



Emmanuel Rauzier
expert industrie



Adrien Jacob
et Adrien Toledano
chargés de mission énergie

WEBINAIRE

Transition énergétique :
quel impact
sur les ressources
en matériaux ?

24 mai 2022 à 12h



ASSOCIATION
négaWatt



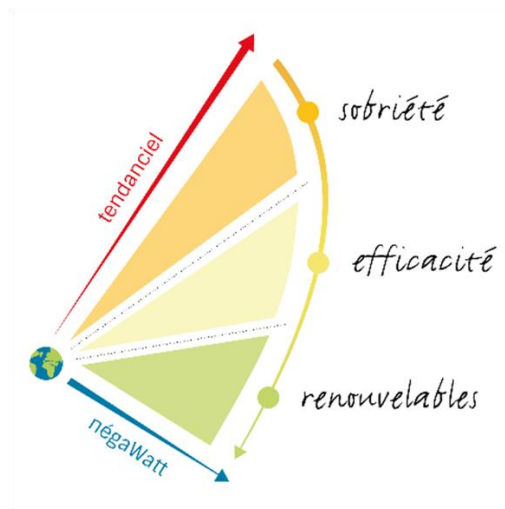
Introduction

1. La démarche négaMat
2. Quels matériaux ?
3. Quelle transition énergétique ?

- Association créée en 2001 par des professionnels de l'énergie
- Missions :
 - **Expertise et prospective énergétique**
 - **Plaidoyer à l'échelle nationale**
- 12 salariés - 30 membres actifs - 1500 adhérents



www.negawatt.org



LA DEMARCHE NEGAWATT

1. De quels services énergétiques a-t-on besoin ? Quel énergie utile ?
2. Avec quels appareils et quels moyens de les produire ?
3. Avec quelles sources d'énergie ?

• Quels matériaux ? Combien ?



• Qu'est-ce que la transition énergétique ?





Introduction

1. La démarche négaMat

2. Quels matériaux ?

3. Quelle transition énergétique ?

1. La démarche négaMat

1.1 Les flux de matière

1.2 Demande, sobriété, économie circulaire

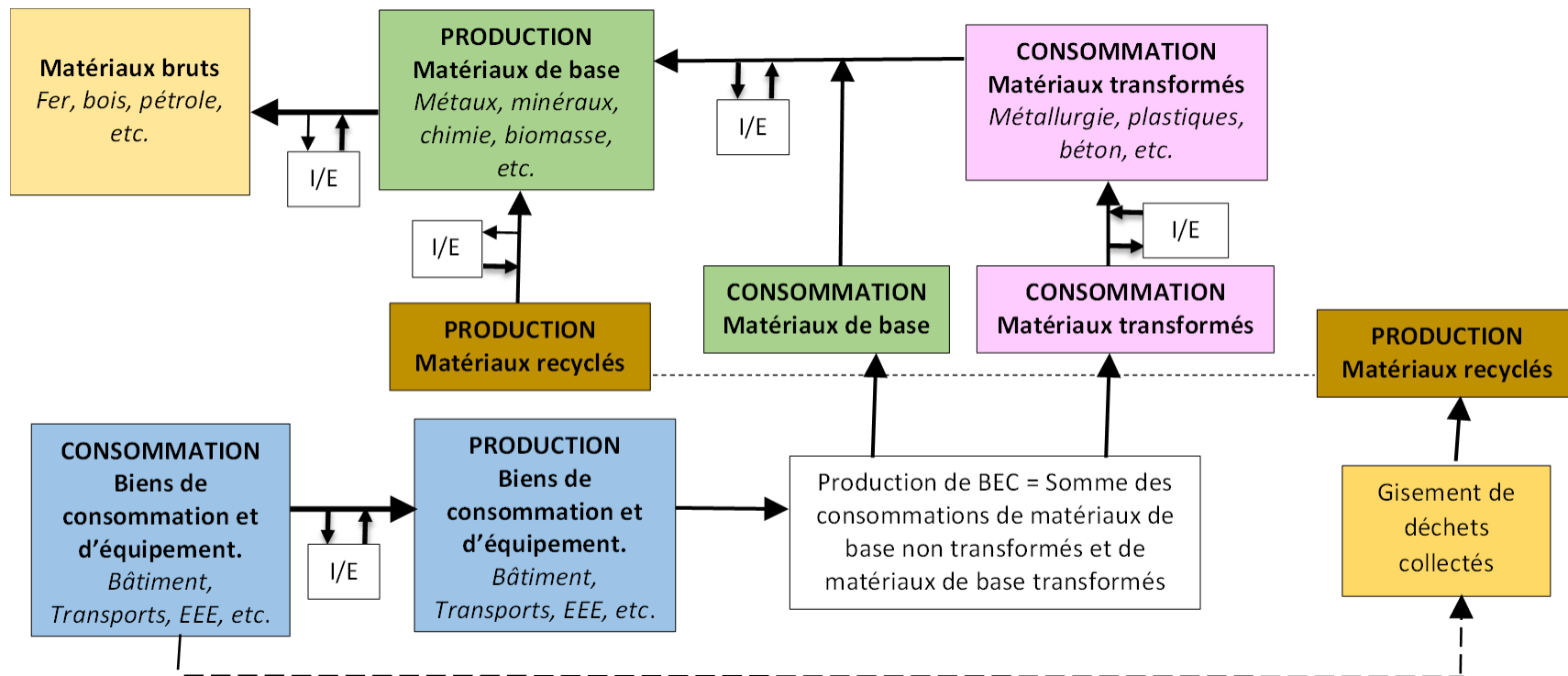
1.3 Stratégie industrielle

1.4 Avec quels matériaux fabrique-t-on les biens ?

1.5 Déchets et recyclage

1.6 Matériaux bruts et ressources

La démarche négaMat



1. La démarche négaMat

1.1 Les flux de matière

1.2 Demande, sobriété, économie circulaire

1.3 Stratégie industrielle

1.4 Avec quels matériaux fabrique-t-on les biens ?

1.5 Déchets et recyclage

1.6 Matériaux bruts et ressources

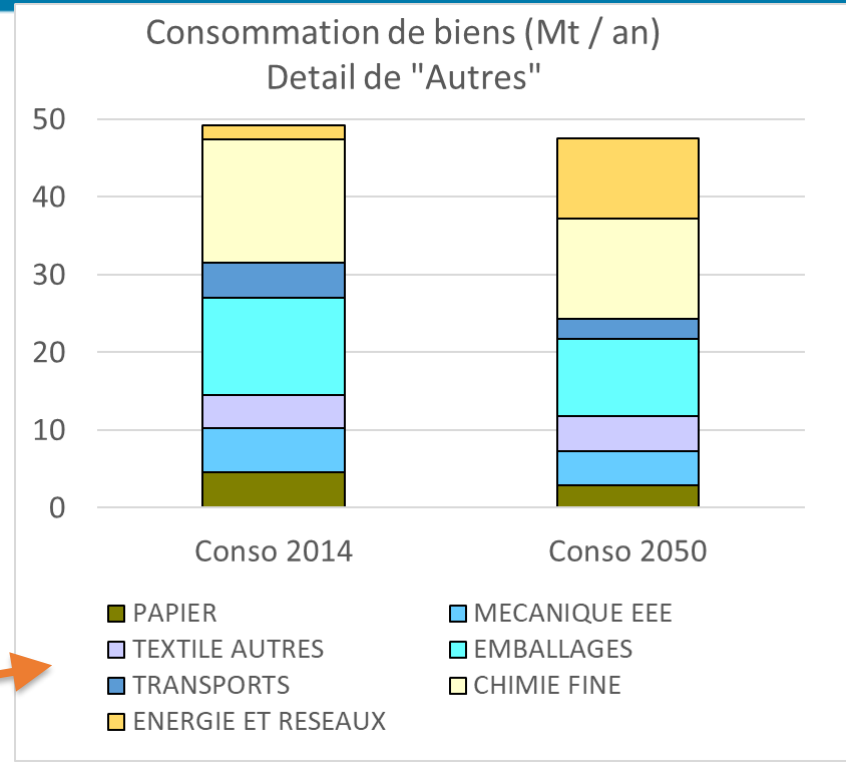
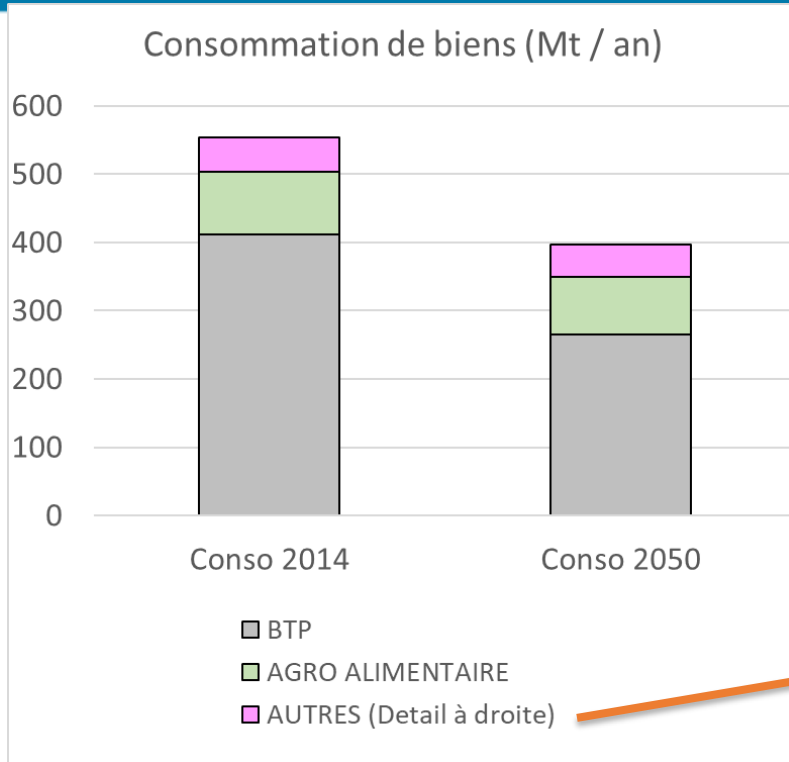
➤ Etape 1 : La demande : sobriété et économie circulaire



CONSOMMATION
Biens de
consommation et
d'équipement.
*Bâtiment,
Transports, EEE, etc.*

	Sobriété taille	Sobriété usage	Sobriété mutual.	Réutili- sation	Répara- tion	Recyc- lage	Nbre secteurs
AGRO ALIMENT.	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	8
PAPIER	OUI	OUI	NON	NON	NON	OUI	3
Mécanique EEE	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	15
Textile Divers	OUI	NON	Peu	OUI	OUI	OUI	14
EMBALLAGES	OUI	OUI	NON	OUI	Peu	OUI	11
TRANSPORTS	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	15
CHIMIE FINE	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	11
BATIMENT - TP	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	19
ENERGIE RESEAUX	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	32
TOTAL							128

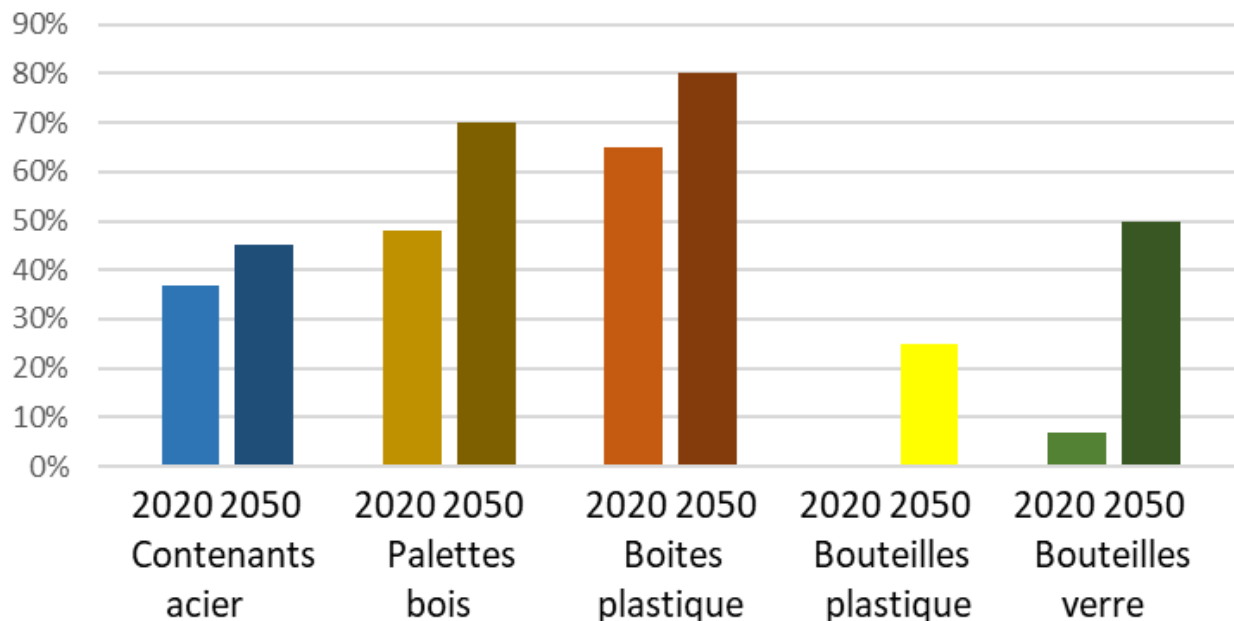
↘ Evolution de la consommation de biens dans le scénario



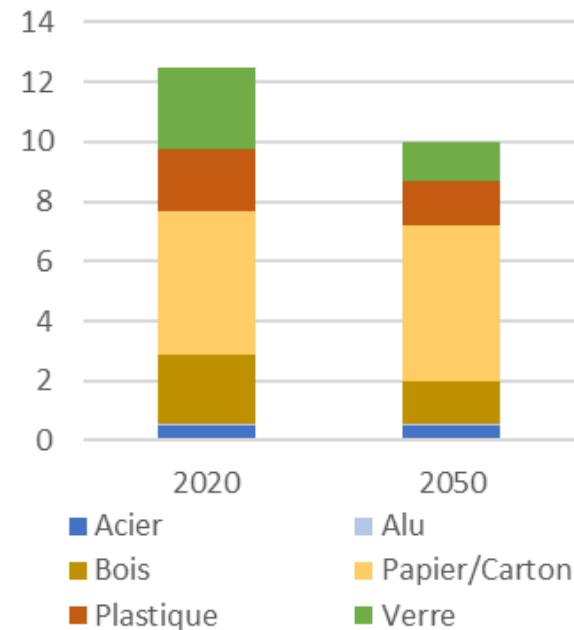
Tous les secteurs sont en baisse sauf la production d'énergie (énergies renouvelables)

