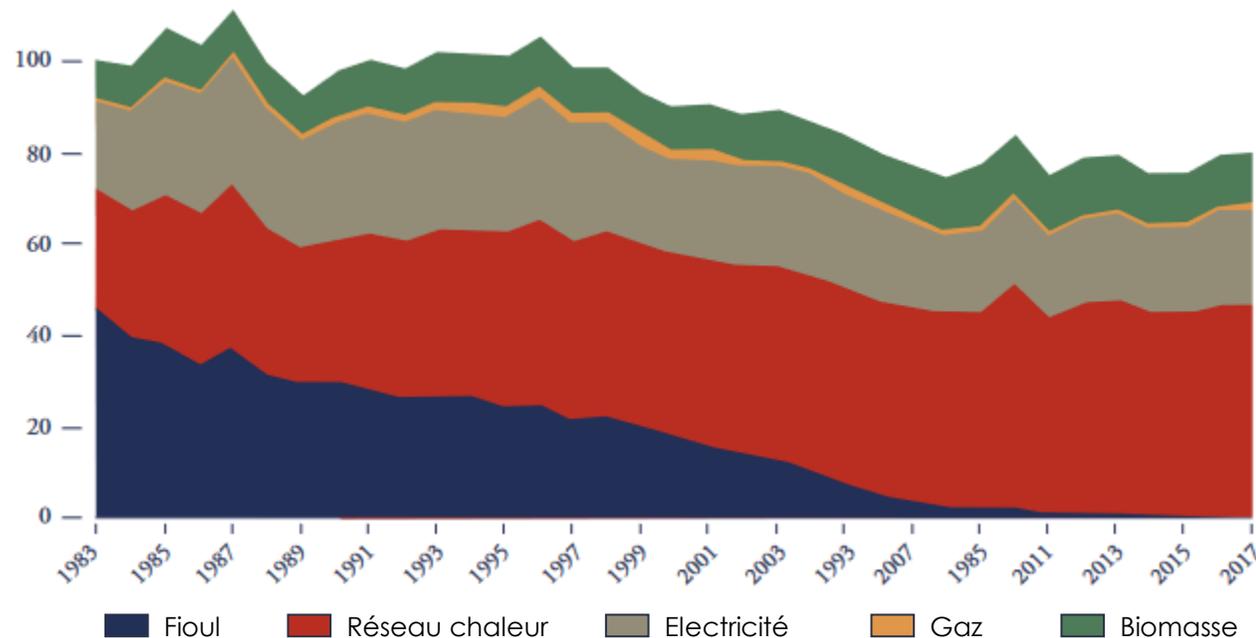


Dorémi : coordonner les corps de métier pour réaliser une rénovation énergétique profonde et performante



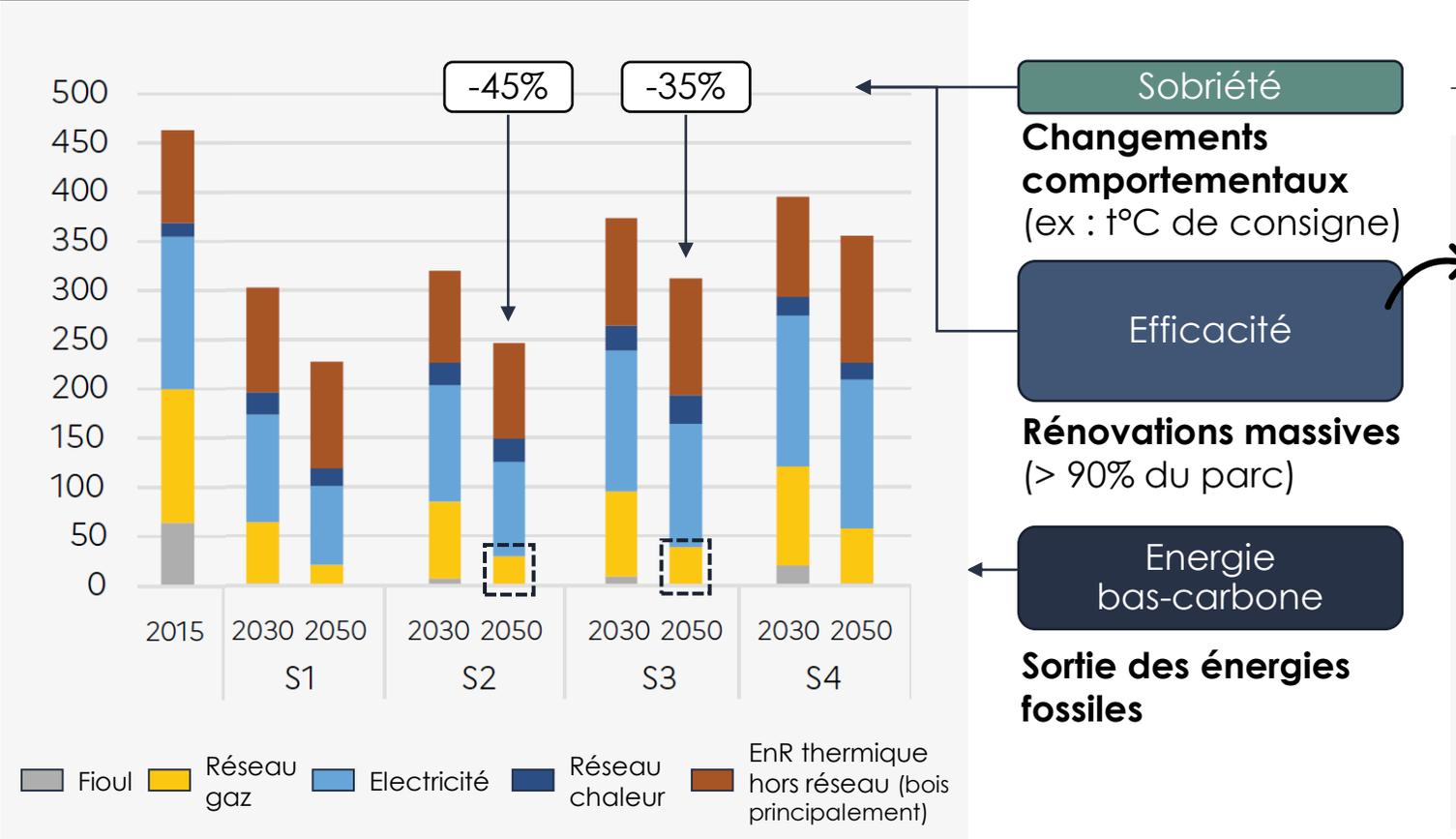
Performance énergétique et carbone du bâtiment : zoom sur la Suède

Consommation énergétique bâtiments suédois (chauffage et eau chaude sanitaire, TWh)



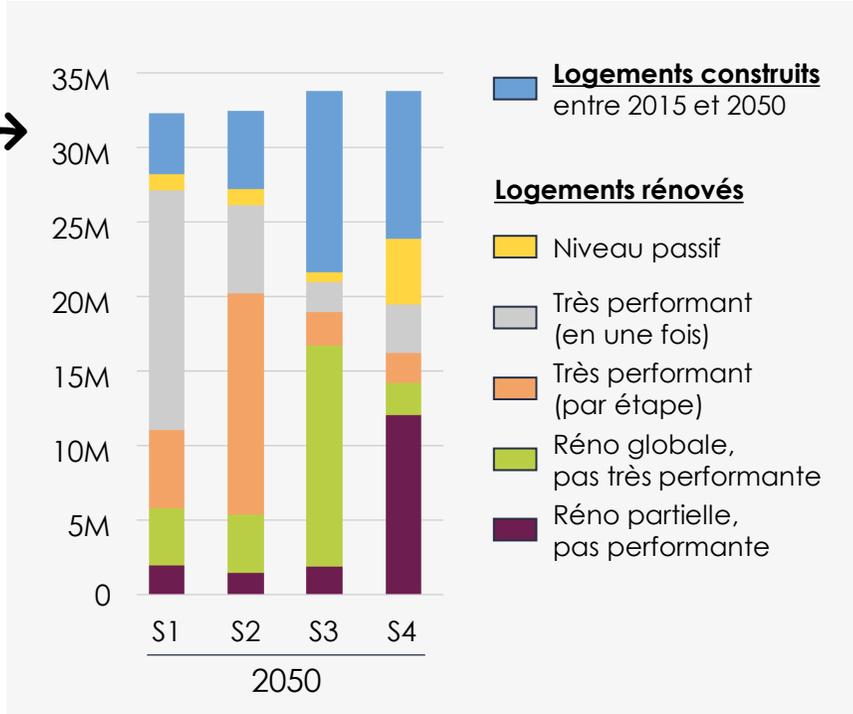
Le résidentiel en 2050 : rénovation et sobriété pour réduire nos consommations d'énergie, quasiment plus d'énergie fossile

Consommation énergétique résidentiel (2015-30-50, TWh)



Perf. énergétique logements (2050, en millions)

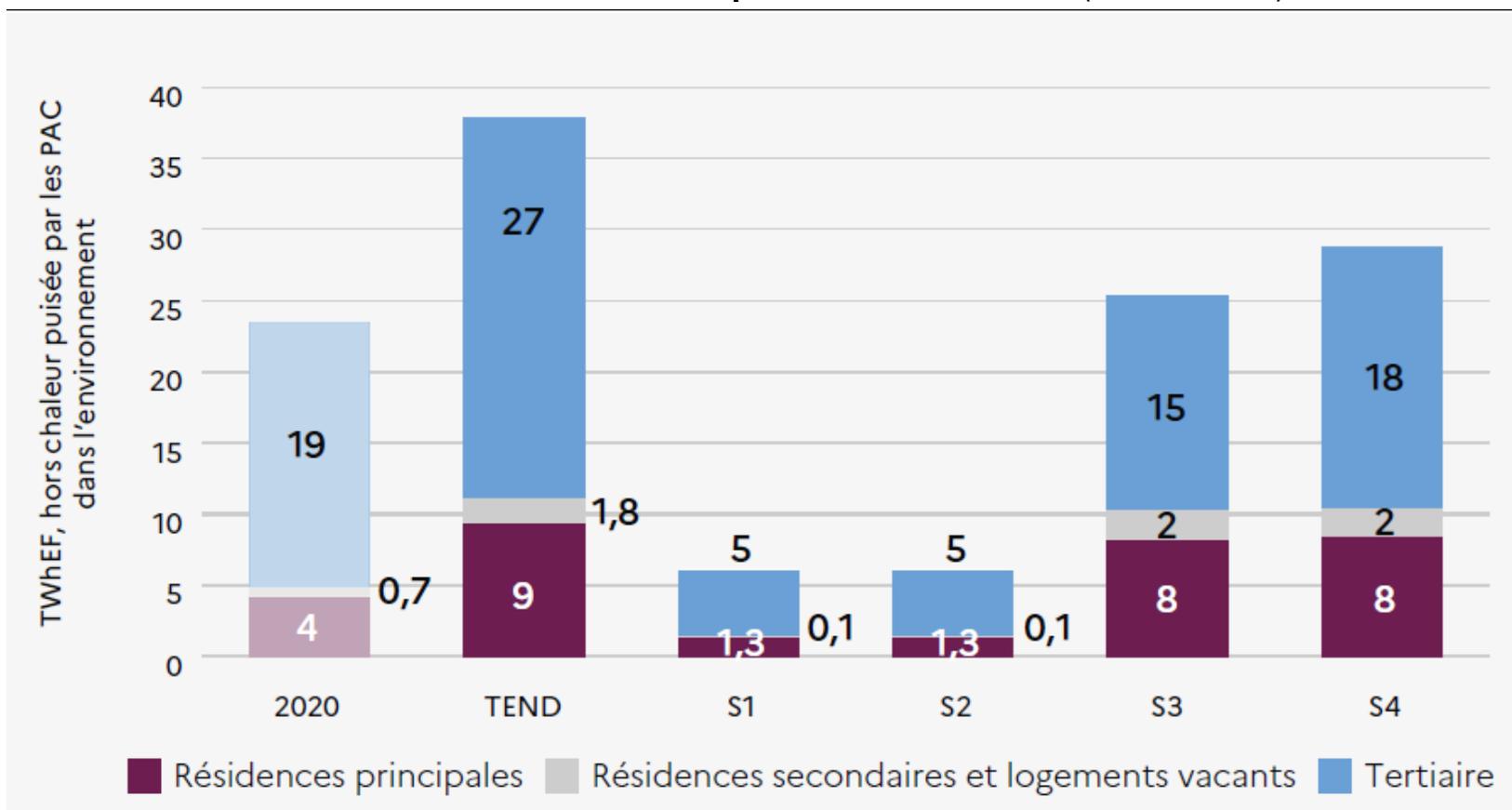
> 700 000 rénovations / an entre 2015 et 2050