↳ Exemple de réutilisation : les emballages

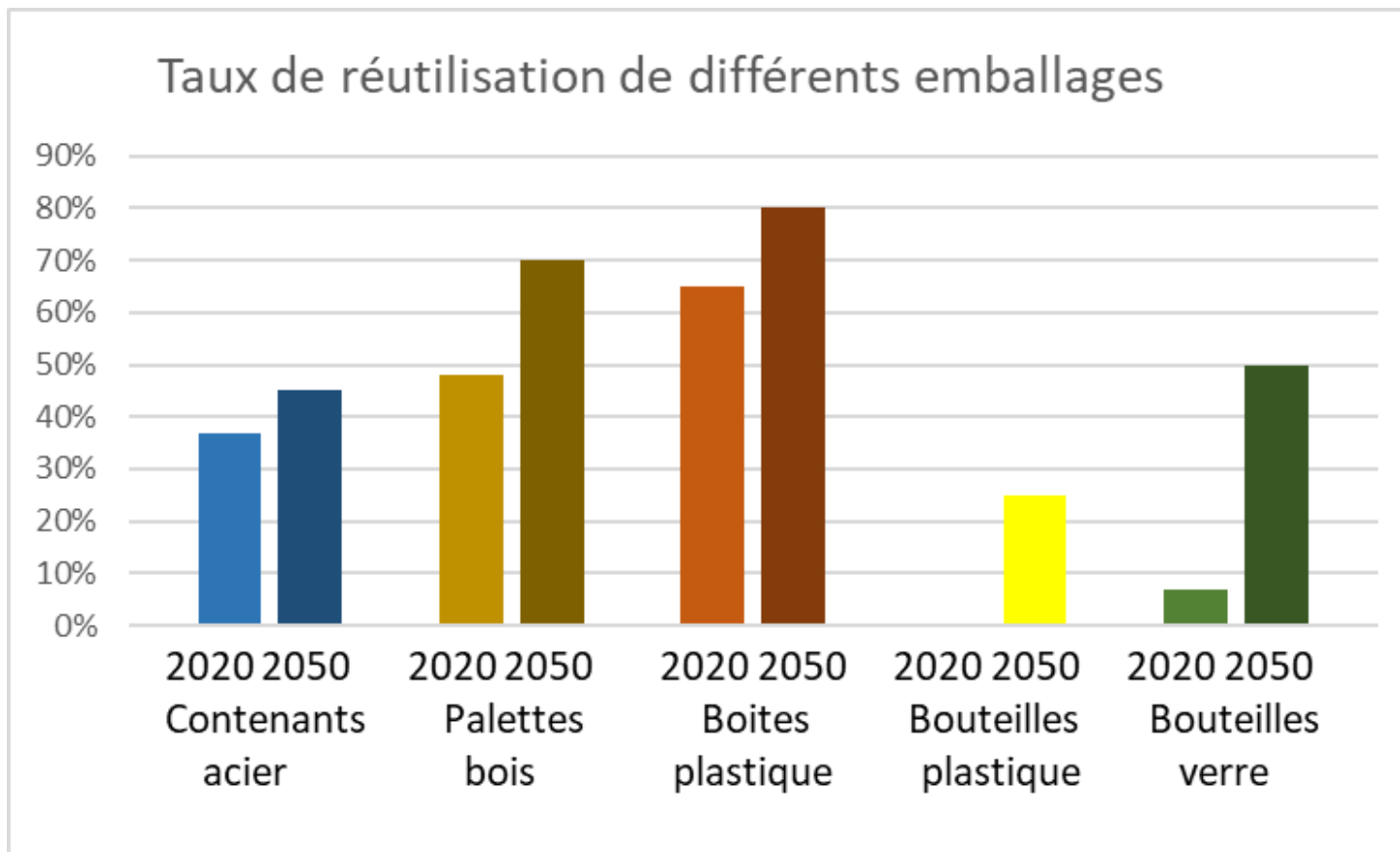
Taux de réutilisation de différents emballages



Consommation d'emballages (Mt/an)



↳ Réparation et réutilisation augmentent la durée de vie



1. La démarche négaMat

1.1 Les flux de matière

1.2 Demande, sobriété, économie circulaire

1.3 Stratégie industrielle

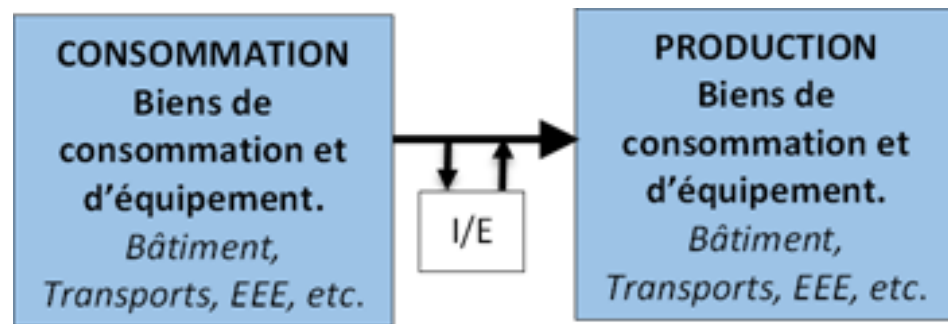
1.4 Avec quels matériaux fabrique-t-on les biens ?

1.5 Déchets et recyclage

1.6 Matériaux bruts et ressources

Produire ce que l'on consomme et non l'inverse

Une **stratégie industrielle** pour la France



I/E = Imports / Exports

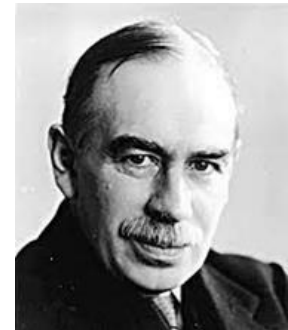
Les leviers d'action :

- **Réorientation** des secteurs du passé (ex. pétrochimie)
- **Relocalisation** des secteurs en décroissance (ex. mécanique, métallurgie)
- Développement national des **secteurs d'avenir** (énergies renouvelables, batteries)

↘ Pourquoi relocaliser ?



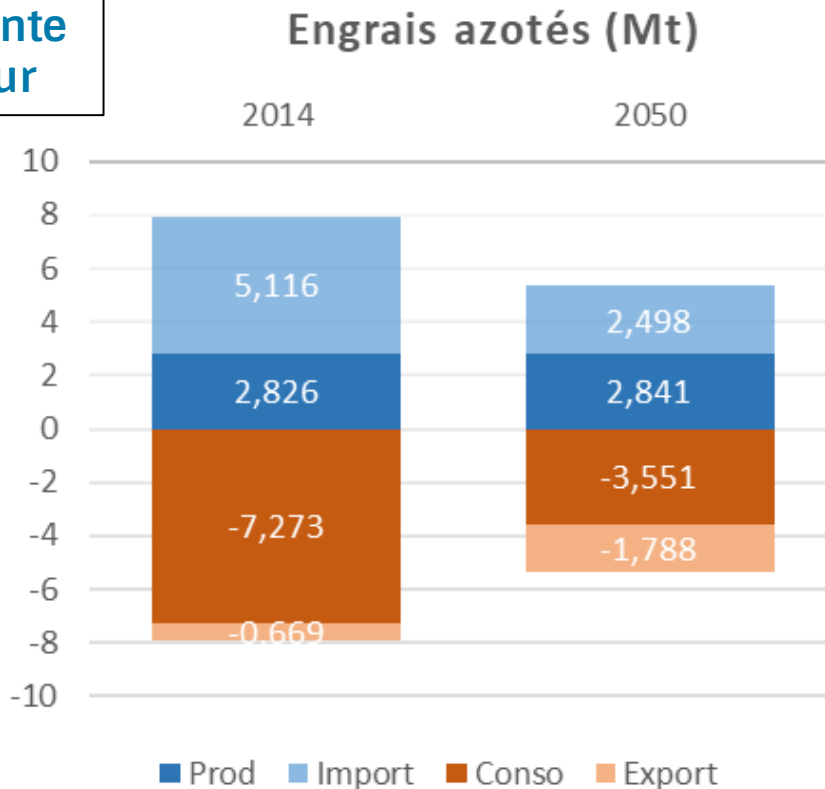
- **Social:**
 - Compensation des pertes d'activité dues à la sobriété
- **Environnemental**
 - Amélioration de l'empreinte carbone
 - Amélioration de l'empreinte matière
- **Stratégique**
 - Autonomie / résilience des approvisionnements
 - Stratégique et leadership technologique
- **Economique**
 - Amélioration du déficit des paiements
 - Autres impacts macro-économiques



J.M. Keynes

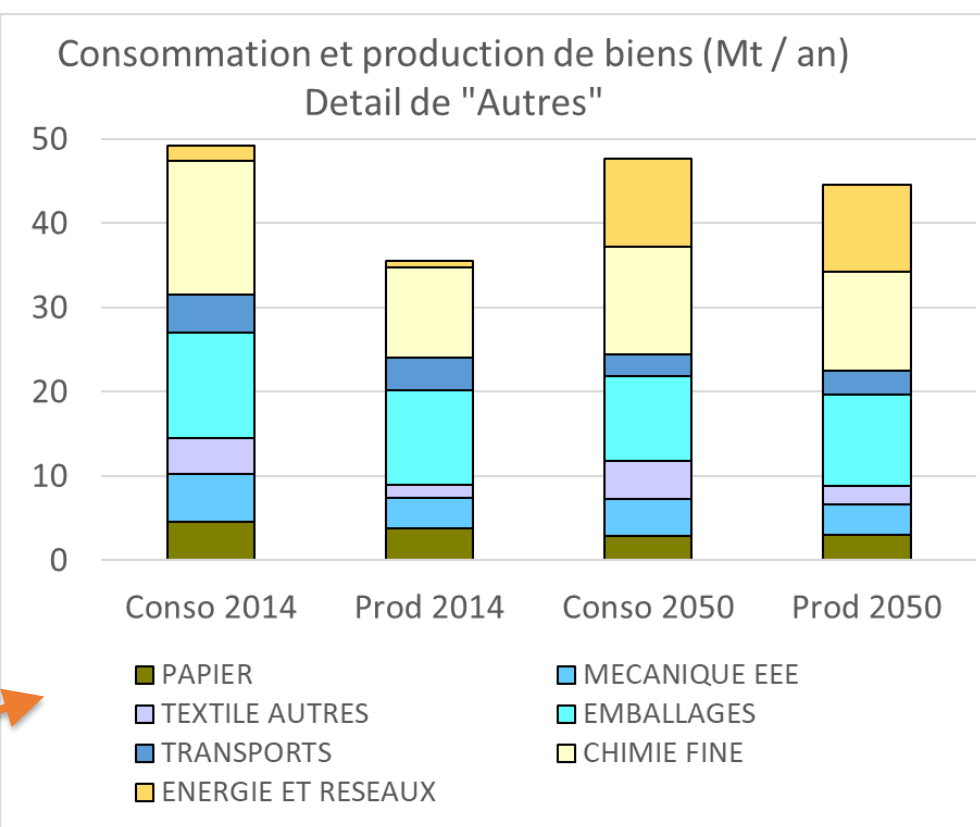
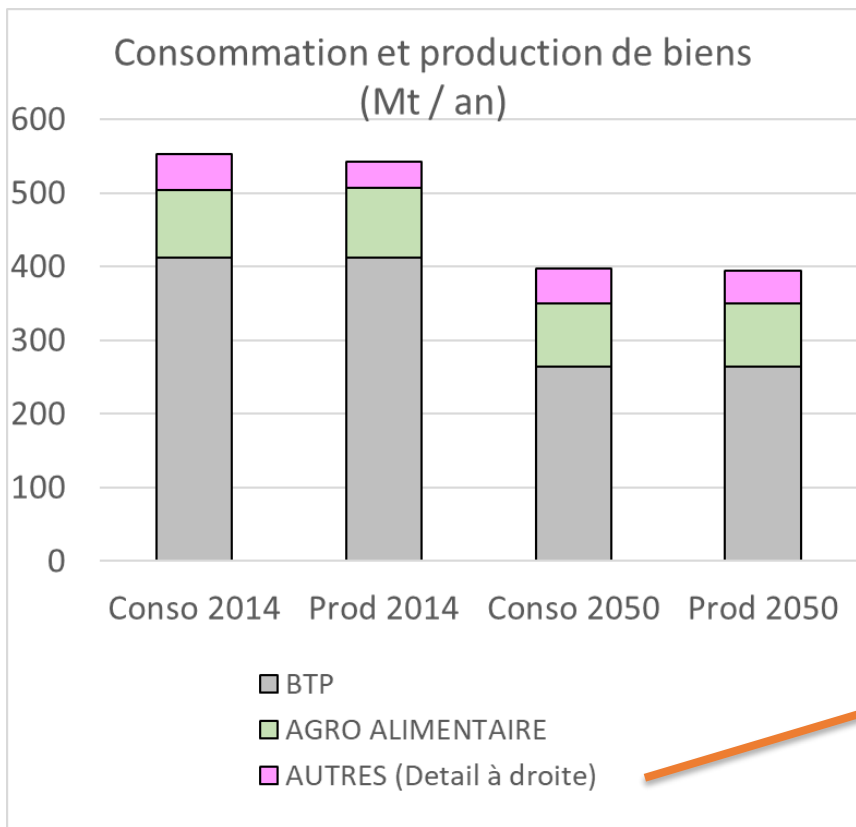
Une stratégie différente pour chaque secteur

$$\begin{aligned} & \text{Importation} \\ & + \\ & \text{Production} \\ & = \\ & \text{Consommation} \\ & + \\ & \text{Exportation} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} & \text{Moins d'Import} \\ & + \\ & \text{Prod maintenue} \\ & = \\ & \text{Conso en baisse} \\ & + \\ & \text{Export en hausse} \end{aligned}$$

↘ Relocalisation de certains secteurs



1. La démarche négaMat

1.1 Les flux de matière

1.2 Demande, sobriété, économie circulaire

1.3 Stratégie industrielle

1.4 Avec quels matériaux fabrique-t-on les biens ?

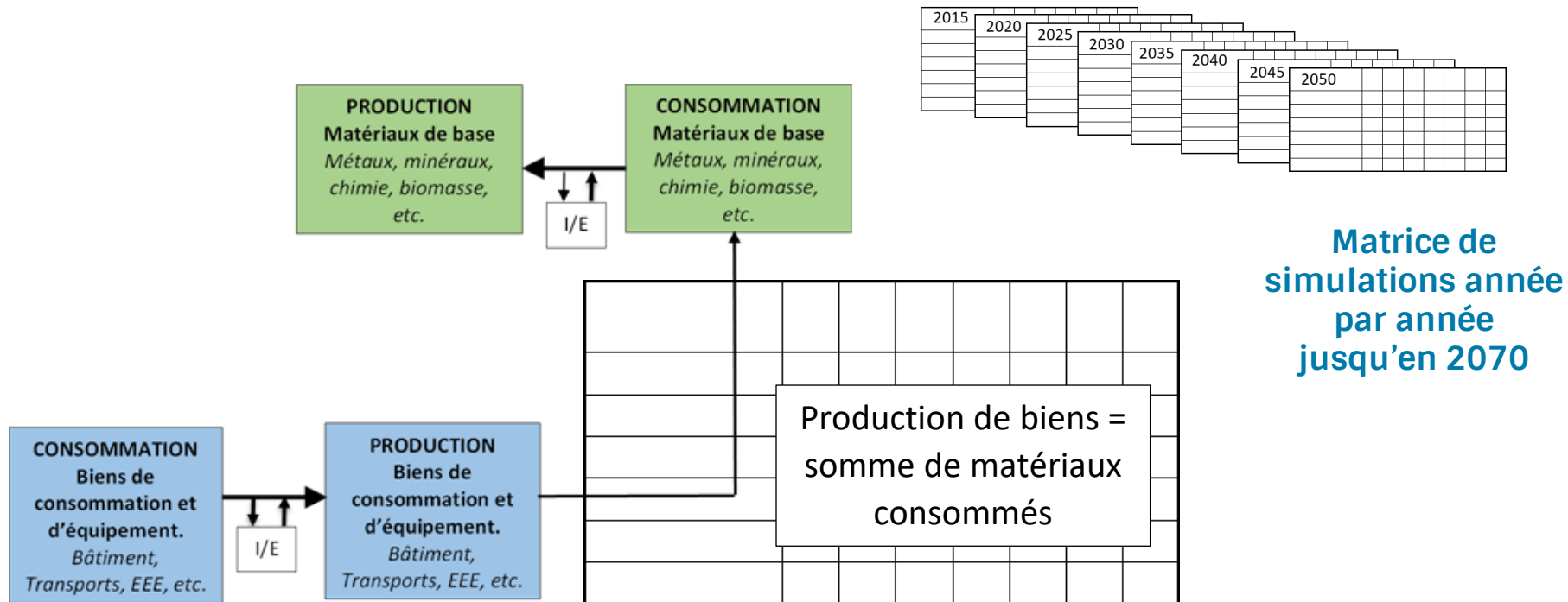
1.5 Déchets et recyclage

1.6 Matériaux bruts et ressources

Etape 3 : Avec quels matériaux fabrique-t-on les produits finis ?