Source : Transition(s) 2050, ADEME

Climatisation : l'isolation et les pompes à chaleur permettraient de maîtriser la consommation d'électricité pour la climatisation

Consommation d'électricité pour la climatisation (2020-50, TWh)



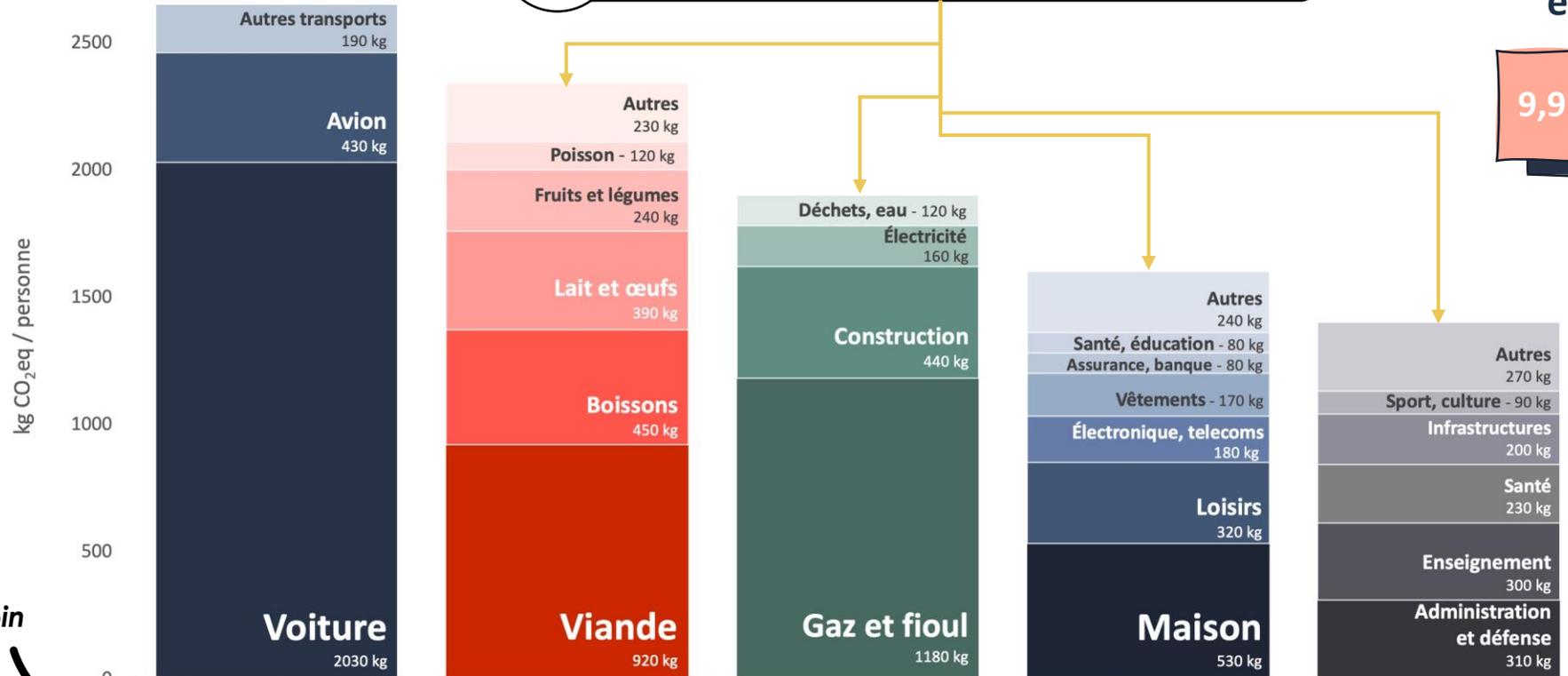
La construction des bâtiments



Energie indirecte bâtiments (construction)
= ~5% de l'empreinte carbone

Empreinte carbone moyenne en France en 2019

9,9 tCO₂eq/personne



Besoin



	Je me déplace	Je mange	Je me loge	J'achète	Dépense publique
kgCO ₂ e/personne	2650 kg	2350 kg	1900 kg	1600 kg	1400 kg
kWh/personne	9 000 kWh	3 000 kWh	10 000 kWh	7 000 kWh	7 000 kWh
% énergie bas-carbone	5%	15%	50%	40%	45%



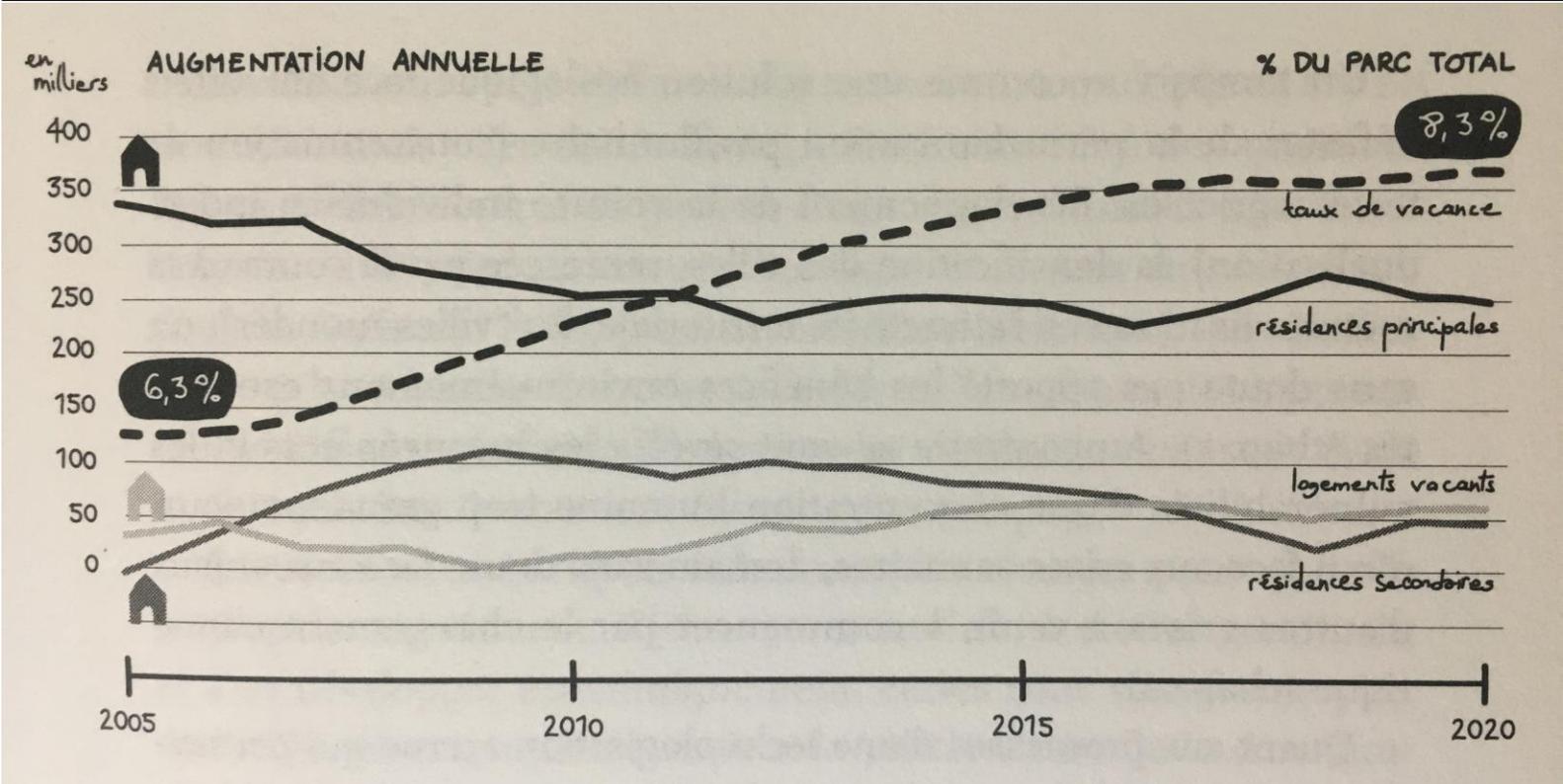
Données en cycle de vie : toute l'énergie et les émissions nécessaires à la satisfaction d'un besoin

Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).

Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

En France, nous construisons plus que nos besoins en résidences principales

Evolution annuelle du parc de logements et du taux de vacance

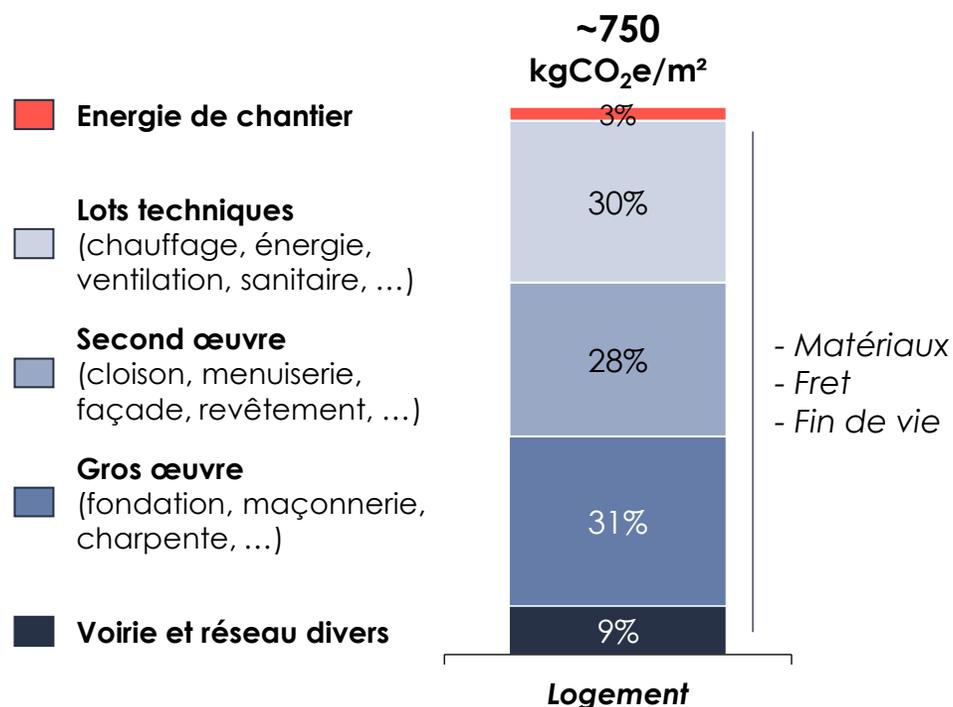


Sources : *La ville stationnaire*, Philippe Bihoux, Sophie Jeantet, Clémence de Selva ; <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-du-logement-edition-2022>

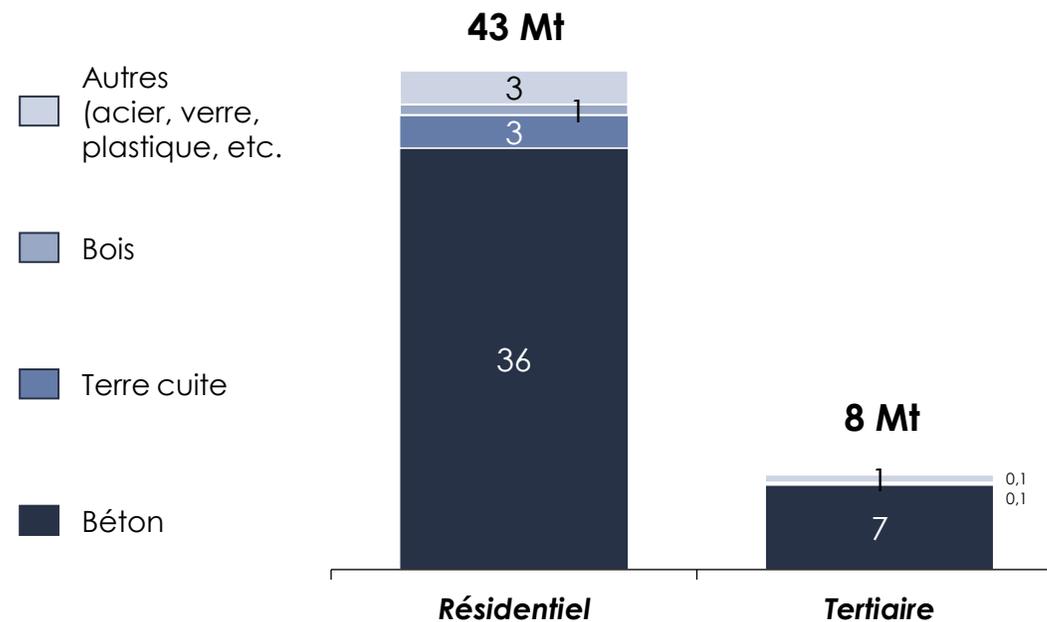
Energie indirecte : 97% des émissions liées à la construction sont générées hors chantier ; le béton est le matériau principal

Emissions liées à la construction neuve (2018, kgCO₂e/m²)

Hors consommation énergie et eau

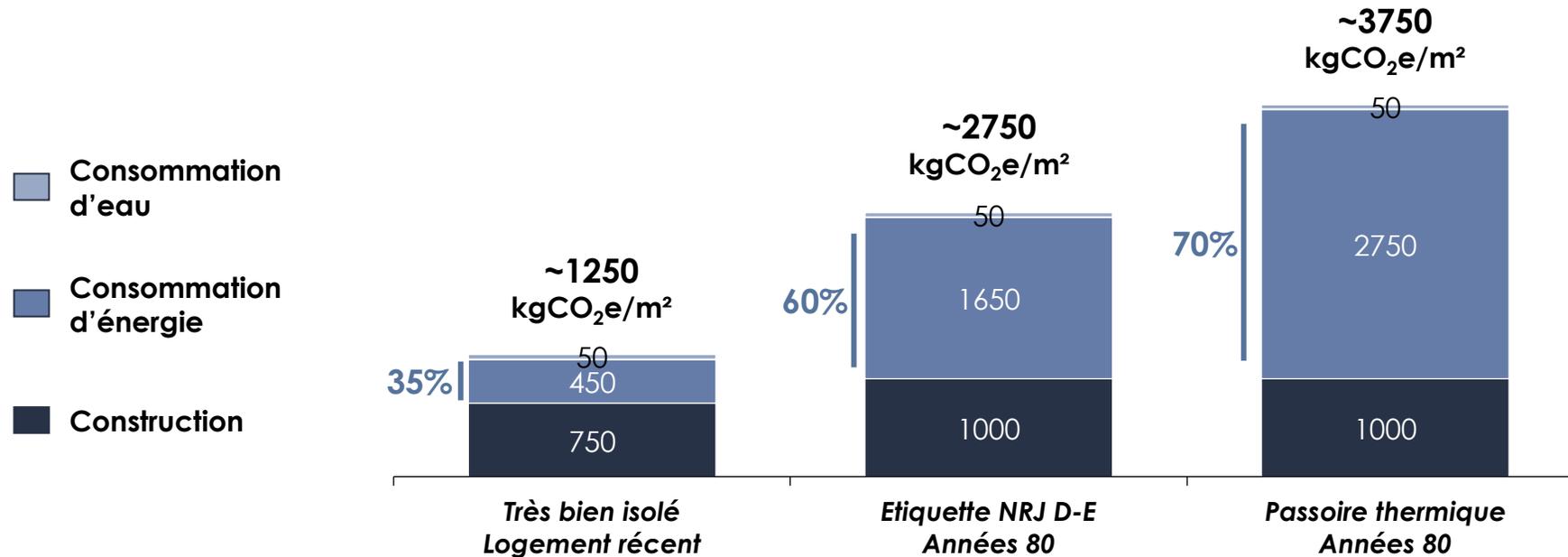


Consommation de matériaux (2015, Mtonnes)



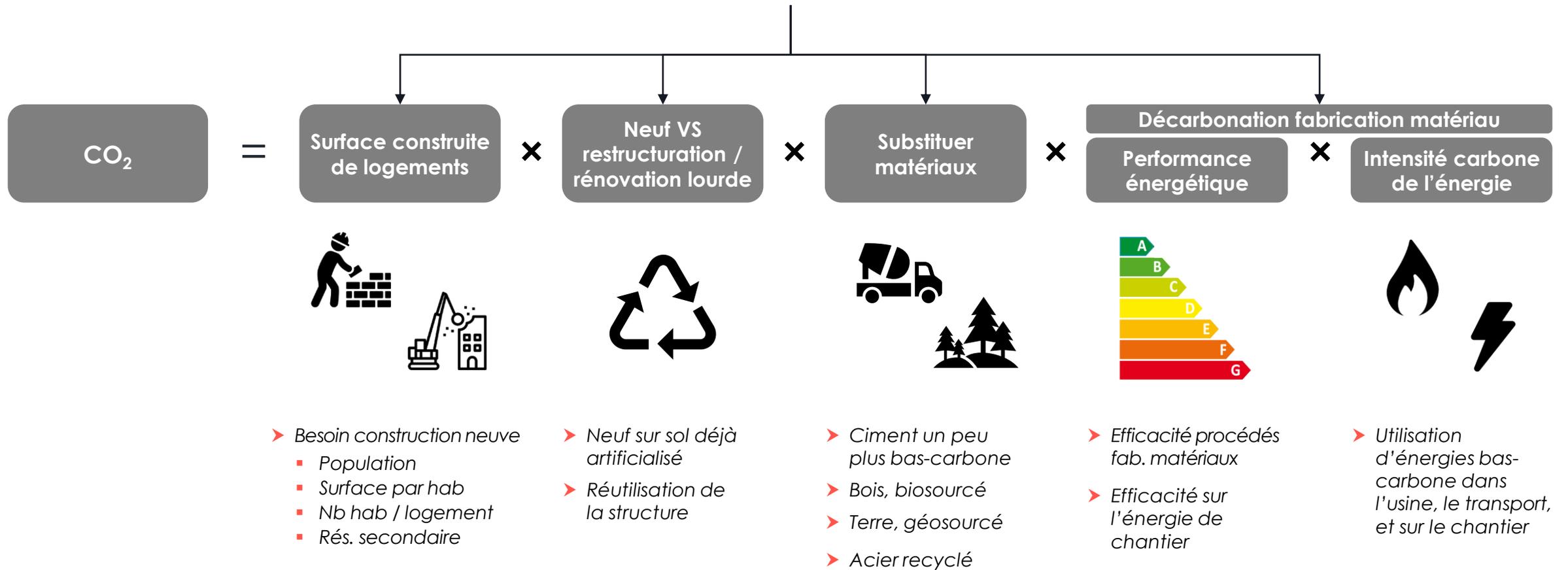
La part des émissions liées à la consommation d'énergie dépend fortement du niveau d'isolation

Empreinte carbone sur 50 ans d'un logement (2018, kgCO₂e/m²)



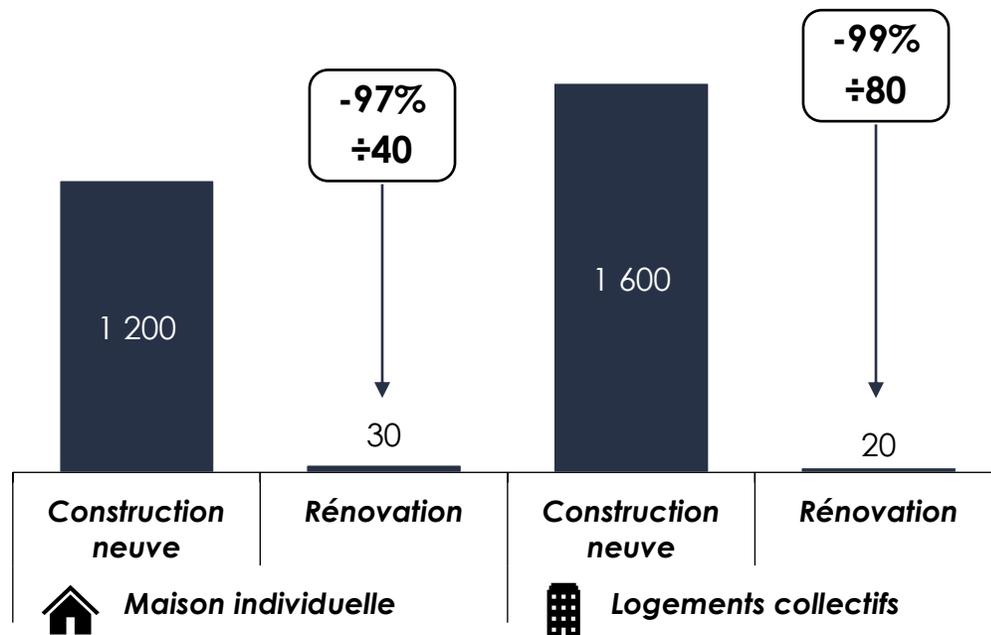
Alors quoi faire ?