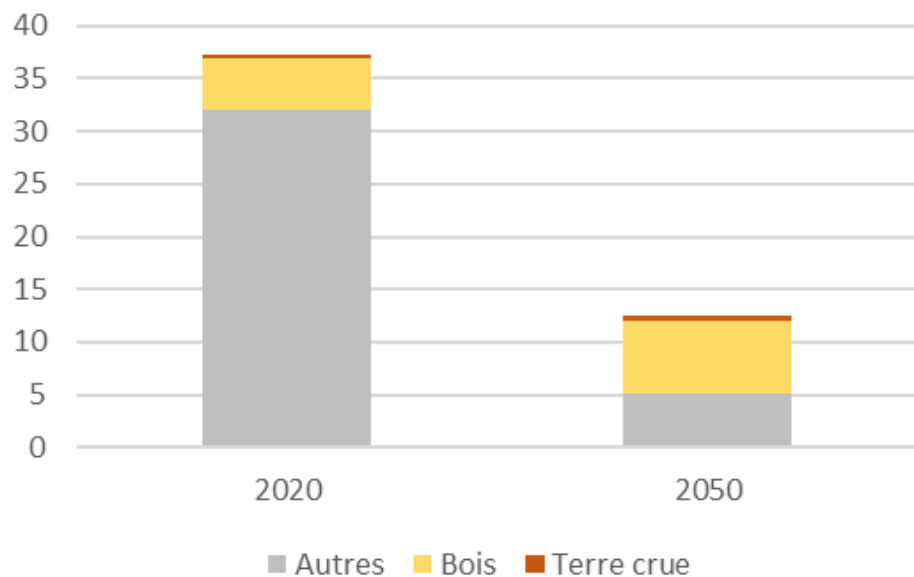


Anticiper la production de matériaux avec la demande de biens de consommation

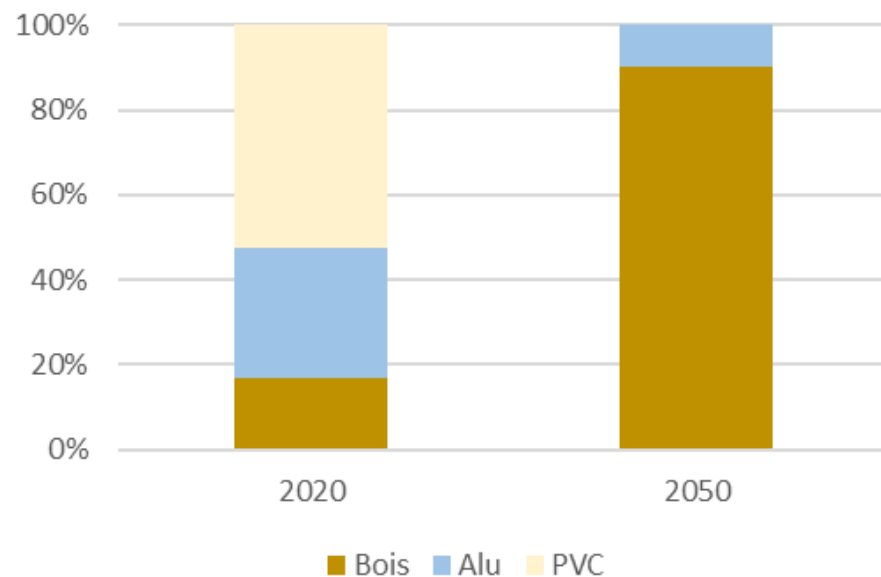


↳ Exemple du bâtiment : substitution de matériaux

Part du biosourcé dans la construction neuve (Mm²)



Part de marché des matériaux pour les menuiseries



1. La démarche négaMat

1.1 Les flux de matière

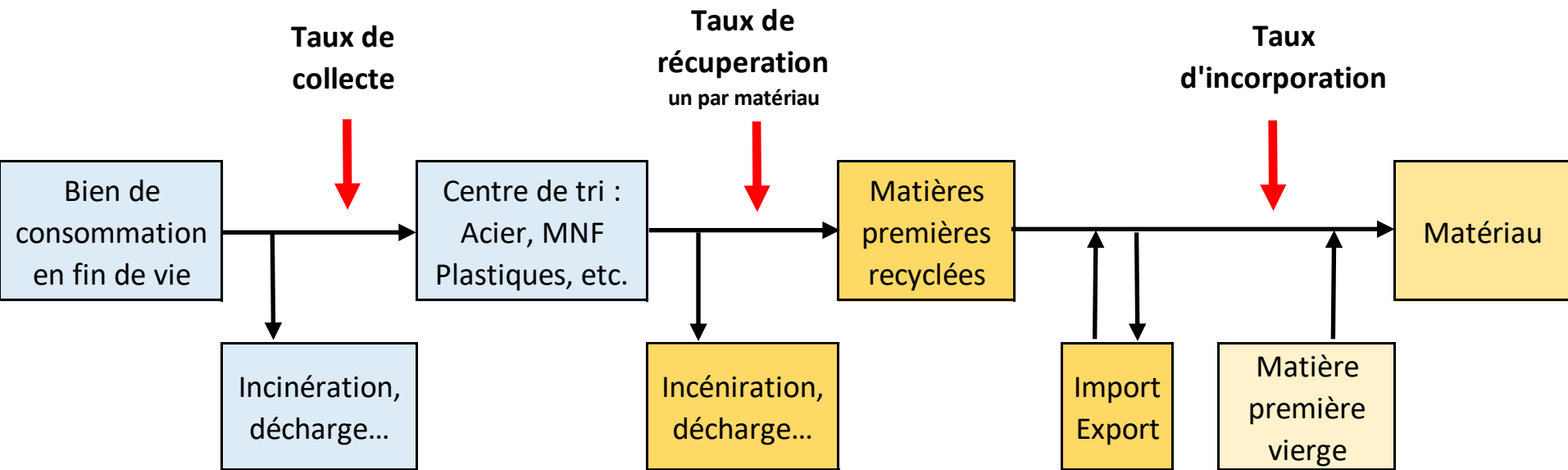
1.2 Demande, sobriété, économie circulaire

1.3 Stratégie industrielle

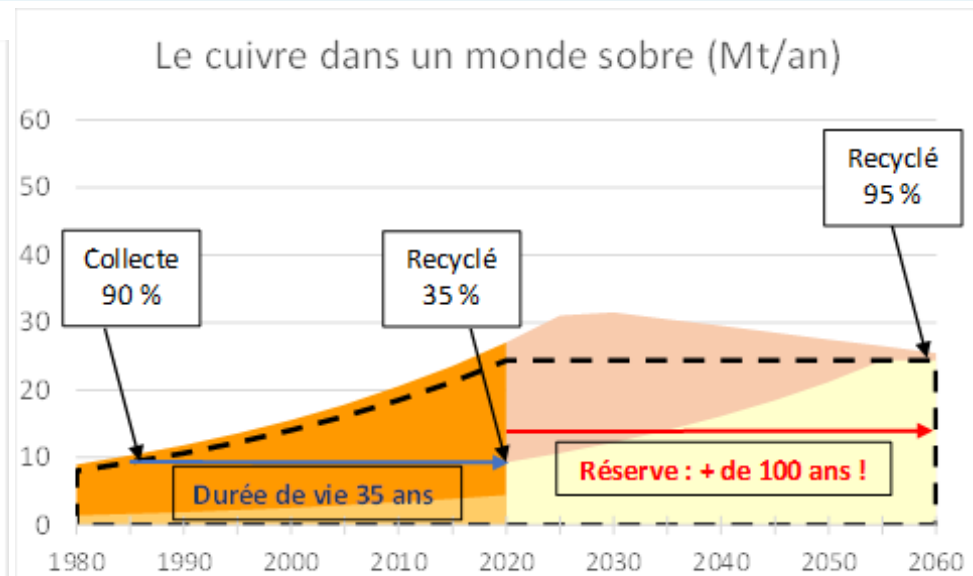
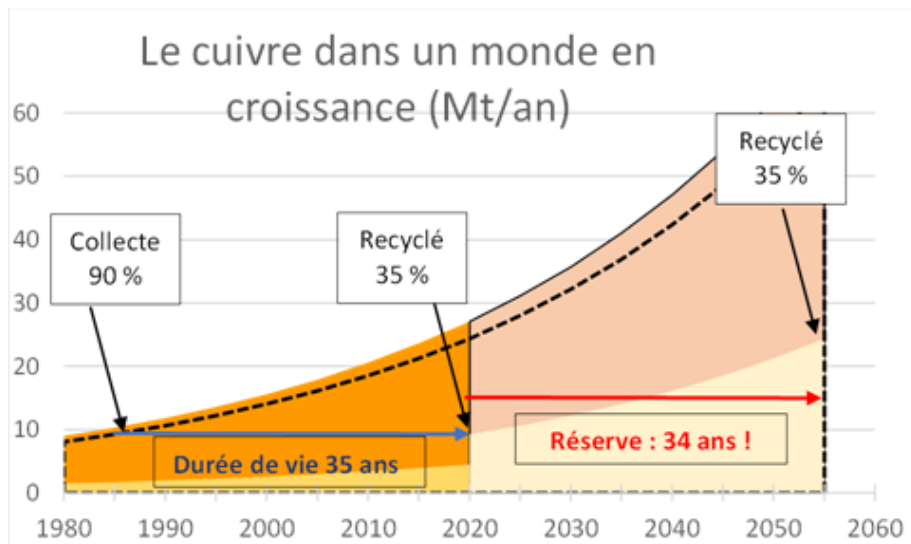
1.4 Avec quels matériaux fabrique-t-on les biens ?

1.5 Déchets et recyclage

1.6 Matériaux bruts et ressources



↳ Que peut on attendre du recyclage ?

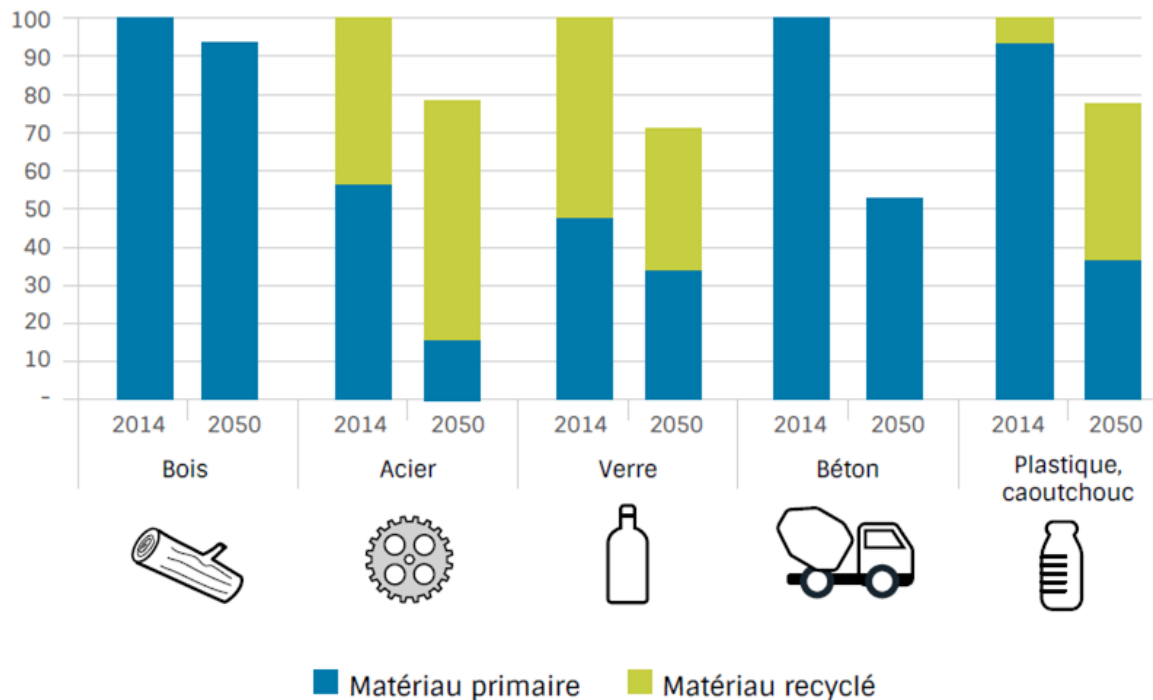


Réponse du scénario négaWatt :

Dans un monde en croissance, le taux de matières recyclées ne peut augmenter. Avec la sobriété, le recyclage devient efficace

Moins de matériaux et plus de recyclage

Evolution de la consommation de matériaux primaires et recyclés



1. La démarche négaMat

1.1 Les flux de matière

1.2 Demande, sobriété, économie circulaire

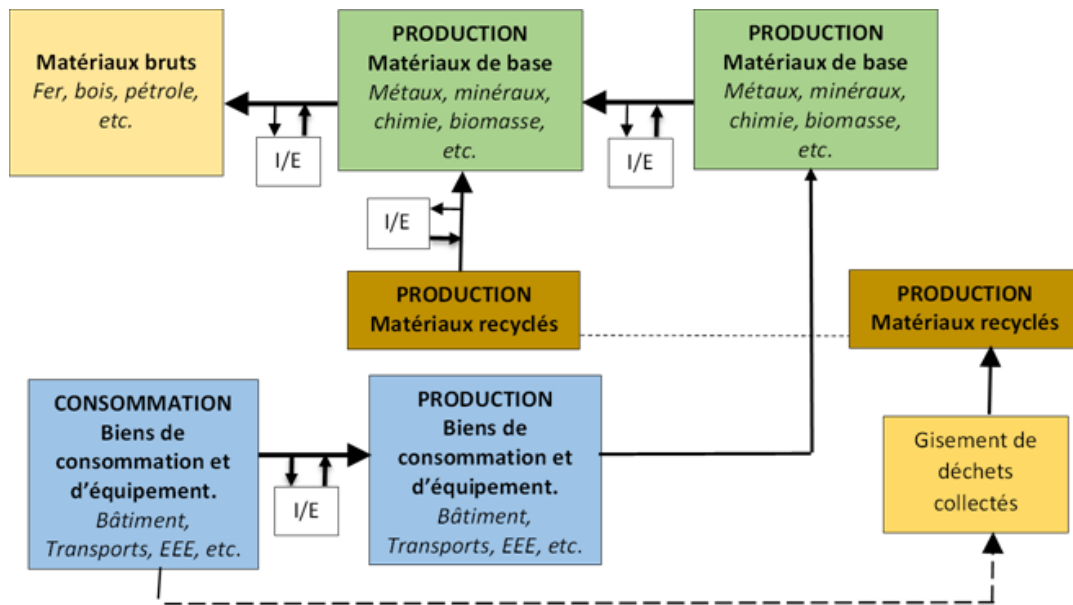
1.3 Stratégie industrielle

1.4 Avec quels matériaux fabrique-t-on les biens ?

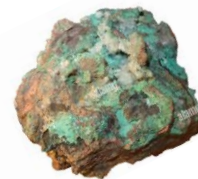
1.5 Déchets et recyclage

1.6 Matériaux bruts et ressources

➤ Etape 5 : Les ressources brutes



De combien en dispose-t-on ?



↳ Réserve prouvée actuelle ou prévisible ?

Typologie	Description	Ex, le Cuivre
Réserve prouvée	Technique éprouvée et rentable	870 Mt*
Réserve possible	Géologiquement identifiée, possible techniquement mais peut être non rentable	2 720 Mt
Ressource ultime	Géologiquement identifiée mais incertaine techniquement et économiquement	5 600 Mt

Questions :

Qu'est ce qu'une mine rentable en 2050 ?

Et l'environnement ? Est-ce cela que l'on veut ?



Réponse du scénario négaWatt :

On se limite à la réserve prouvée actuelle et on n'essaie pas d'ouvrir de nouvelles mines potentielles

↘ Quel quota pour la France ?



Quel scénario mondial futur ?
Scénario type SSP1

SSP1 : forte coopération internationale, priorité au développement durable, population stabilisée en 2050



Scénario type SSP3

SSP3 : monde fragmenté, compétition entre pays, une croissance économique lente, politiques de sécurité et production industrielle peu soucieuse de l'environnement



Réponse du scénario négaWatt :

Dans un monde égalitaire, la France a droit à un pourcentage de la réserve proportionnel à sa population

Exemple pour le cuivre :

Population mondiale	7,9 milliards d'habitants
Population française	67 millions d'habitants soit 0,86%
Quota de réserve	$0,86\% * 870 \text{ Mt} = 7,45 \text{ Mt}$ cuivre



Introduction

1. La démarche négaMat

2. Quels matériaux ?

3. Quelle transition énergétique ?

2. Quels matériaux ?

2.1 Consommation et empreinte

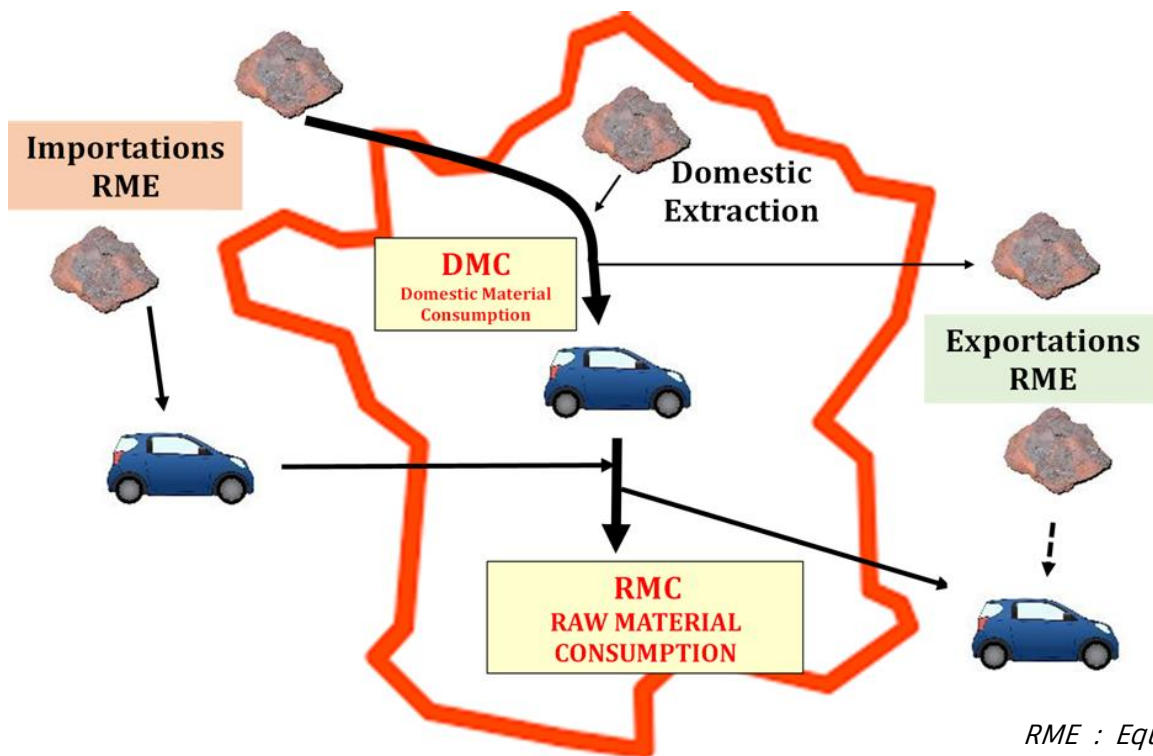
2.2 La biomasse

2.3 Les métaux

2.4 Les terres rares

2.4 Les fossiles à usage non énergétique

↳ Pourquoi une empreinte matière ?



L'empreinte matière tient compte des matériaux produits et importés en France **ET** de ceux qui sont contenus dans des biens fabriqués à l'étranger et importés en France.

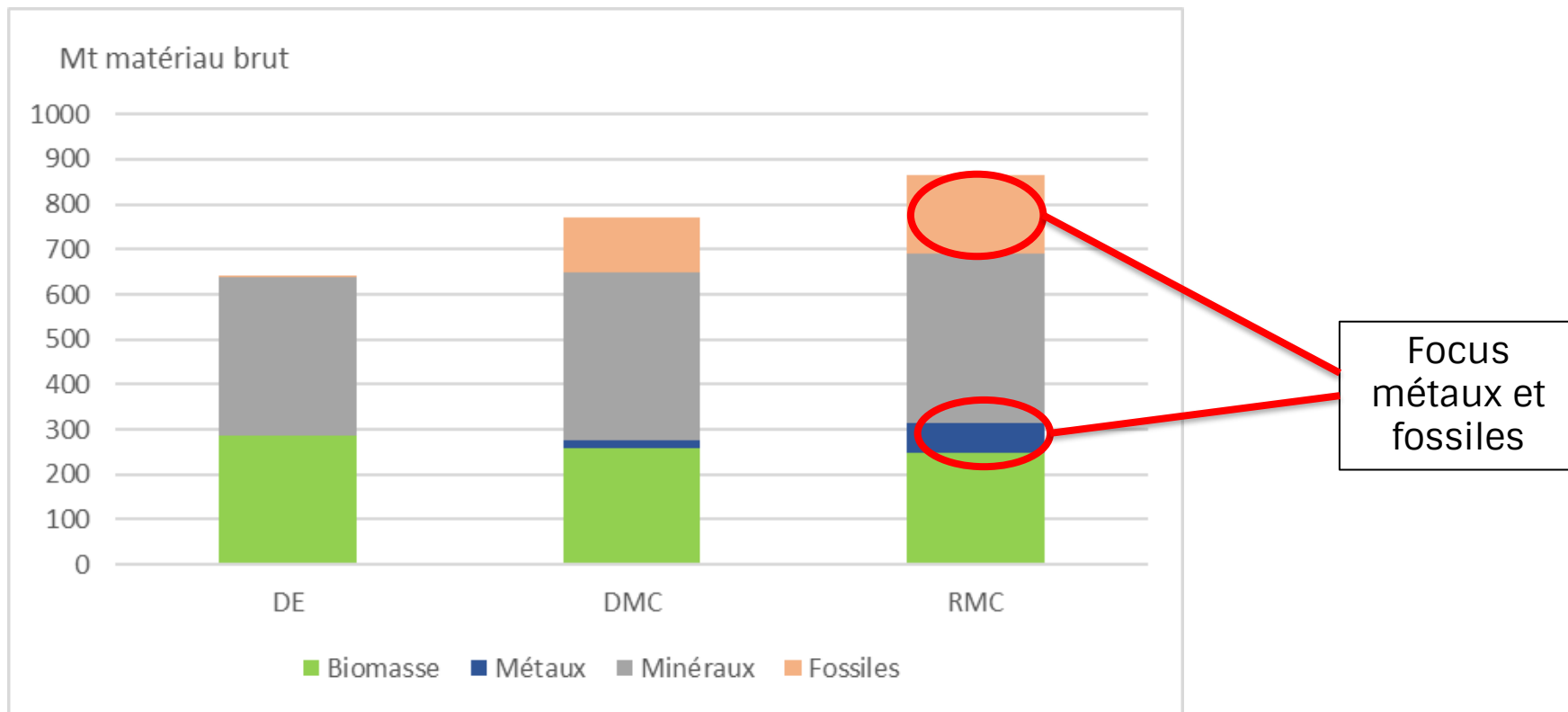
Elle est liée à notre consommation et rend mieux compte des conséquences de nos modes de vie.

RME : Equivalence en tonnages de Matériau brut

DMC : Consommation intérieure de matériaux

RMC : Consommation en empreinte y compris les imports / exports

➤ Ressource et empreinte des matériaux bruts en France





2. Quels matériaux ?

2.1 Consommation et empreinte

2.2 La biomasse

2.3 Les métaux

2.4 Les terres rares

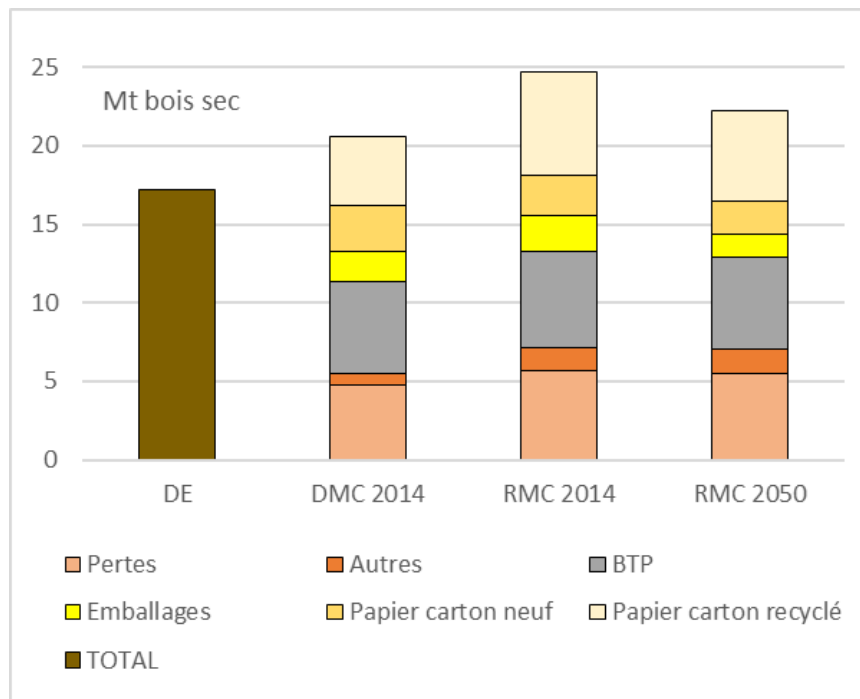
2.4 Les fossiles à usage non énergétique



La France est légèrement exportatrice de bois matériau mais **importe** de la **pâte à papier**, des **meubles** et des **palettes**.

En 2050, on consomme **moins de papier et d'emballages**.

La part du bois dans le bâtiment est compensée par la **baisse globale de la construction**.



Les pertes comprennent les chutes, les coupes et les produits annexes de l'industrie papetière (liqueur noire...). Souvent ces pertes sont valorisées par combustion.



2. Quels matériaux ?

2.1 Consommation et empreinte

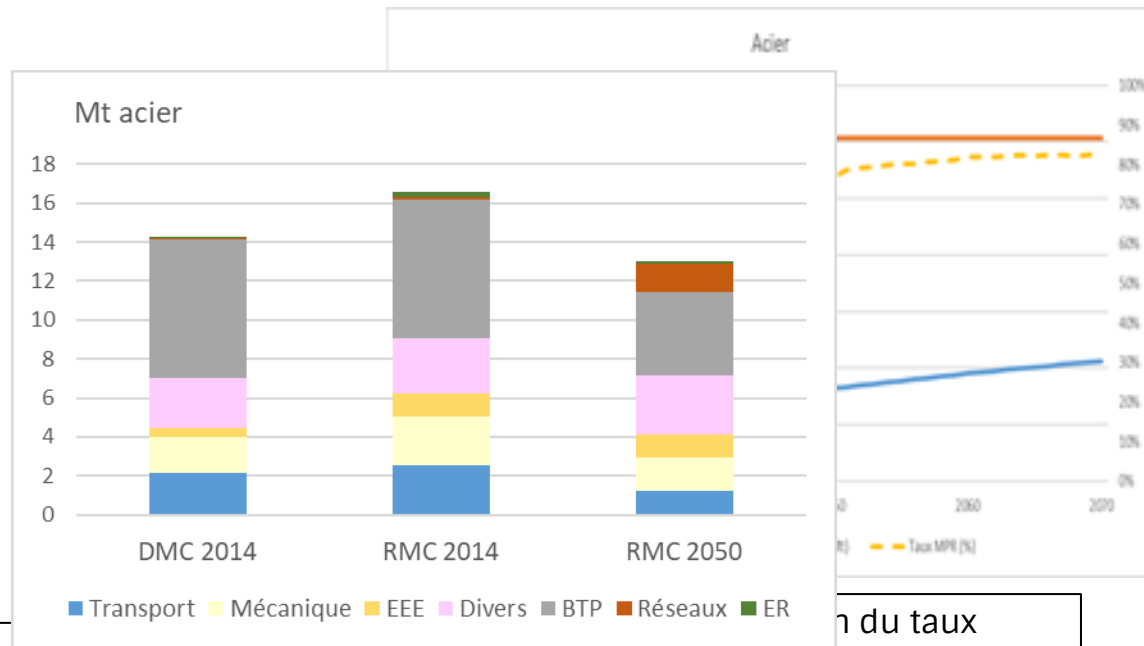
2.2 La biomasse

2.3 Les métaux

2.4 Les terres rares

2.4 Les fossiles à usage non énergétique

↳ L'acier, un matériau non critique



Entre 2014 et 2050 :