Décomposition des leviers d'émissions indirectes du résidentiel



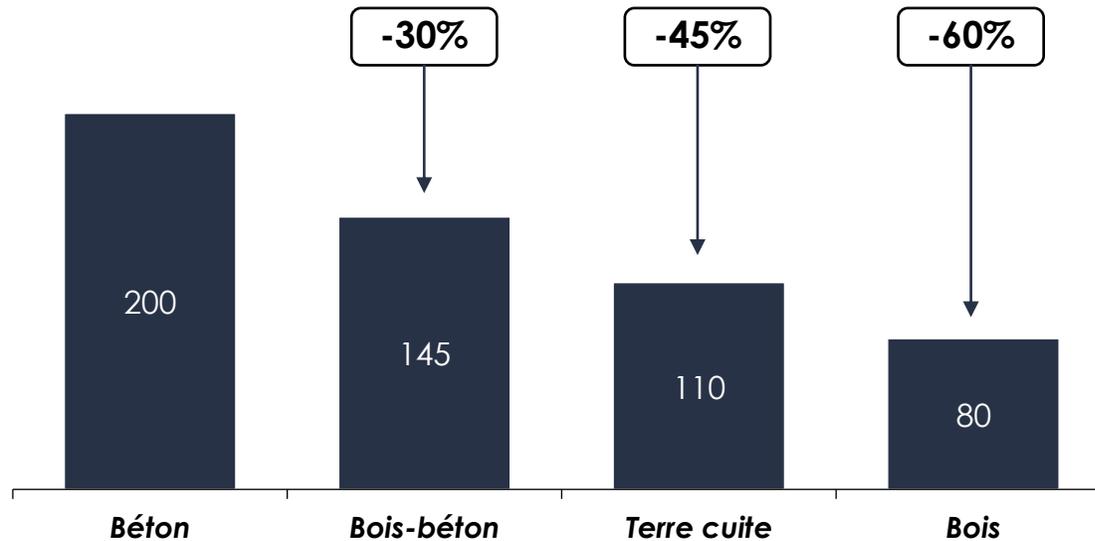
La construction neuve consomme 40 à 80 fois plus de matériaux que la rénovation

Construction VS rénovation : consommation de matériaux (2015, kg / m²)



L'introduction du bois permet de réduire de 30 à 60% les émissions liées à la construction de la structure du bâtiment dès aujourd'hui

Empreinte carbone pour la structure du bâtiment (2018, kgCO₂e / m²)

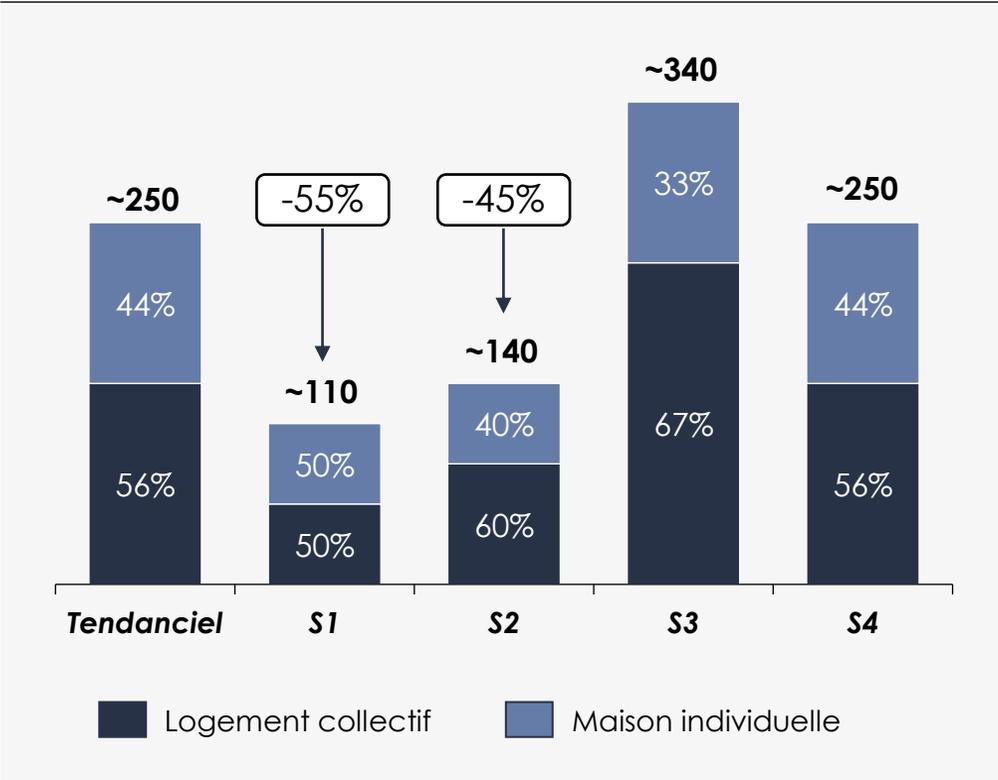


Note : le périmètre porte sur les logements collectifs

Sources : [La ville stationnaire](#), Philippe Bihoux, Sophie Jeantet, Clémence de Selva ; IFPEB, Brief biosourcés, <https://www.ifpeb.fr/restitution-des-messages-clefs-de-lapi-materiaux-biosources-du-hub-des-prescripteurs-bas-carbone/>

Le résidentiel en 2050 : rénovation et sobriété pour réduire nos consommations d'énergie, quasiment plus d'énergie fossile

Moyenne annuelle du nombre de logements neufs construits entre 2015 et 2050 (Milliers de logements, par an)



Sobriété

- Moins de neuf (résidences secondaires, vacantes, sous-occupées)
- Plus de logements collectifs

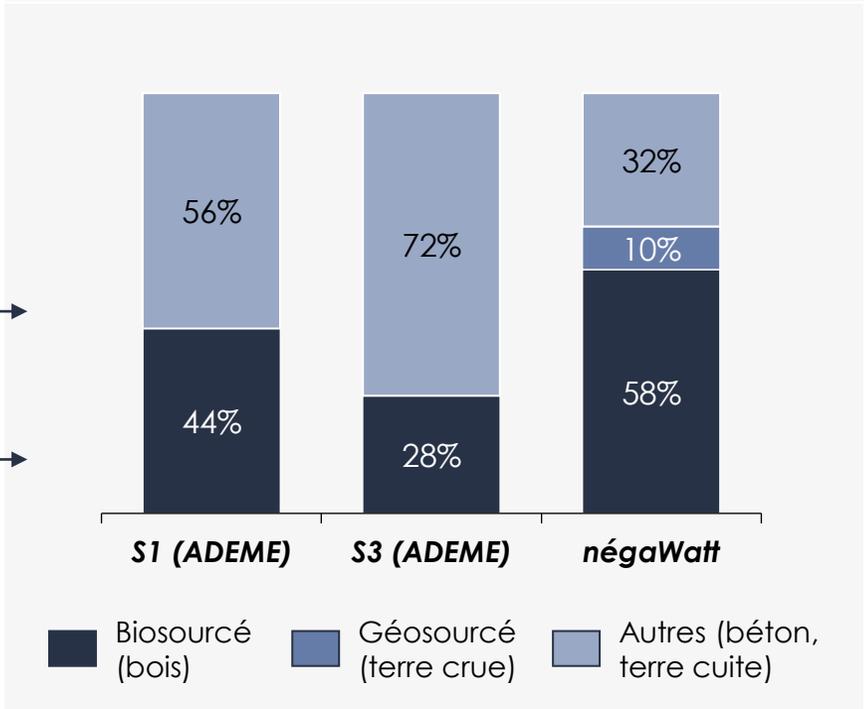
Efficacité

Process optimisé

Energie et matériau bas-carbone

Biosourcé + géosourcé

Part des modes constructifs (2050, %)



Source : Transition(s) 2050, ADEME ; scénario 2022 négaWatt

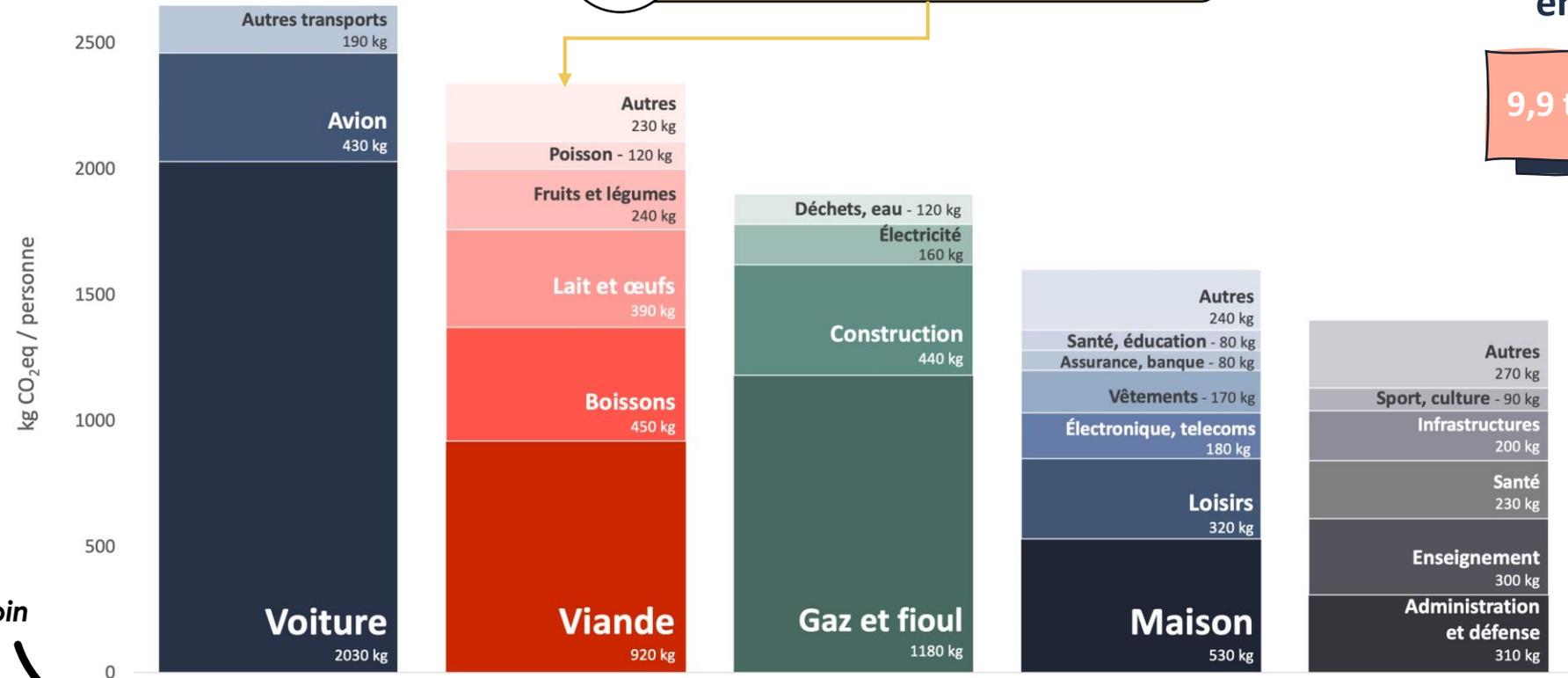
L'alimentation



Alimentation
= ~25% de l'empreinte carbone

Empreinte carbone moyenne en France en 2019

9,9 tCO₂eq/personne



Besoin



	Je me déplace	Je mange	Je me loge	J'achète	Dépense publique
kgCO ₂ e/personne	2650 kg	2350 kg	1900 kg	1600 kg	1400 kg
kWh/personne	9 000 kWh	3 000 kWh	10 000 kWh	7 000 kWh	7 000 kWh
% énergie bas-carbone	5%	15%	50%	40%	45%



Données en cycle de vie : toute l'énergie et les émissions nécessaires à la satisfaction d'un besoin