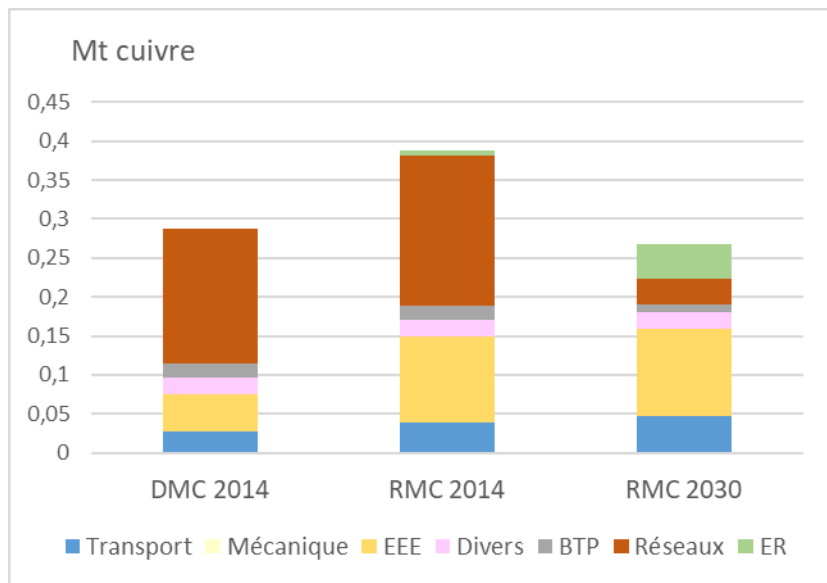
- Baisse générale de 22%
- Augmentation des réseaux
- Les ER représentent entre 1% et 2%

d'incorporation de ferrailles :

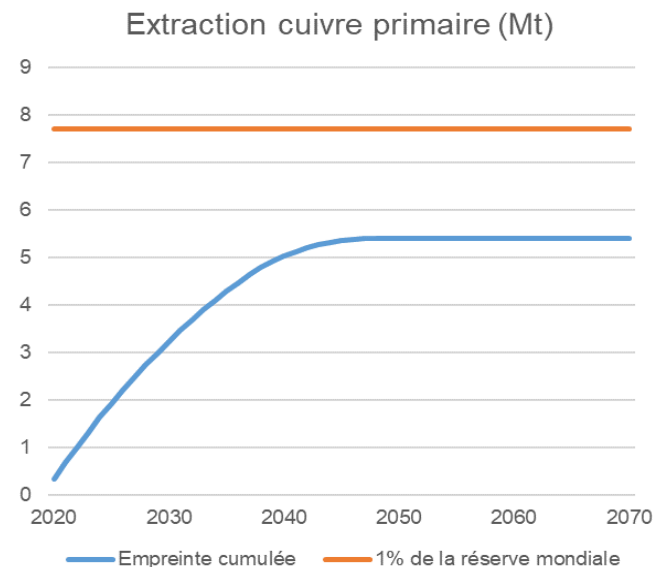
- 80% en 2050
 - 90% en 2070
- Pas de menace dans ce siècle



Le cuivre : point de vigilance



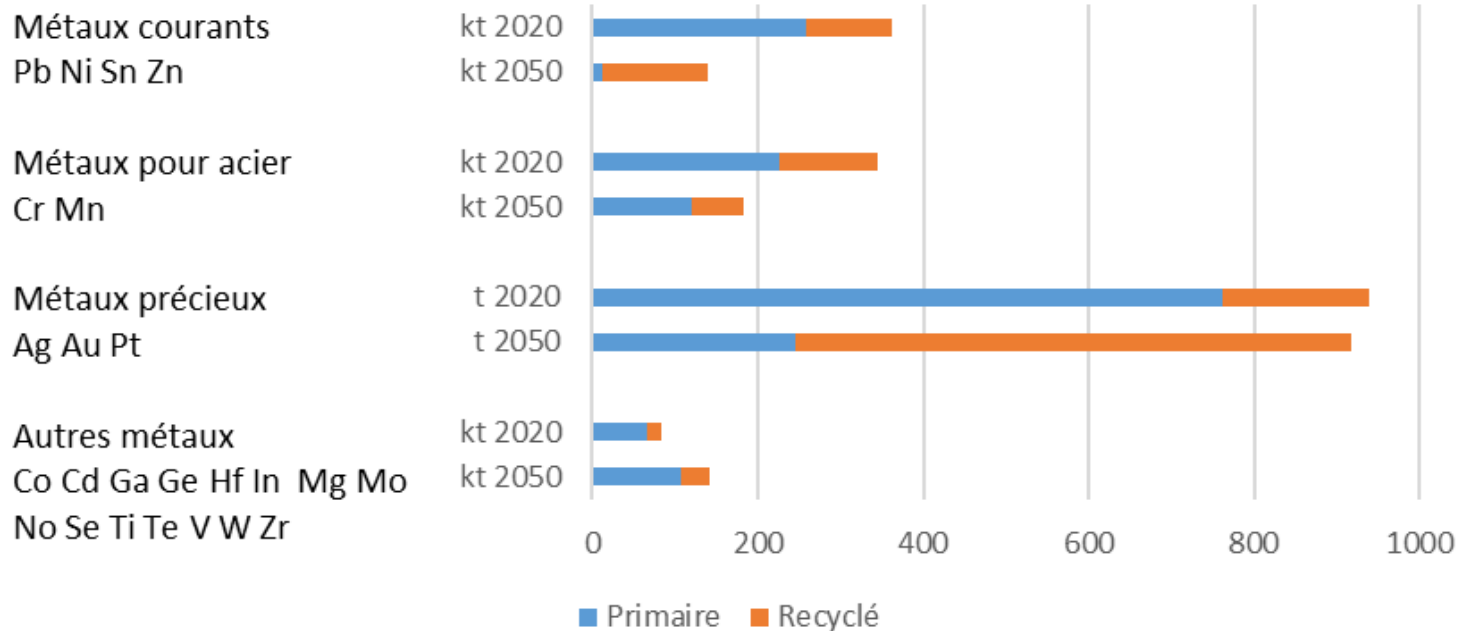
Empreinte 35% plus élevée que la consommation
Importations de transports et d'EEE
Forte diminution entre 2014 et 2050 :
- Substitution alu dans les réseaux
- Les ER représentent 17% en 2050



Forte augmentation du taux
d'incorporation de MPR : 95% en 2050

Malgré une forte sobriété et substitution,
le cuivre est un matériau critique dans ce
siècle

Autres métaux non ferreux primaires et recyclés





2. Quels matériaux ?

2.1 Consommation et empreinte

2.2 La biomasse

2.3 Les métaux

2.4 Les terres rares

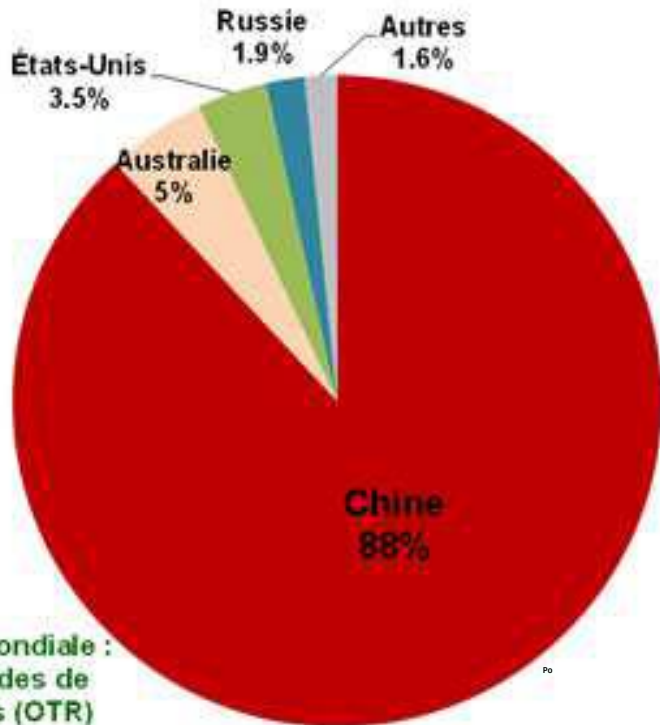
2.4 Les fossiles à usage non énergétique



Terres rares : pas si rares mais inégalement réparties

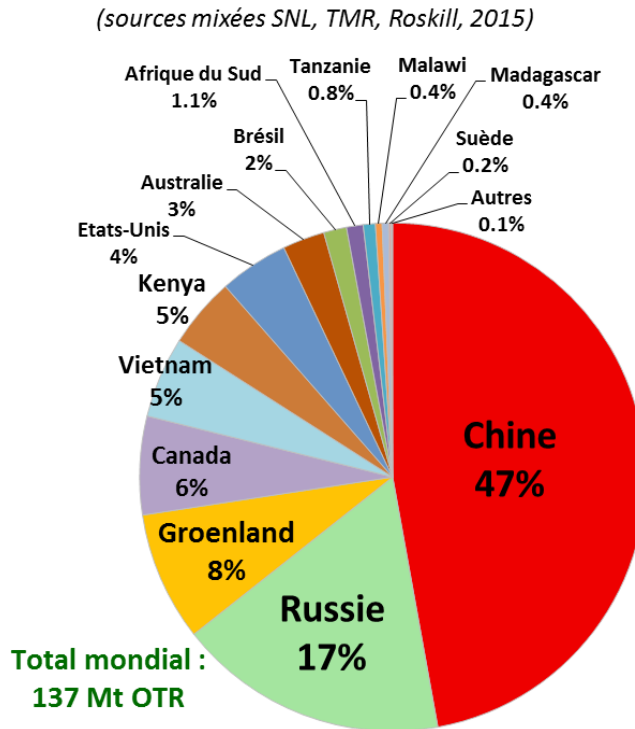


Répartition de la production minière de Terres Rares en 2014 (Source : Roskill, 2015)



Production mondiale : 143 kt d'oxydes de Terres Rares (OTR)

Répartition des ressources en Terres Rares - hypothèse basse 2015 (sources mixées SNL, TMR, Roskill, 2015)

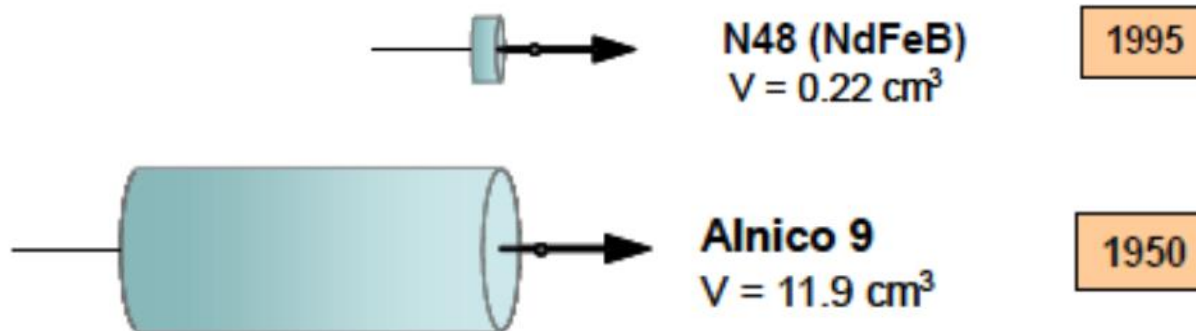


Total mondial : 137 Mt OTR

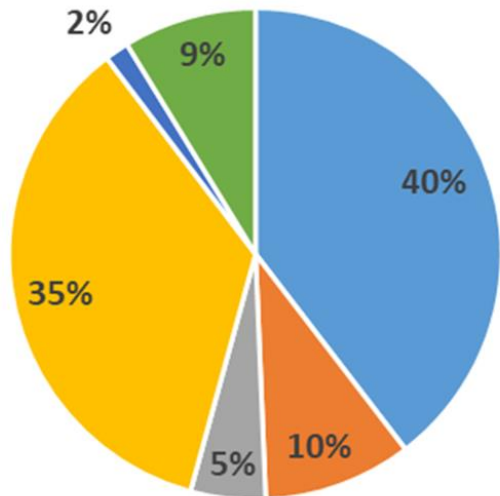
↘ Les usages des terres rares

La	Lanthane	Applications diverses
Ce	Cerium	
Nd	Néodyme	Aimants permanents pour tous types de moteurs
Dy	Dysprosium	
Pr	Praséodyme	
Yt	Yttrium	Fluorescence, écrans plats, un peu dans les LEDs
Tb	Terbium	

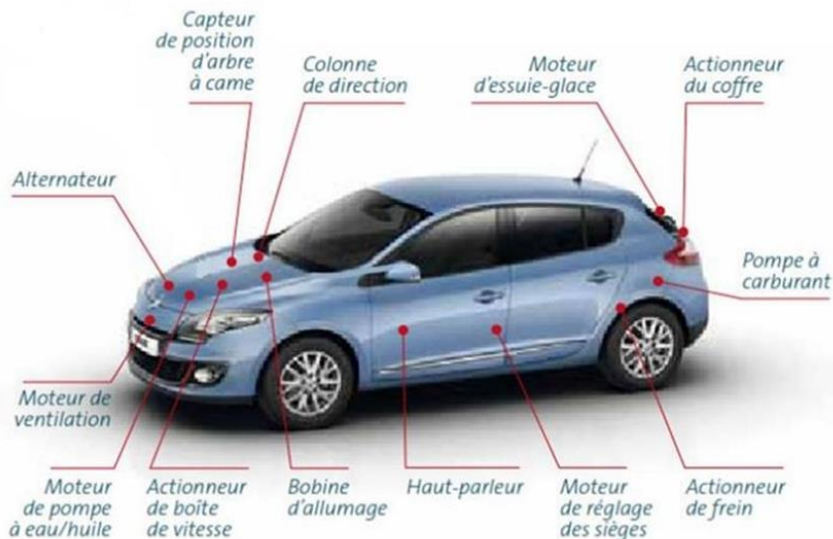
Ce qui concerne un peu la transition énergétique
La miniaturisation des moteurs grâce
aux aimants permanents
PM Permanent Magnet



➤ Les aimants permanents sont partout dans nos vies



- Moteurs
- Vélo elec
- Auto elec
- Electronique
- Eolien
- Autre



Source: P. Schulz, in Géosciences n° 15

Usages des aimants permanents dans le monde en 2019



2. Quels matériaux ?

2.1 Consommation et empreinte

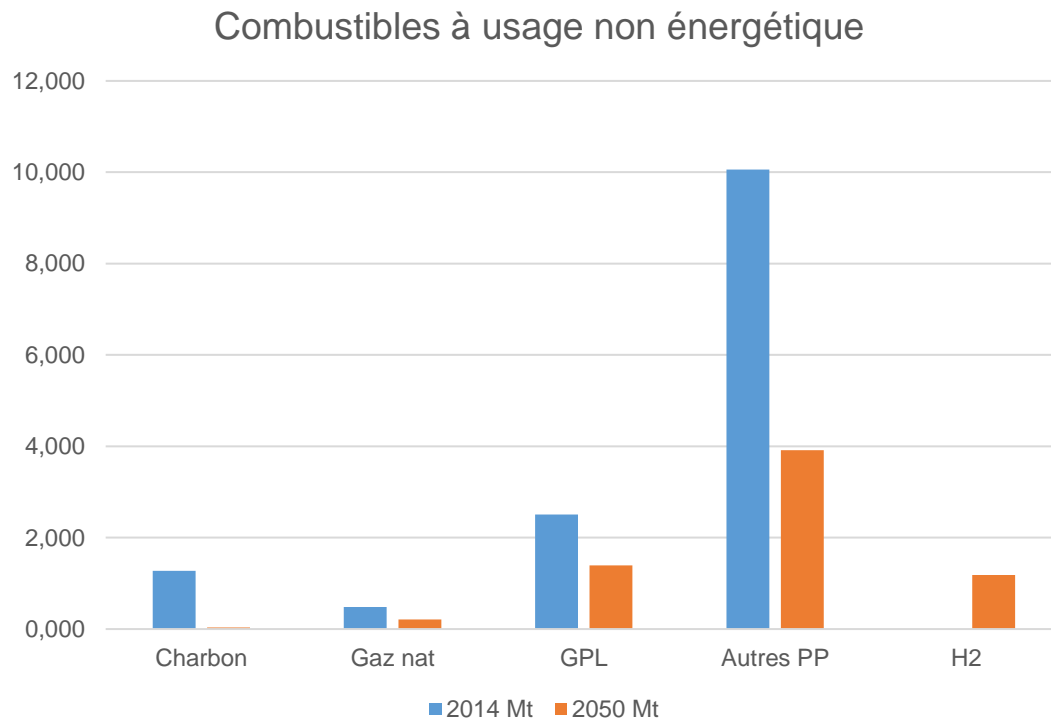
2.2 La biomasse

2.3 Les métaux

2.4 Les terres rares

2.4 Les fossiles à usage non énergétique

↳ Bilan des combustibles à usage non énergétique



PP = produits pétroliers



On fabrique des oléfines, puis des plastiques mais le pétrole est remplacé par :

1. Voie Biomasse → **éthanol** → Déshydratation → Ethylène NON
2. Voie Biomasse → pyrogazéification → **méthanol** PEU
3. Voie biomasse → méthanisation → biométhane → **méthanol** NON
4. Voie électricité → hydrogène → + CO2 → **méthanol** **40% en 2035**

Le méthanol est ensuite utilisé :

1. Voie **MTO** Méthanol → oléfines
2. Voie **MTA** Méthanol → aromatiques



Introduction

1. La démarche négaMat
2. Quels matériaux ?
3. Quelle transition énergétique ?



3. La transition énergétique

3.1 L'éolien

3.2 Le photovoltaïque

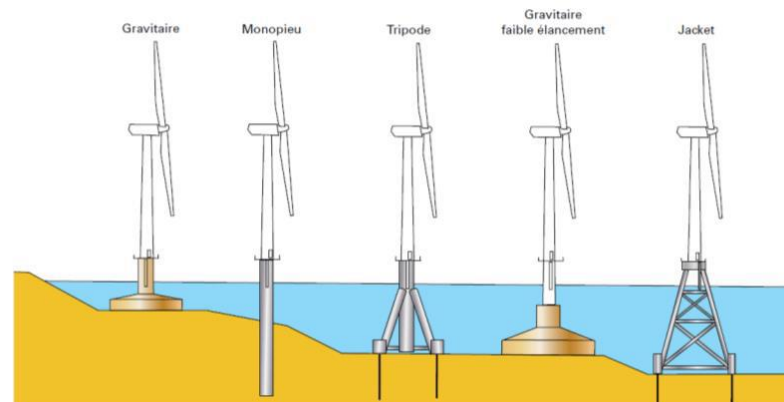
3.3 Les réseaux

3.4 Les batteries

3.5 Synthèse

↘ Les matériaux dépendent des technologies

		Terrestre	Offshore
Fondations		embase poids	gravitaire
		colonnes balastées	monopieu
		inclusions rigides	tripode
		pieux	gravitaire faible élanement
		mixtes	jacket
		composites	flottant TLP
			flottant semisub
			flottant spar
Tour		Acier, béton	Acier
Nacelle			
Générateur	Boite de vitesse	GB DFIG Asynchrone induction	
		GB SCIG Synchrone cage à écureuil	
		GB PMSG Synchrone Aimants permanents	
	Entraînement direct	DD EESG Synchrone excitation électrique	
		DD PMSG Synchrone Aimants permanents	
		DD HTS Supraconducteurs	
Transformateur			
Câble			
Sous station			



- **DD** Transmission directe
- **GB** Boite de vitesse
- **EESG DFIG** Synchrone trad
- **PMSG** Aimants permanents

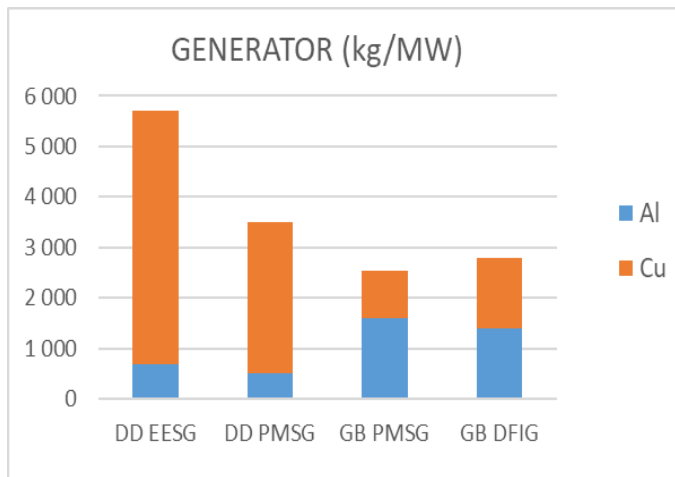
↘ Eolien : les générateurs

Deux configurations :

- **DD** Transmission directe
- **GB** Boite de vitesse

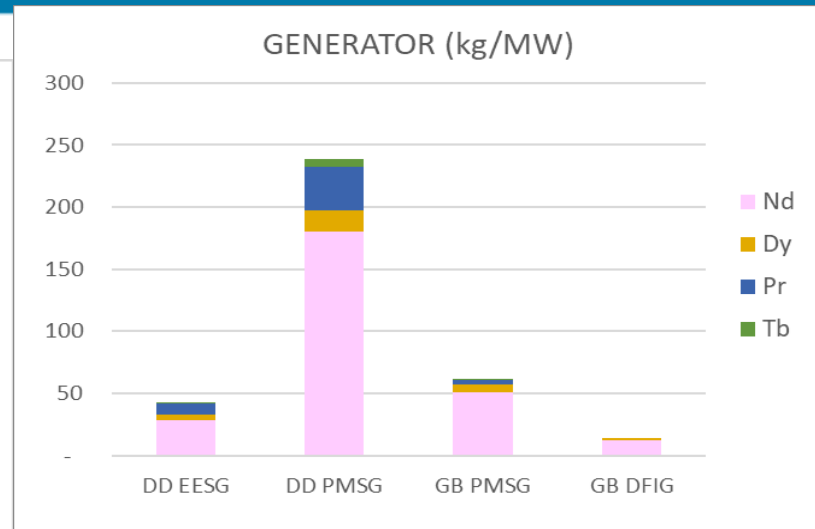
Deux rotors

- **EESG DFIG** Synchrones trad
- **PMSG** Aimants permanents



Part de marché 2020-2070 17% 18% 28% 36%

La transmission directe consomme + de cuivre
 Les aimants permanents – de cuivre et + d’alu



17% 18% 28% 36%

Les aimants permanents consomment davantage de terres rares
 Mais c’est surtout la transmission directe qui fait la différence



3. La transition énergétique

3.1 L'éolien

3.2 Le photovoltaïque

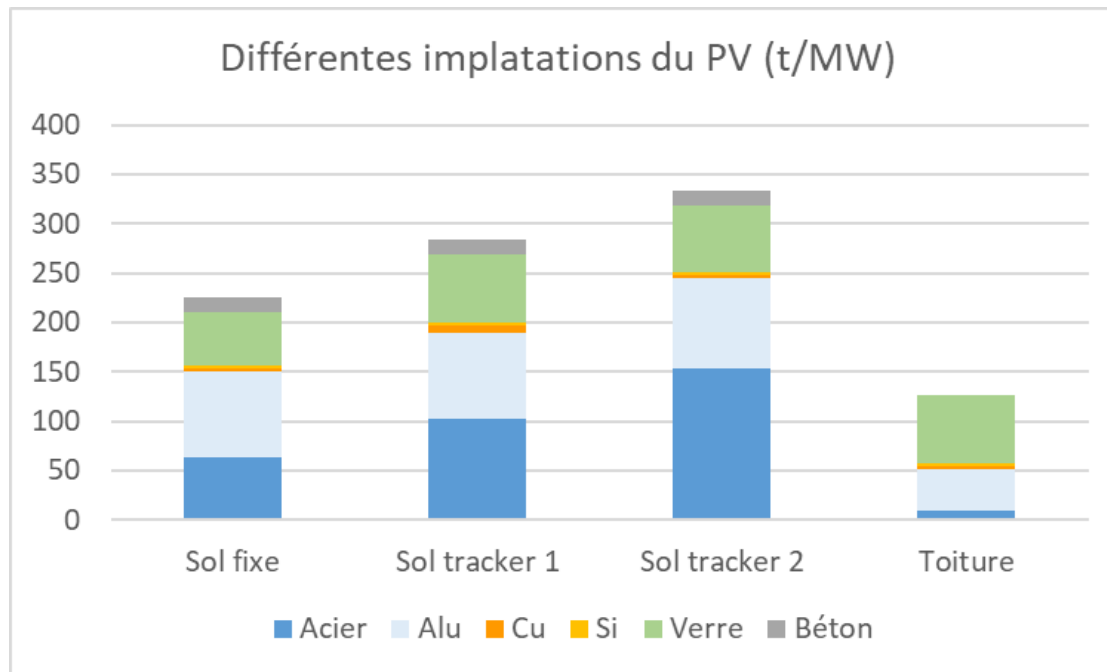
3.3 Les réseaux

3.4 Les batteries

3.5 Synthèse

↘ PV : un effet de taille

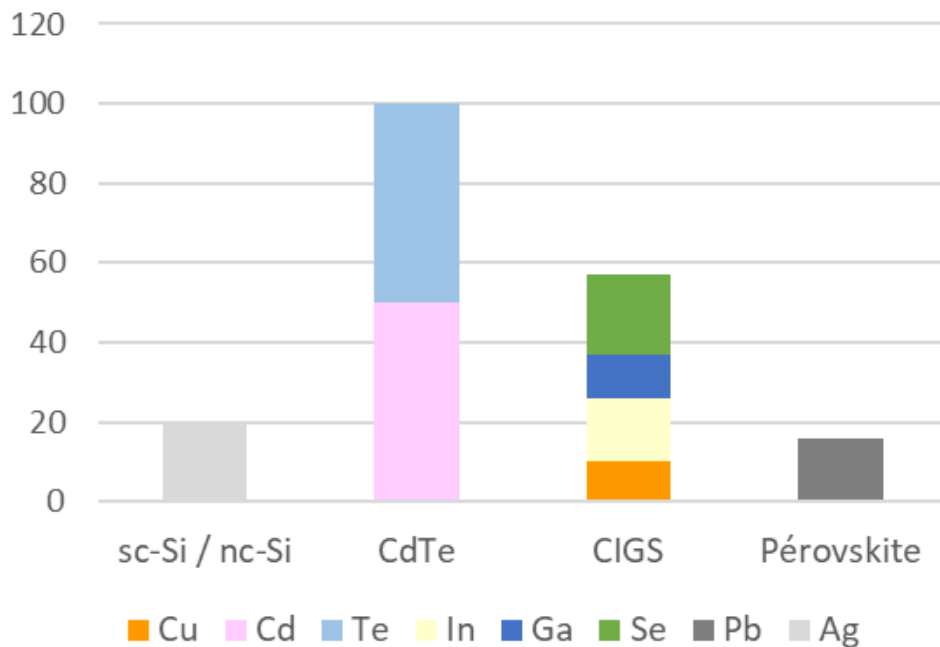
	Au sol	Toiture
CELLULES	Mono sc-Si	
	Poly mc-Si	
	CdTe	
	CIGS	
	Pérovskite	
SUPPORT		Fixe
		Tracker 1
		Tracker 2
ONDULEUR	2,5 kW	
	5 kW	
	10 kW	
	20 kW	
	> 20 kW	



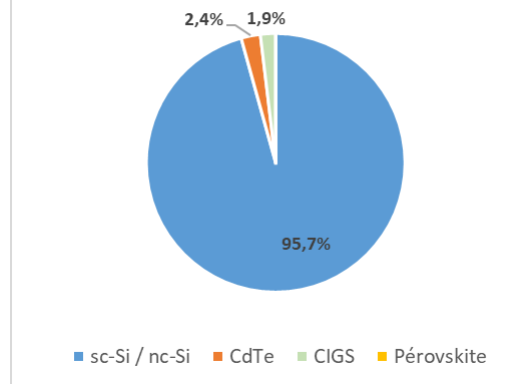
Dans le scénario nW on ne retient que les installations au sol fixes ou les toitures
Pas de tracker

↘ PV : écrasante majorité du silicium

Cellules PV (kg/MW)

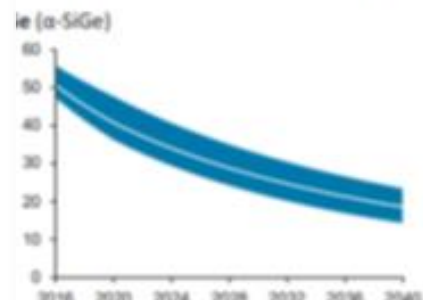
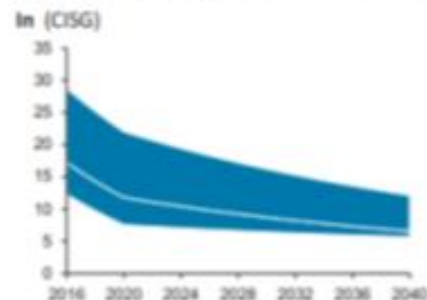
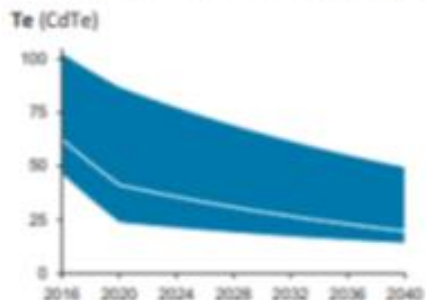
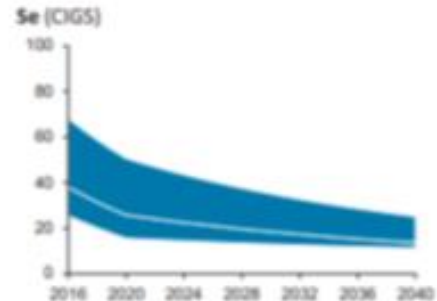
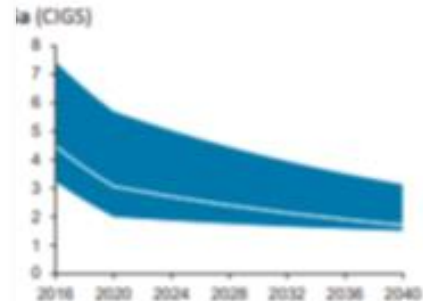
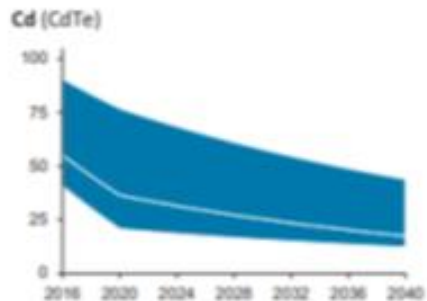
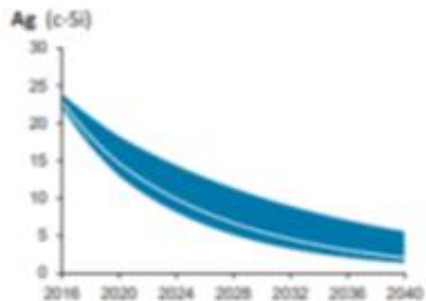


Parts de marché en Europe



Ecrasante majorité des cellules au silicium :
Ni métaux critiques,
ni terres rares

↘ Des matériaux en baisse constante





3. La transition énergétique

3.1 L'éolien

3.2 Le photovoltaïque

3.3 Les réseaux

3.4 Les batteries

3.5 Synthèse

Le réseau électrique de demain

Transport et distribution d'électricité

Parc de production

- Centrale nucléaire
- Centrale hydraulique
- Turbine à gaz
- Éoliennes offshore



- Éoliennes
- Grand parc photovoltaïque



- Photovoltaïque



Très haute tension

Moyenne tension

Basse tension

Sous-stations

Consommation / Production

- Usine
- TGV



- Immeuble
- TER
- Centres commerciaux
- Zone pavillonnaire



- Maison individuelle
- Ferme



Centre de contrôle des gestionnaires des réseaux d'électricité




- **Transport** : interconnexions renforcées, nouvelles lignes pour raccorder l'éolien offshore
- **Distribution** : sous-stations renforcées, nouvelles lignes pour les parcs de moyenne puissance (éolien terrestre, PV au sol), bornes de recharge...
- **Stockage** : barrages, batteries, power-to-gas

↘ Quelles conséquences sur les matériaux ?