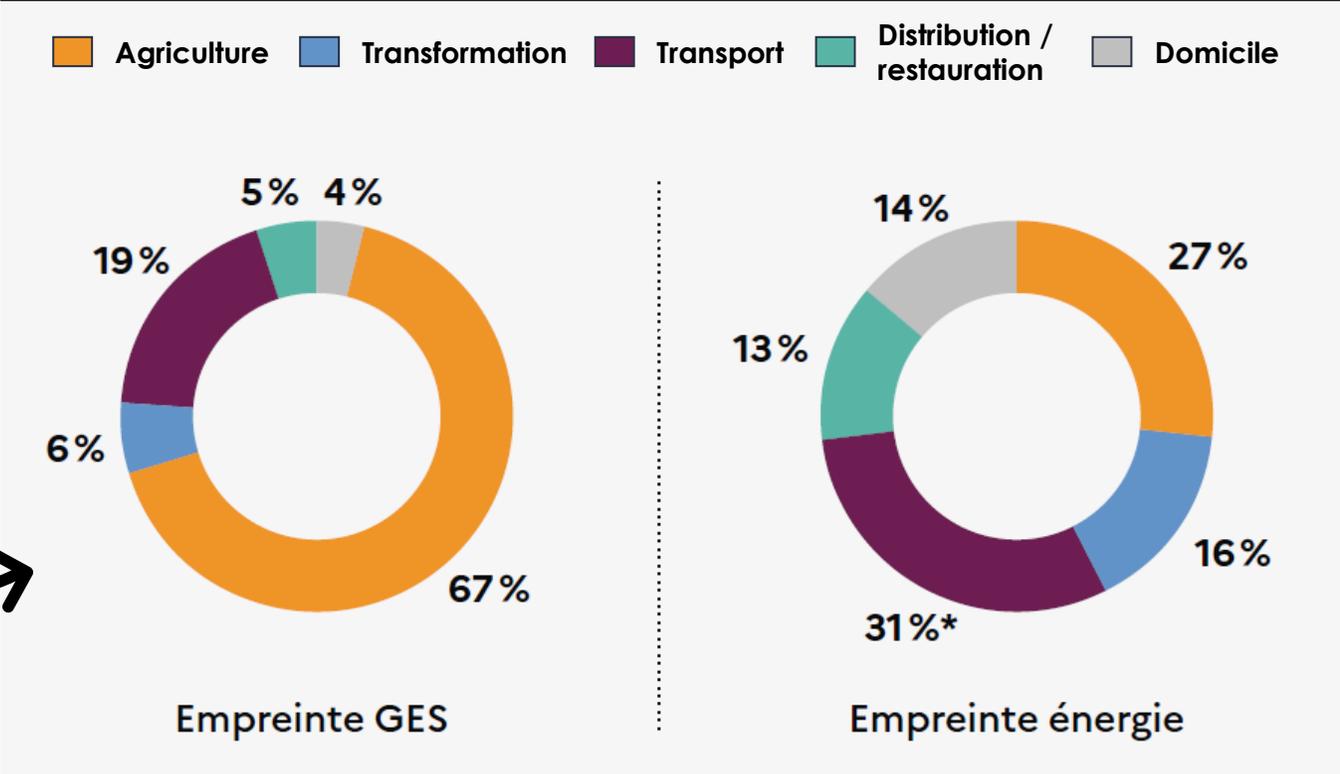
Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (trainées de condensation).
Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

Empreinte gaz à effet de serre et énergie : deux répartitions différentes dans l'alimentation

Empreinte gaz à effet de serre (GES) et énergie - alimentation des Français

3 gaz à effet de serre au champ

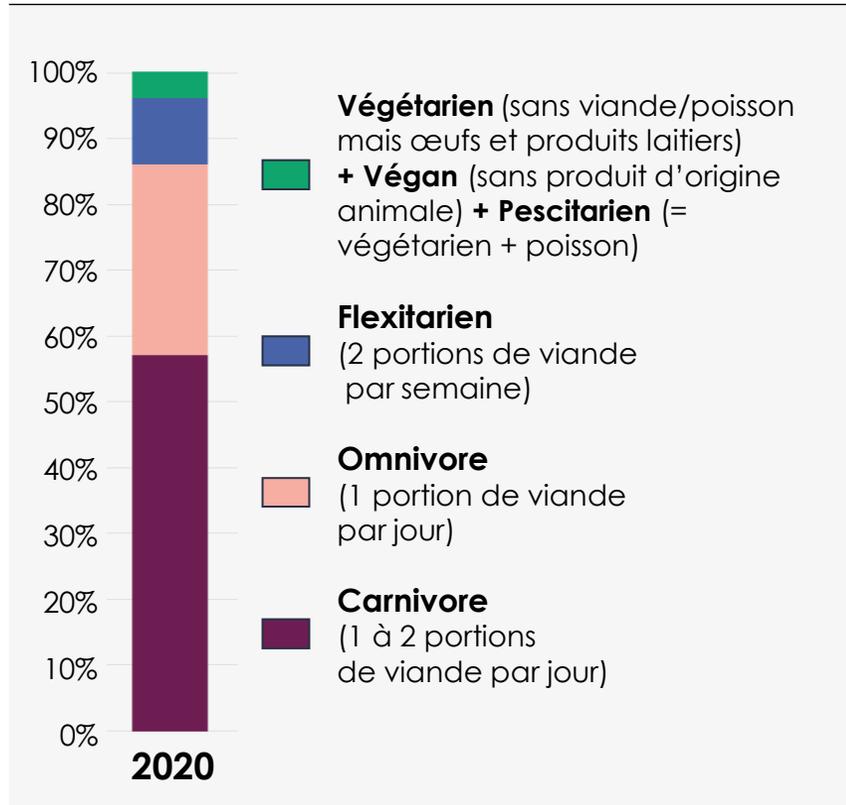
- 45% = CH₄ = fermentation (système digestif, fumier/lisier)
 - 90% = bovins
- 40% = N₂O = l'utilisation des engrais minéraux azotés
- 15% CO₂ = énergie (bâtiments, tracteurs)



Note : (*) dont déplacement des ménages pour 9%
Source : Transition(s) 2050, ADEME

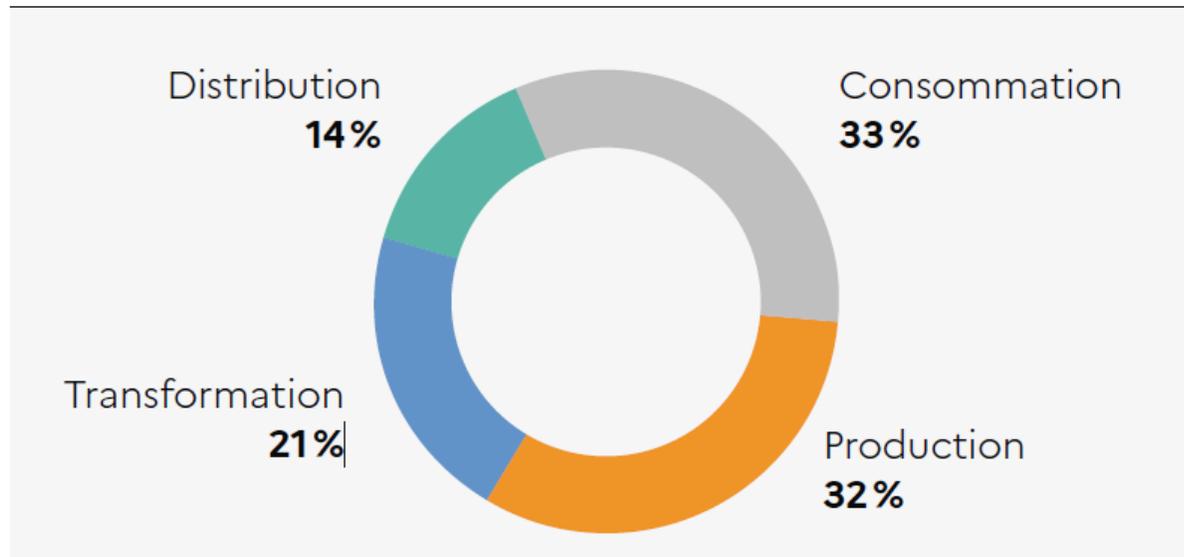
15% de régimes alimentaires peu carnés

Régimes alimentaires population française



Un tiers de la production alimentaire perdue

Répartition des pertes et gaspillages alimentaires
en France en 2016 (% des tonnages)



Alors quoi faire ?

Décomposition des leviers d'émissions de l'agriculture

Gaz à effet de serre

=

Quantité de nourriture

×

Substituer aliments

×

Plus qualitatif, plus raisonné

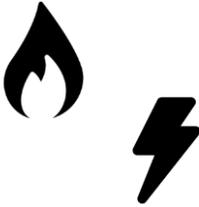
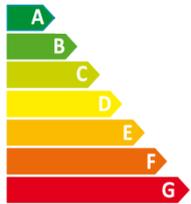
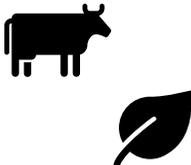
×

Décarbonation production alimentaire

×

Performance énergétique

Intensité carbone de l'énergie



- Manger moins
- Moins de gâchis

- Produits d'origine animale VS végétale

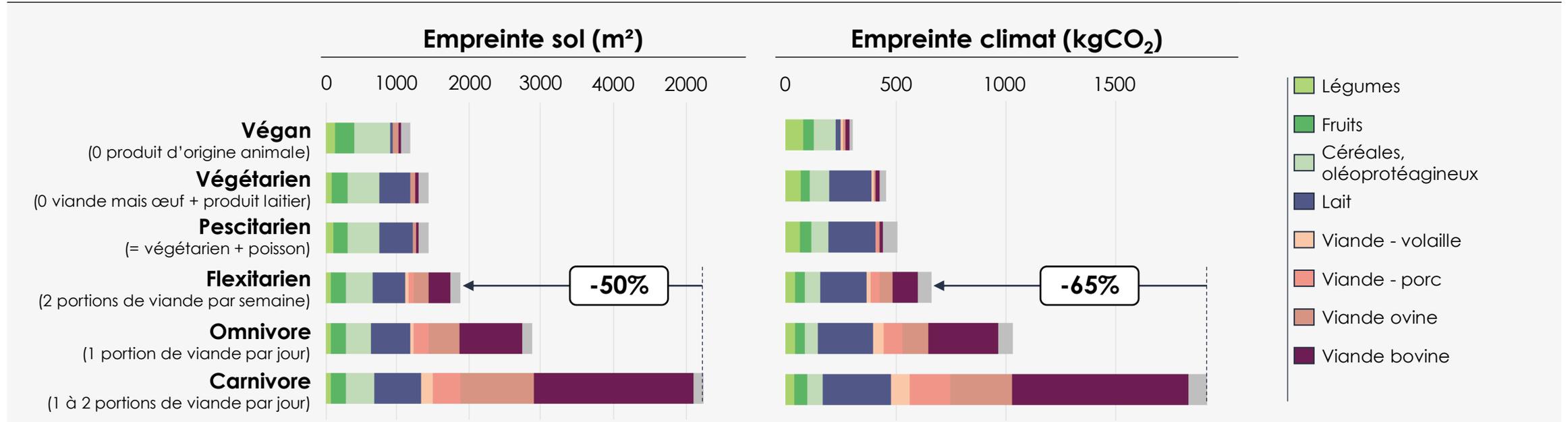
- Biologique
- De saison
- Locale
- Moins transformée
- En vrac

- Efficacité des procédés de transformation
- Efficacité sur l'énergie à la ferme

- Utilisation d'énergies bas-carbone dans l'usine, le transport, et à la ferme

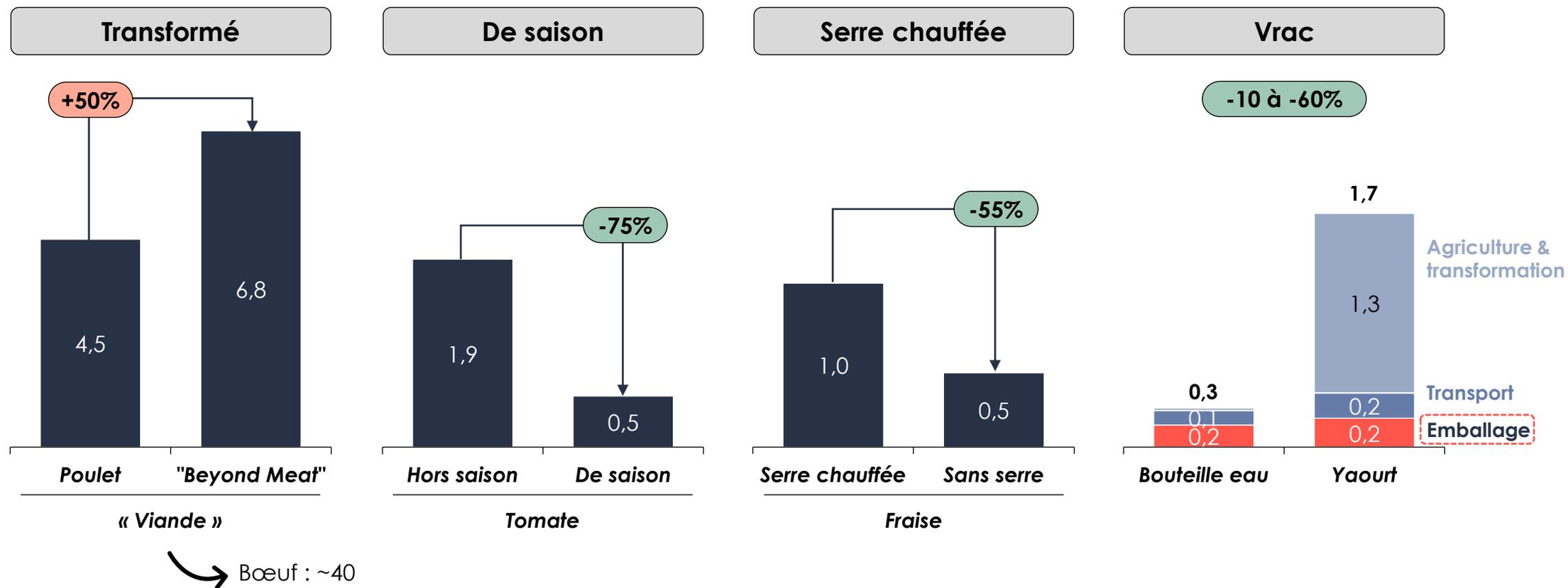
Régime flexitarien VS carnivore : -65% d'impact climat, et -50% d'empreinte sol

Empreinte de différents régimes alimentaires actuels des Français



Manger moins transformé, de saison, et en vrac réduit significativement les émissions de gaz à effet de serre

Impact climatique de quelques actions liées à l'alimentation (kgCO₂e/kg produit)

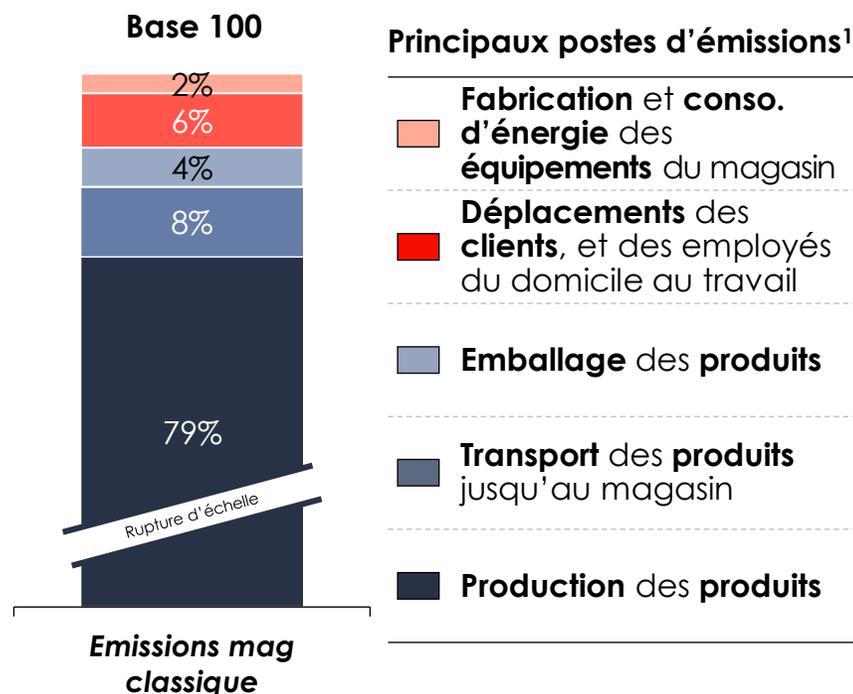


Un petit magasin de 40 m² « bio, végétal, local, en vrac » émet 45% de moins d'émissions qu'un magasin classique

D'un magasin classique...

... à des petits magasins de 40 m²
« bio, végétal, local, en vrac, de proximité »

Equivalent en nombre de clients



	Impact
Moins de surface à chauffer/rafraîchir Moins d'armoires réfrigérées car offre centrée sur les produits essentiels	-65%
Magasin proche, accessible à pied ou en vélo	-40%
95% de produits en vrac : fruits, légumes, produits secs, moutarde, olives produits ménagers, etc. Produits laitiers consignés dans des bocaux en verre	-90%
85% de produits FR dont la moitié du département	-65%
100% bio, peu de produits d'origine animale	-45%
Total	-45%

Notes : (1) Cuisson et réfrigération des produits à domicile, emballage logistique amont, déplacements professionnels, consommation d'eau, dépenses hors produits du magasin, construction du magasin, déchets générés par les invendus représentent 6% de l'empreinte et ne sont pas affichées pour faciliter la lecture
Sources : Agribalyse, ADEME, LSA, MTEs, analyses Alexandre Joly

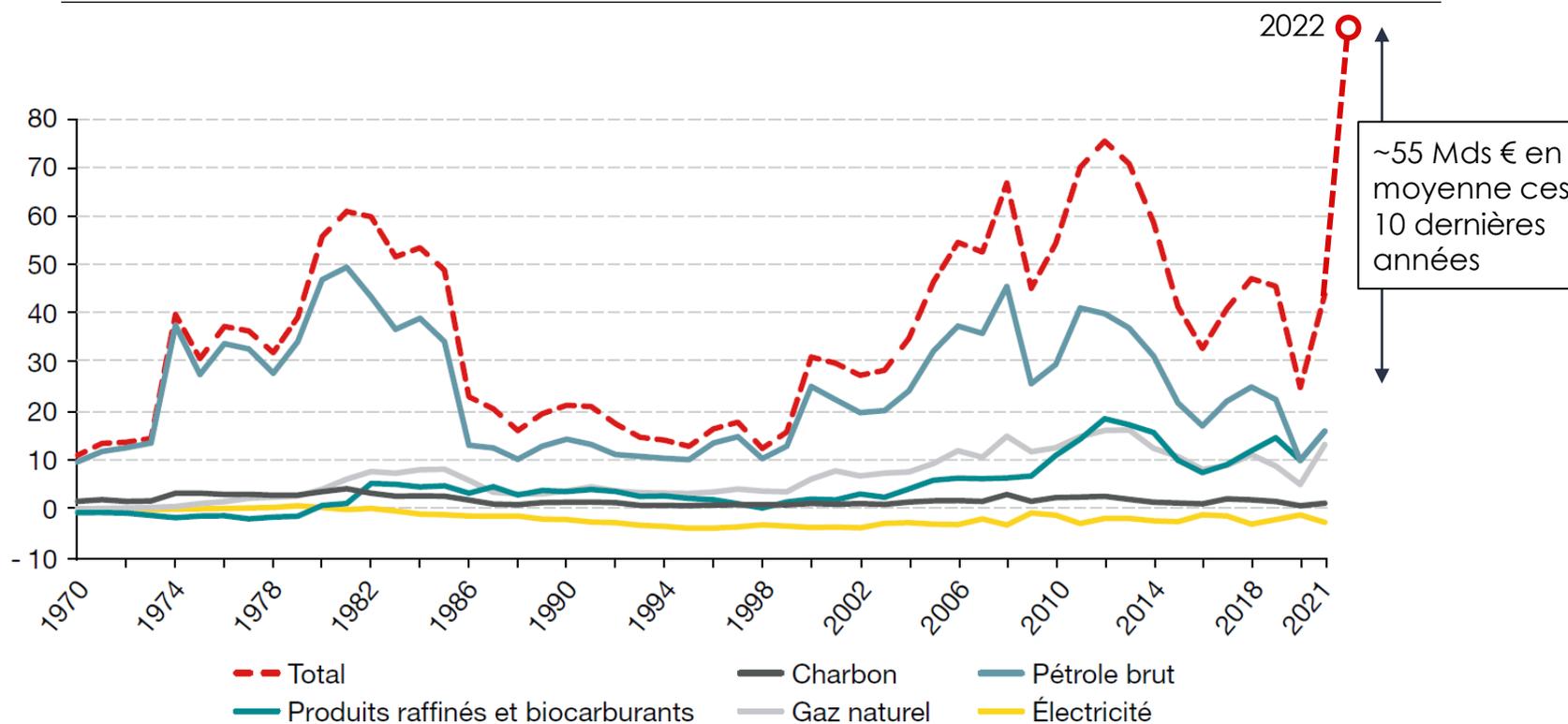
Au menu pour l'agriculture 2050 : végétaliser l'assiette, revoir les modes de production, et produire de l'énergie renouvelable

Scenarios ADEME	Actuel	S1	S2	S3	S4
Consommation de viande (g/jour)	123	-70%	-50%	-30%	-10%
Empreinte climat de la production agricole (kgCO2e/an)	1500	-45%	-30%	-20%	-5%
Empreinte sol de la production agricole (m²)	4300	-40%	-30%	-15%	-5%

Et si la transition énergétique nous rendait plus résilients ?