- Un sujet d'actualité... complexe
 - Travaux récents menés par RTE et Enedis
 - Fortes incertitudes sur la prospective matière du réseau de distribution... pourtant prépondérant dans la consommation de matériaux

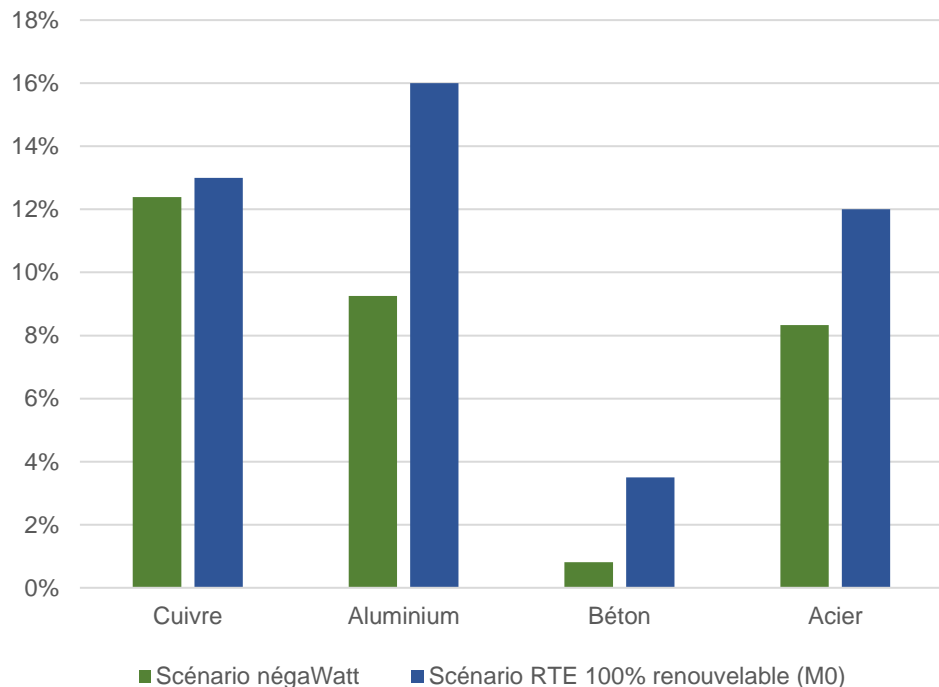


- Travaux en cours, mais résultats consensuels 
- Impact principal sur matériaux « structurels » : Cuivre, Aluminium, Béton, Acier
- Faible impact des technologies de stockage
 - **A long terme, les batteries stationnaires représentent seulement -5% du flux annuel de batteries véhicules électriques hors d'usages**
 - **Electrolyseurs & méthanation peu consommateurs de matériaux**

↳ Résultats & comparaison avec scénarii RTE



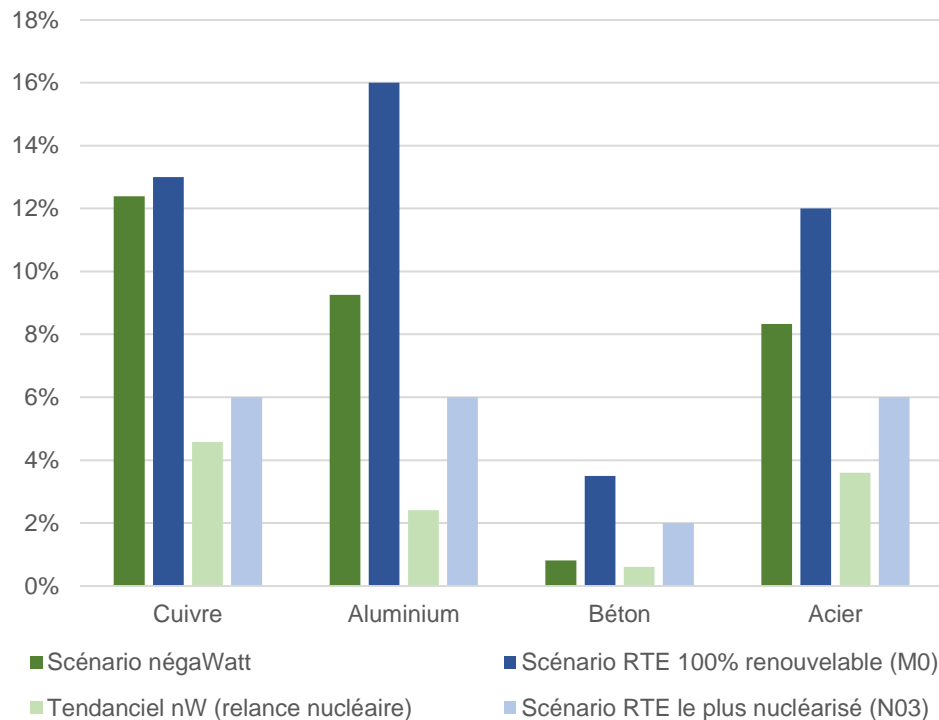
Consommation moyenne 2020-2050 pour le système électrique complet (réseau + prod) vs. conso totale 2015



- Ordres de grandeurs comparables avec scénario RTE 100% renouvelable
- Consommation modeste par rapport à la consommation actuelle totale

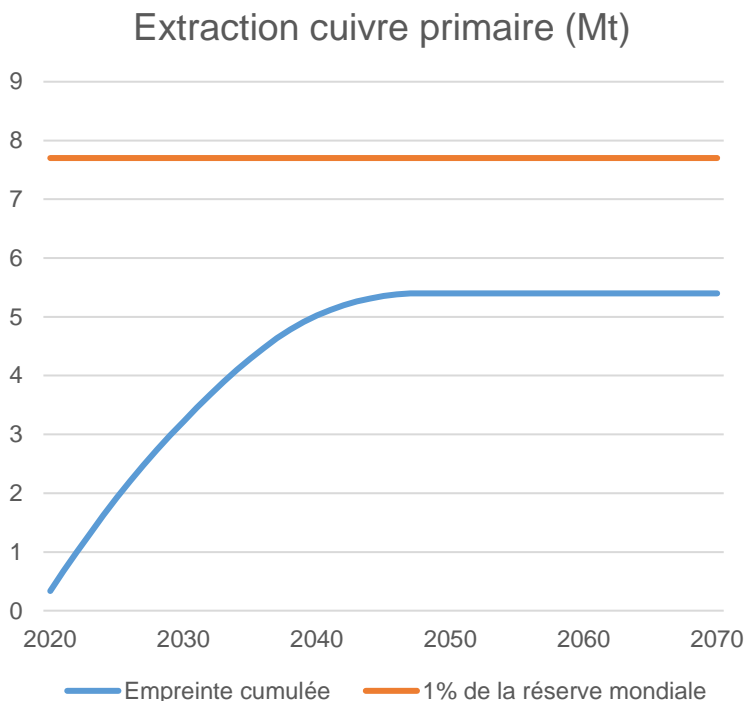
↳ Résultats & comparaison avec scénarii RTE

Consommation moyenne 2020-2050 pour le système électrique complet (réseau + prod) vs. conso totale 2015



- Ordres de grandeurs comparables avec scénario RTE 100% renouvelable
- Consommation modeste par rapport à la consommation actuelle totale
- Surtout si on s'intéresse à l'écart entre « tendanciels » et scénarii 100% renouvelables

↘ Criticité du cuivre, et leviers pour réduire la pression



- Substitution du cuivre par l'aluminium dans les conducteurs
- Flexibilité de la demande électrique pour éviter de surdimensionner le réseau
- Sobriété sur la demande en électricité (cf. RTE)...
- ... et sur les autres usages consommateurs de cuivre
 - **Appareils électriques et électroniques**
 - **Et surtout bâtiment (baisse des construction neuves)**
- Augmentation du taux de récupération et recyclage (100% à terme)



3. La transition énergétique

3.1 L'éolien

3.2 Le photovoltaïque

3.3 Les réseaux

3.4 Les batteries

3.5 Synthèse

Scénario de non transition énergétique

- **Changement climatique : sécheresses, pics de température, montée des eaux...**
- **Impacts environnementaux liés à l'extraction et au raffinage du pétrole**

Scénario de transition énergétique

- **Sobriété et efficacité énergétique**
- **Véhicules identiques avec des agrocarburants : conflits d'usage**
- **OU véhicules similaires avec du biogaz : peu d'initiatives politiques**
- **OU véhicules électriques à batterie : fortes Initiatives politiques, enjeux matériaux**

↳ Les enjeux matière des batteries lithium-ion



Lithium : environs 6 kg pour une batterie de 60kWh

- **Non substituable, impacts environnementaux dans les *salars* américains : forte consommation et pollution des eaux, impact populations locales**



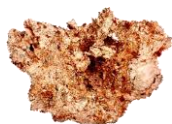
Cobalt : environs 8kg

- **Impacts sociaux majeurs, contraintes géopolitiques, tensions sur l'offre**



Nickel de classe I : environs 30kg

- **Impacts socio-environnementaux locaux, tensions d'approvisionnement**



Cuivre : environs 20kg

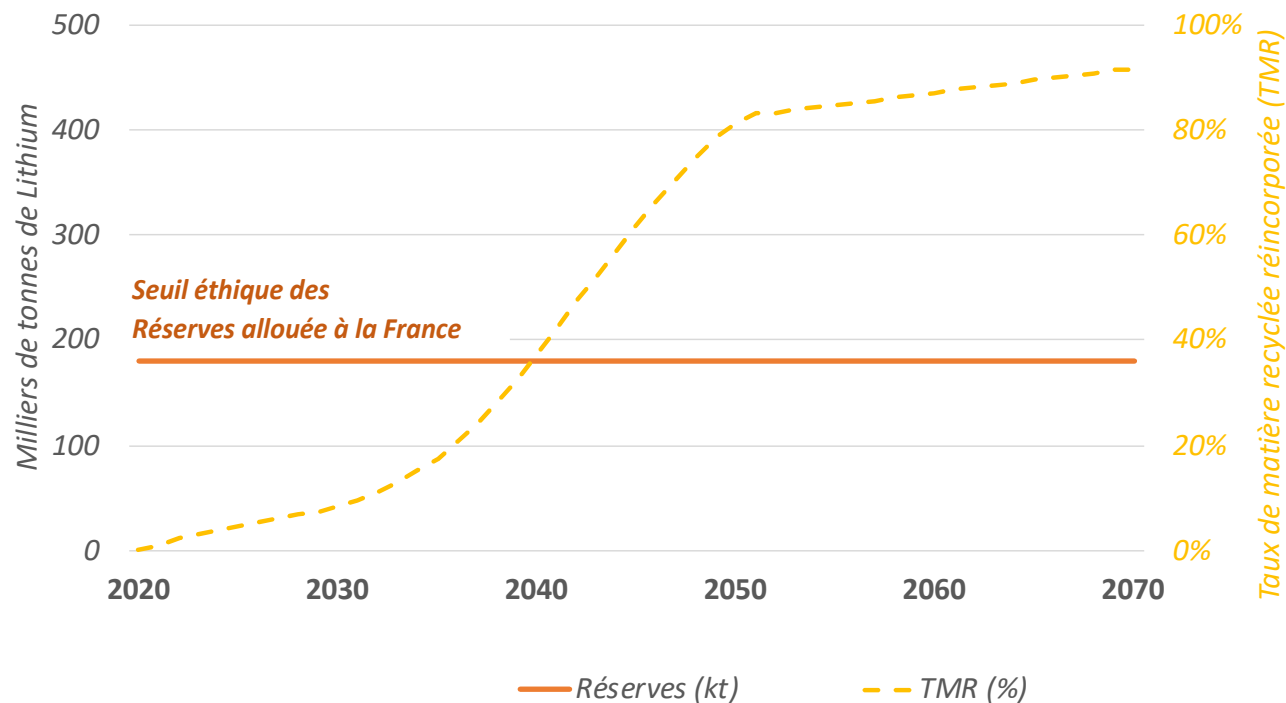
- **Impacts environnementaux, forte réduction des teneurs**

- Évaluation des réserves prouvées (17 Mt Li, 7 Mt Co)
 - Pas de pari sur le futur
 - Limitation de l'extraction minière
- Affectation des réserves au prorata de la population (1%)
- Modélisation des besoins d'extraction selon
 - Evolution du parc de véhicules
 - Technologies de batteries (NMC, LFP et NCA) dans des proportions évolutives et cohérentes avec un consensus d'études récentes (AIE, McKinsey, T&E)
 - Recyclage
- Sobriété
 - Autonomie modérée des véhicules à batterie
 - Réduction du poids des véhicules

↘ Empreinte en Lithium - leviers d'action



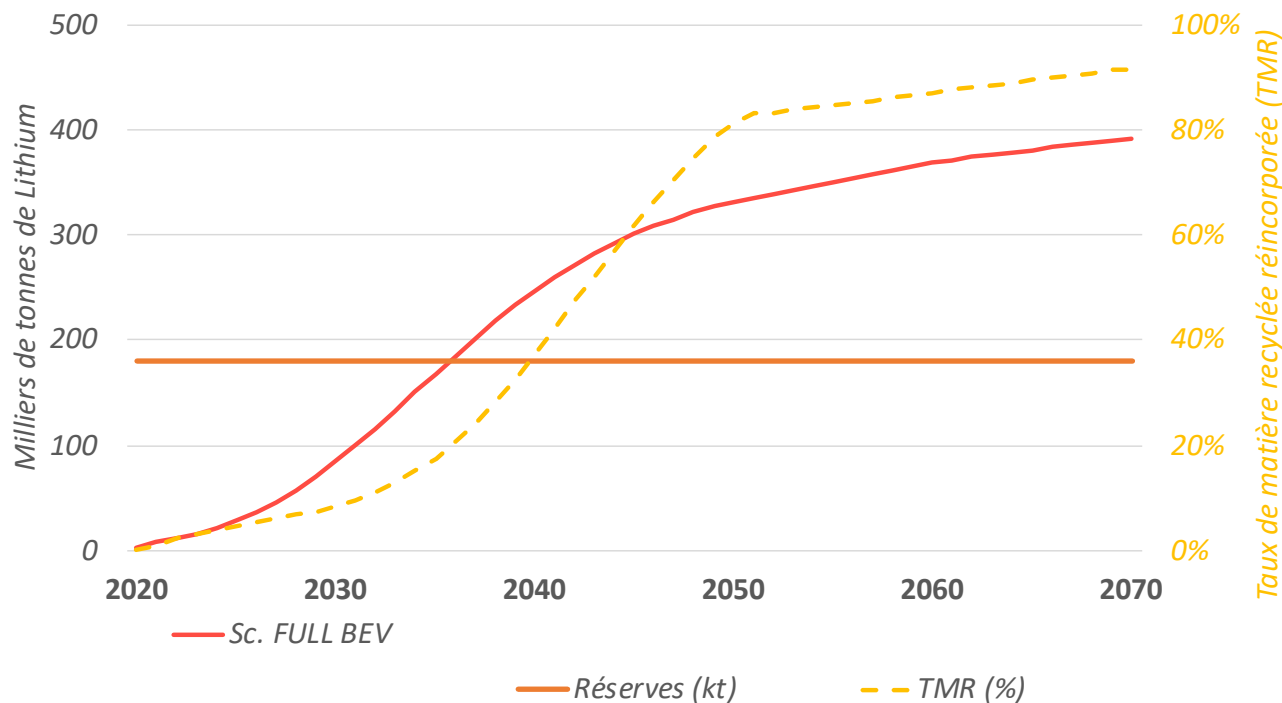
Empreinte cumulée de Lithium pour 4 scénarios