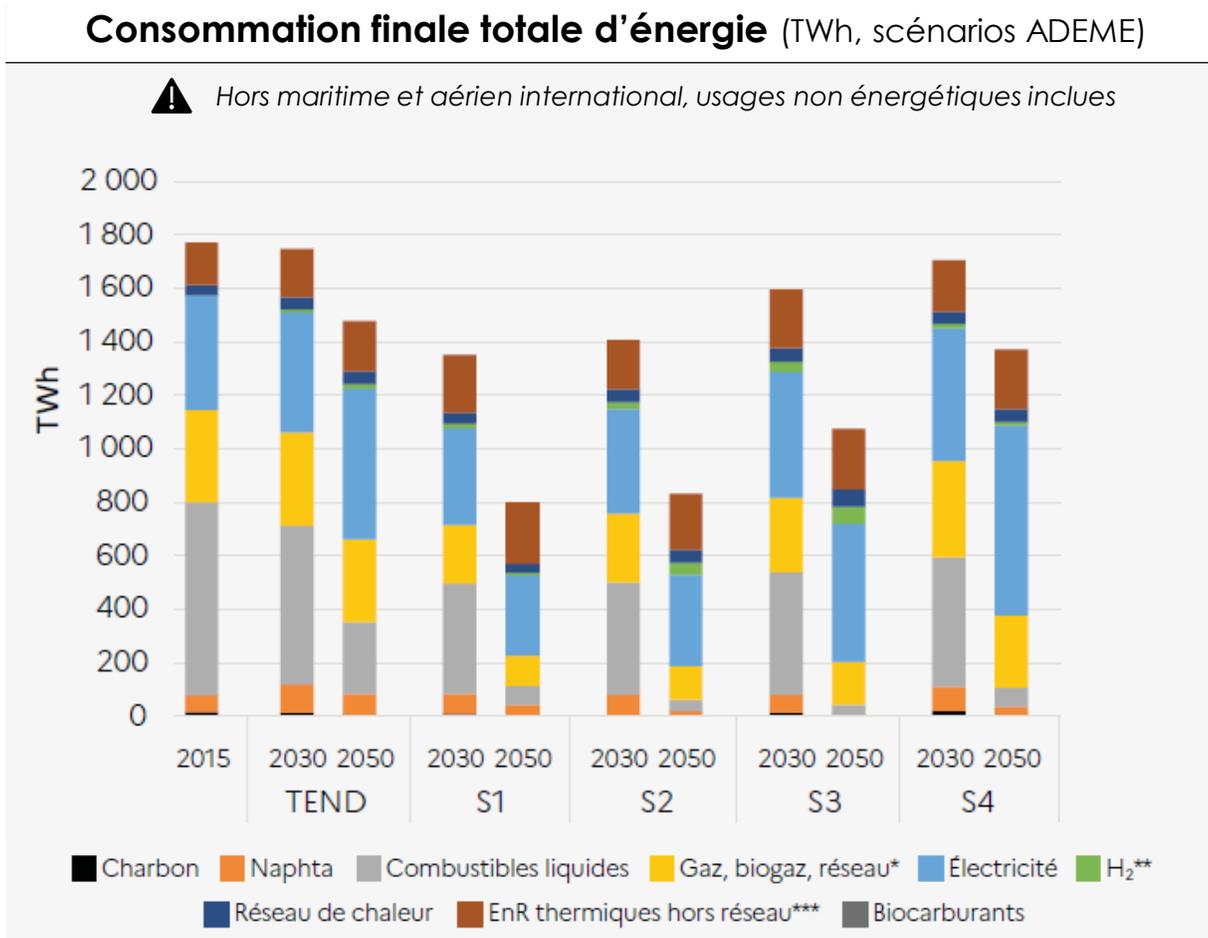
Les énergies fossiles, une dépendance qui alourdit notre déficit commercial

Facture énergétique de la France (1970-2022, Mds € 2021/an)

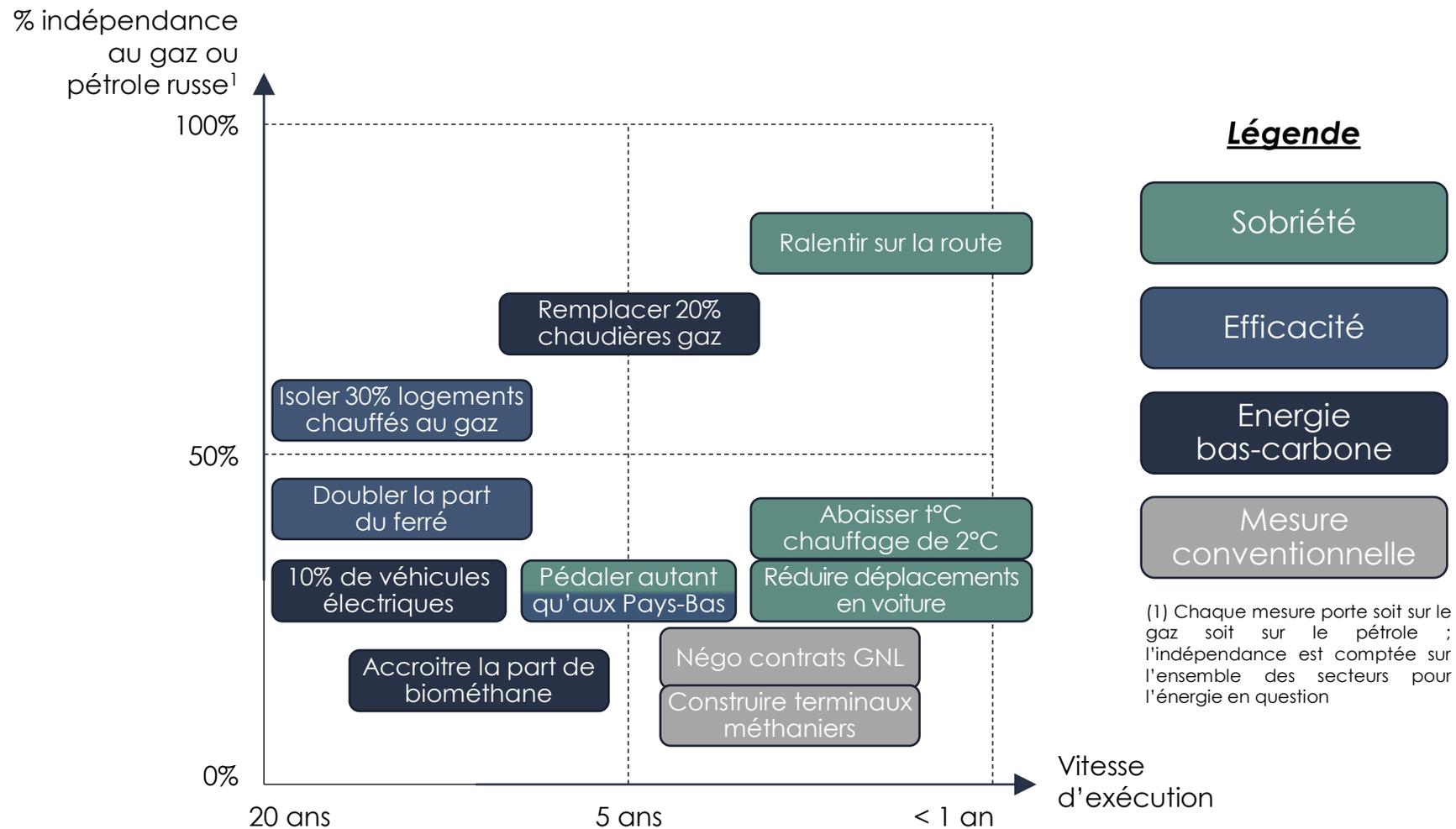


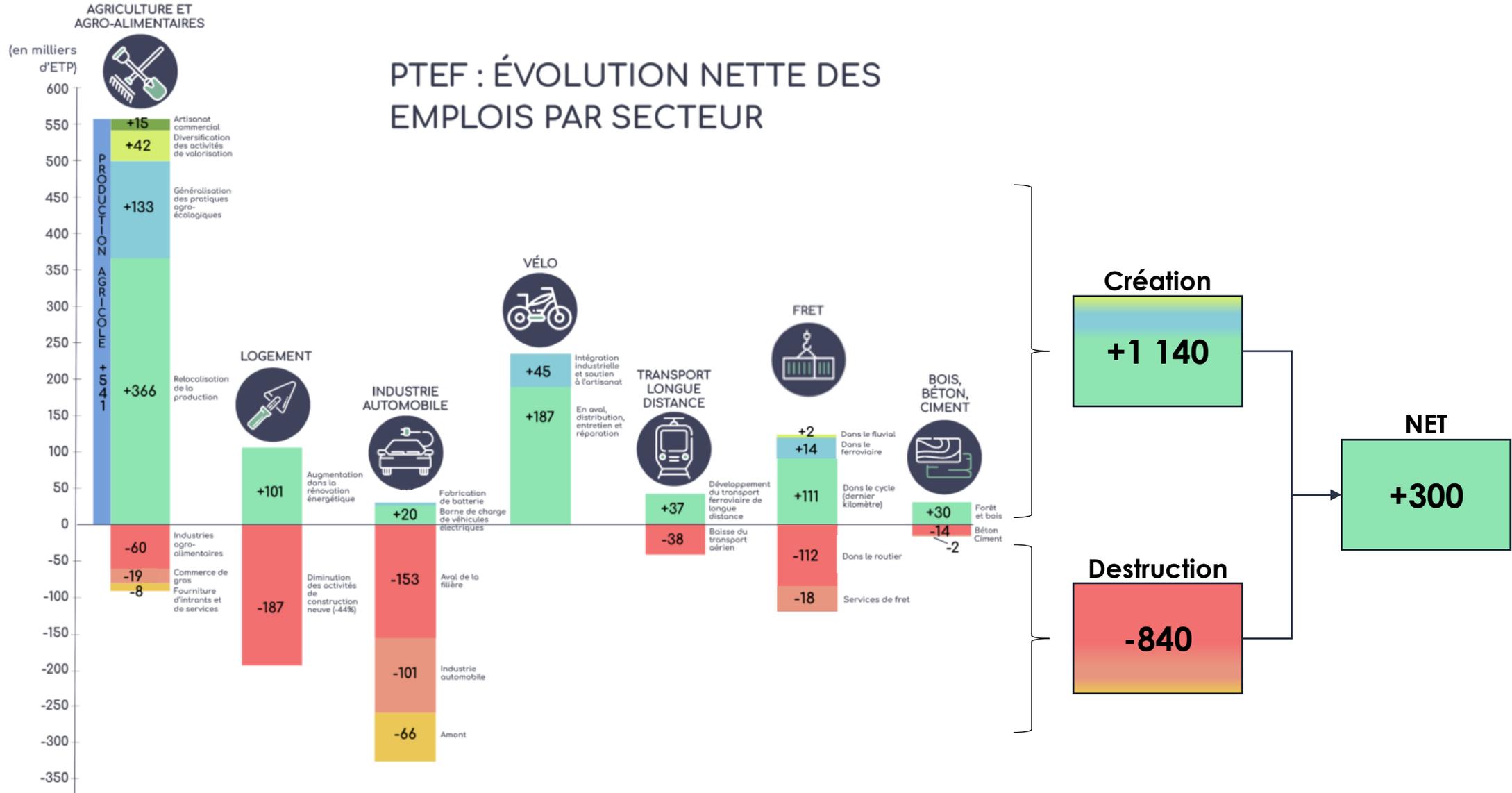
Sources : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2022/> ;
<https://www.euractiv.fr/section/energie/news/la-facture-energetique-francaise-depassera-les-100-milliards-deuros-en-2022/> ;
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2381430>

La transition énergétique augmente notre indépendance, et nos marges de manœuvre financières en réduisant notre facture énergétique



La sobriété est un levier activable rapidement pour regagner en indépendance : illustration sur l'énergie directe et la guerre en Ukraine

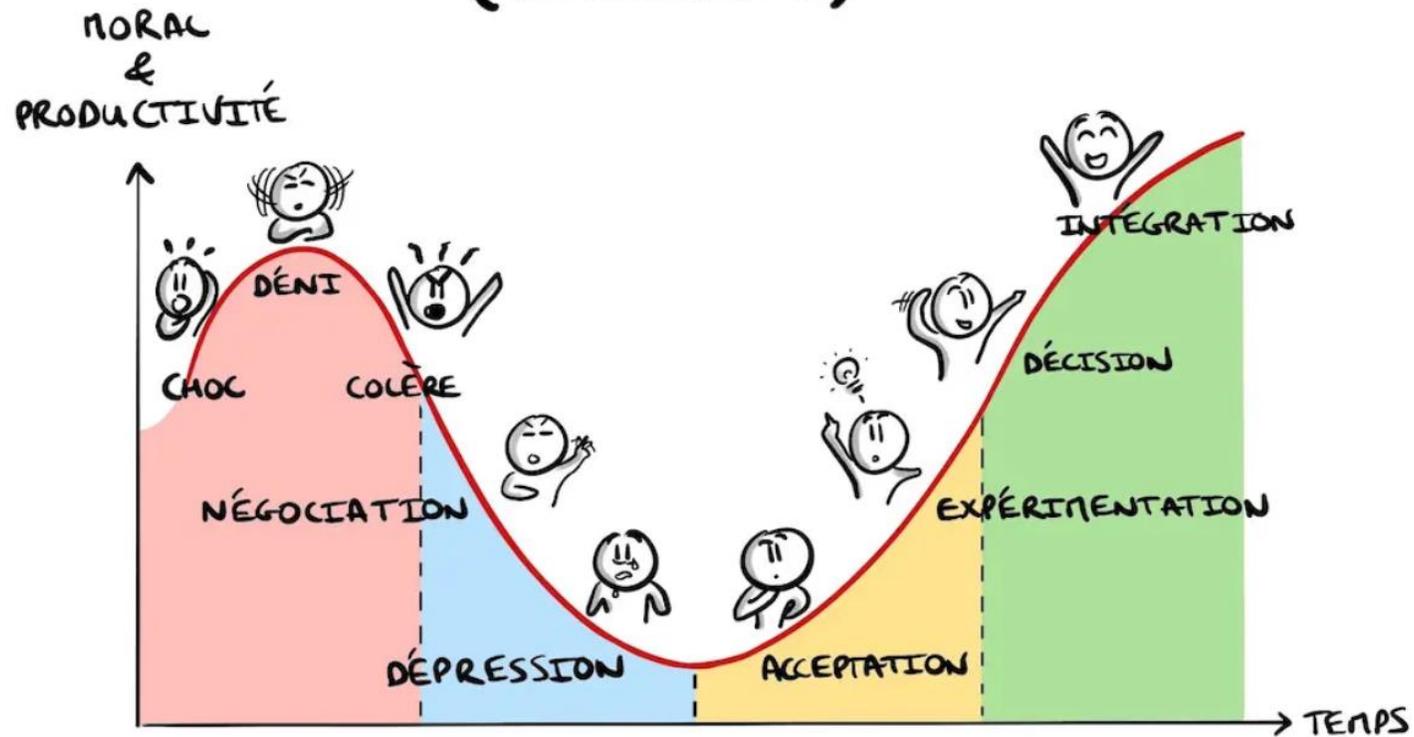




Source : https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/12/TSP_RF-Emploi_Synthese.pdf ; <https://waystoshift.com/emploi-moteur-transformation-bas-carbone-ptef/>

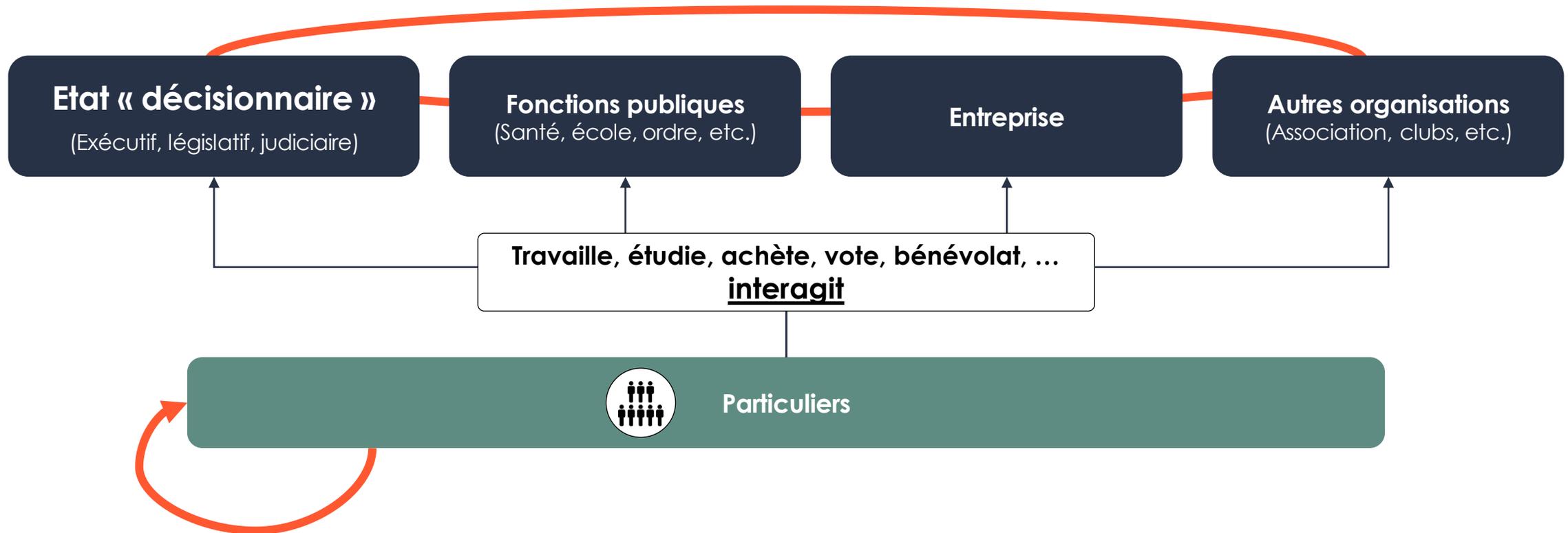
Prendre conscience ne vous fait pas passer à l'action tout de suite

ÉTAPES DU CHANGEMENT (KÜBLER ROSS)



@BLOCULUS

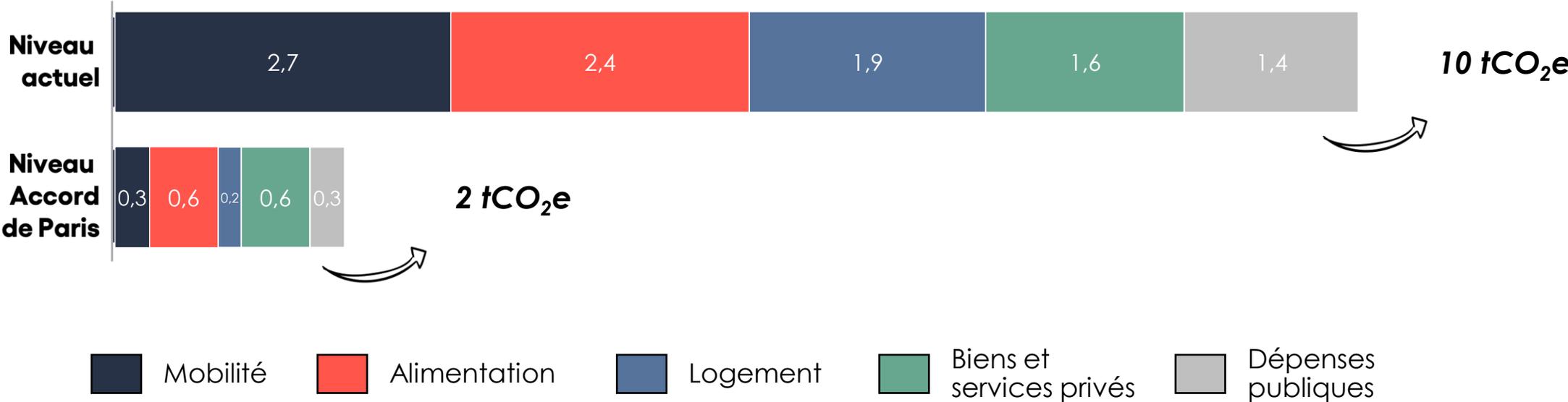
Il n'y a pas un seul responsable car tout simplement, la société est un système complexe où toutes les parties interagissent entre elles



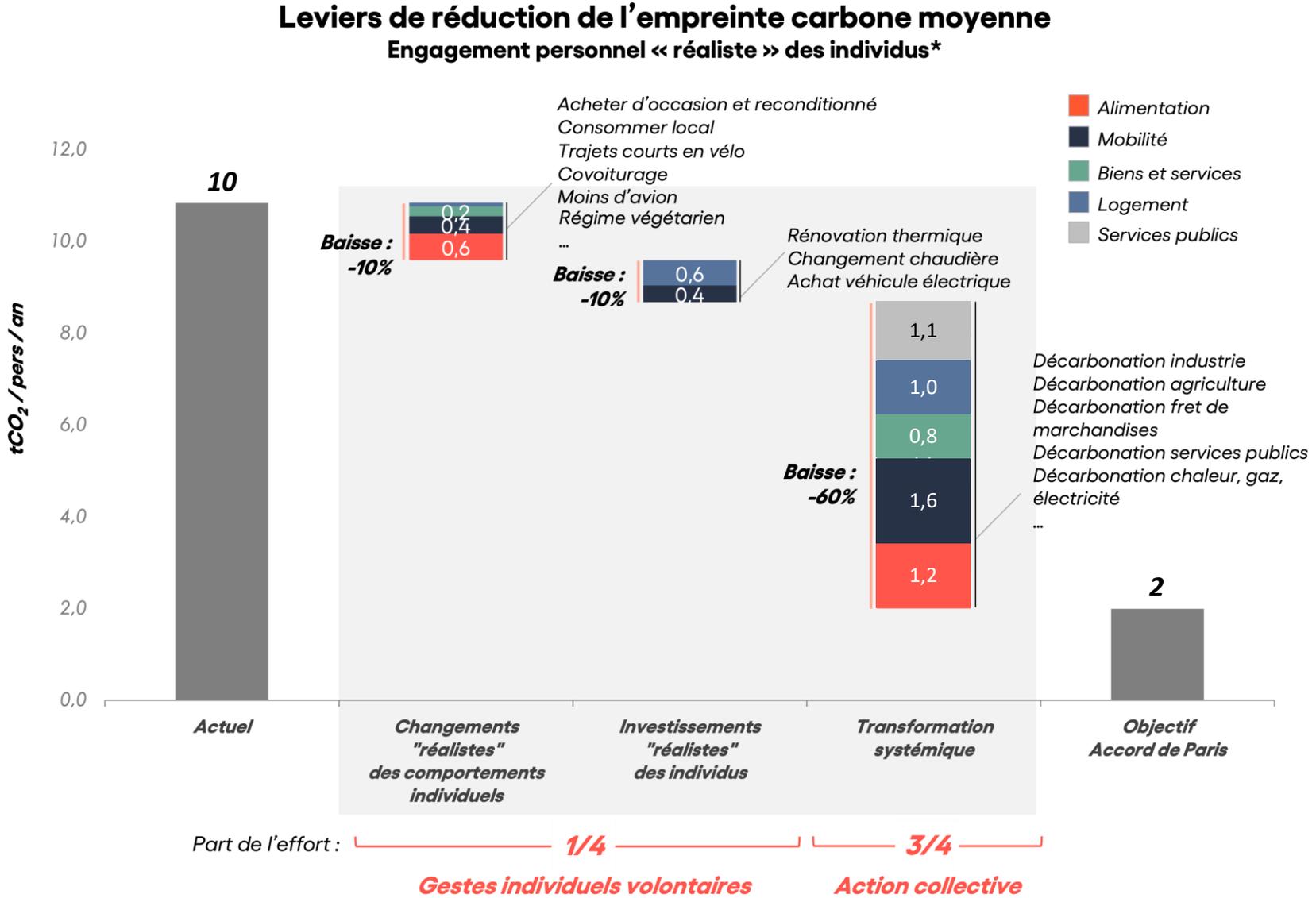
En moyenne, un Français doit diviser par 5 ses émissions pour « faire sa part » afin de maintenir le réchauffement climatique sous les 2°C

Empreinte carbone moyenne d'un Français

tCO₂e, 2019-2050



Le gros de l'effort passe par une réorganisation collective => Etat



<https://www.carbone4.com/publication-faire-sa-part>