↘ Empreinte en Lithium - leviers d'action



Empreinte cumulée de Lithium pour 4 scénarios



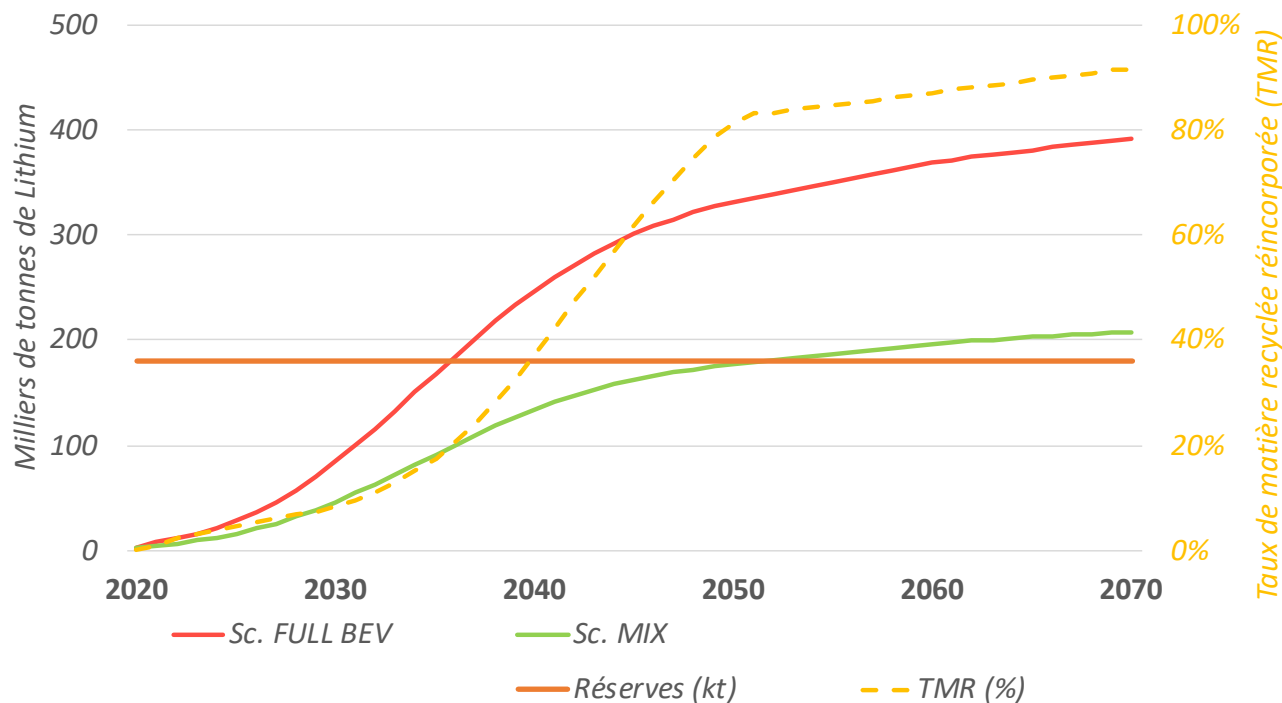
Scénario **FULL BEV** :

tout électrique (VP+VUL+PL) à 2050
autonomie limitée + sans sobriété
d'usage

↳ Empreinte en Lithium - leviers d'action



Empreinte cumulée de Lithium pour 4 scénarios



Scénario **FULL BEV** :

tout électrique (VP+VUL+PL) à 2050
autonomie limitée + sans sobriété
d'usage

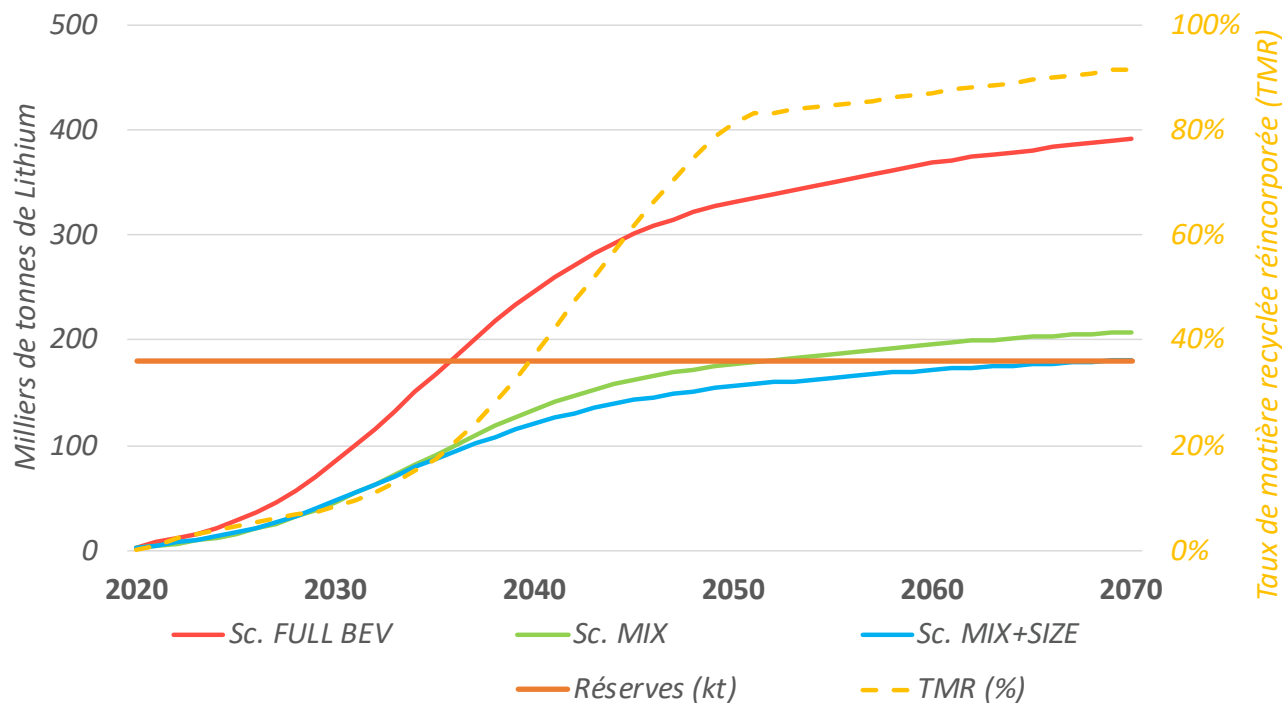
Scénario **MIX** :

Mix électrique, hybride GNV, et 100%
GNV (mix scénario négaWatt)

↘ Empreinte en Lithium - leviers d'action



Empreinte cumulée de Lithium pour 4 scénarios



Scénario **FULL BEV** :

tout électrique (VP+VUL+PL) à 2050
autonomie limitée + sans sobriété
d'usage

Scénario **MIX** :

Mix électrique, hybride GNV, et 100%
GNV (mix scénario négaWatt)

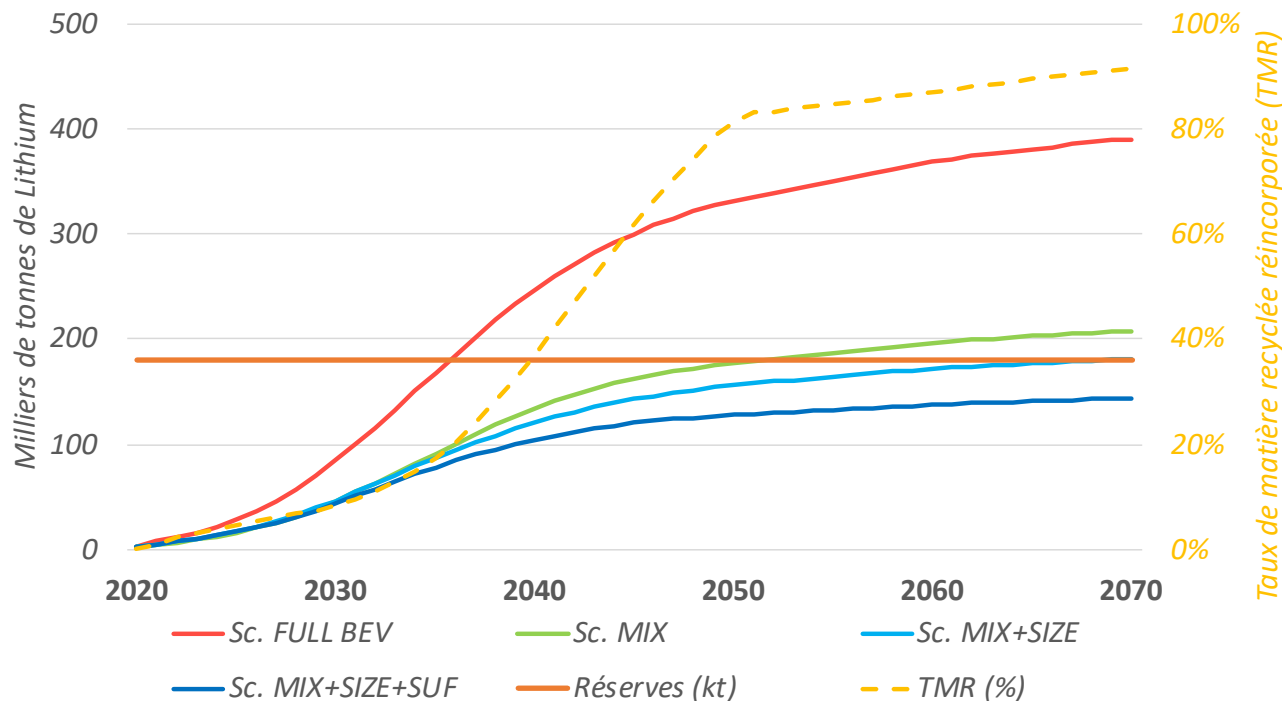
Scénario **MIX+SIZE** :

MIX + optimisation de la taille des
véhicules

↘ Empreinte en Lithium - leviers d'action



Empreinte cumulée de Lithium pour 4 scénarios



Scénario **FULL BEV** :

tout électrique (VP+VUL+PL) à 2050
autonomie limitée + sans sobriété
d'usage

Scénario **MIX** :

Mix électrique, hybride GNV, et 100%
GNV (mix scénario négaWatt)

Scénario **MIX+SIZE** :

MIX + optimisation de la taille des
véhicules

Scénario **MIX+SIZE+SUF** :

MIX + SIZE + sobriété (covoiturage et
réduction de la voiture indiv.)



3. La transition énergétique

3.1 L'éolien

3.2 Le photovoltaïque

3.3 Les réseaux

3.4 Les batteries

3.5 Synthèse

↳ Quelle transition énergétique ? Avec quoi la compare-t-on ?



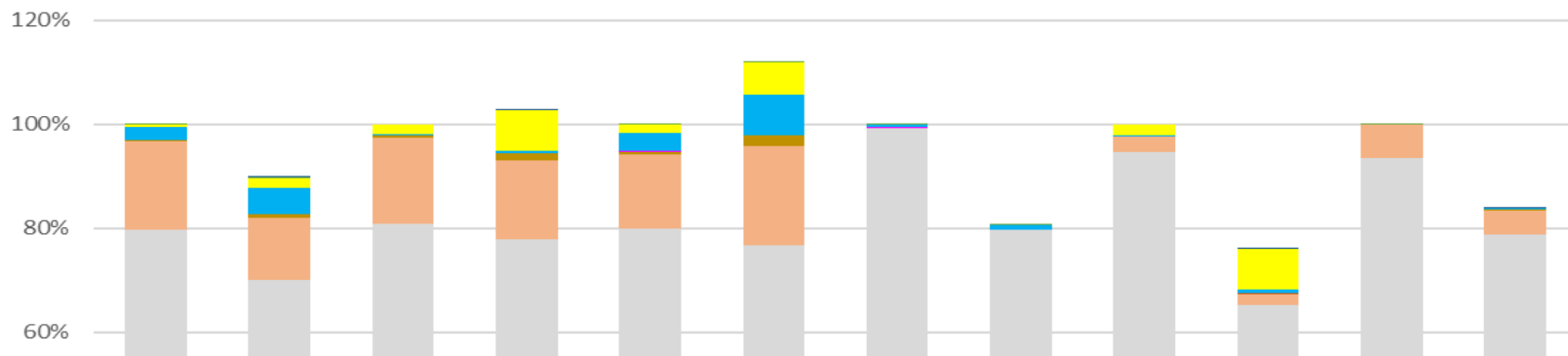
- **Quelle transition énergétique ? le scénario négawatt**
- **Qu'est ce qu'un scénario de non transition énergétique ?**
Que proposent en échange ceux qui alertent sur les « supposés méfaits de la transition énergétique ?
- Un scénario « **Buisness as usual** » où rien ne change.
 - ✓ Même niveau de consommation ?
 - ✓ Pas ou peu de renouvelable ?
 - ✓ Pas ou peu de véhicules électriques ?

Option peu réaliste car totalement incompatible avec l'accord de Paris

- Un scénario dit « **décarboné** » avec d'autres options ?
Exemple : scénario M03 de RTE scénario S4 de l'ADEME (cf. rapport matériaux)

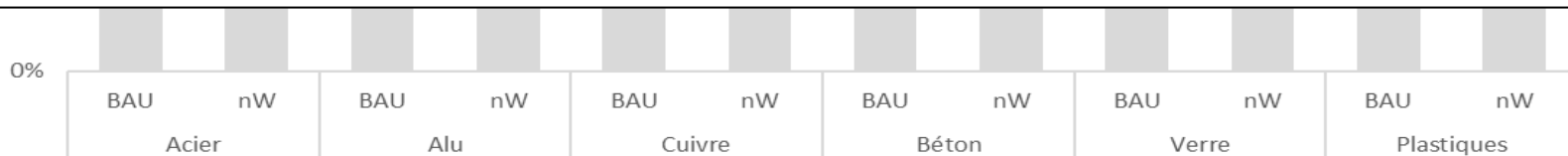
Cette option inclut les énergies renouvelables et la mobilité électrique

↘ En général la TE économise des matériaux



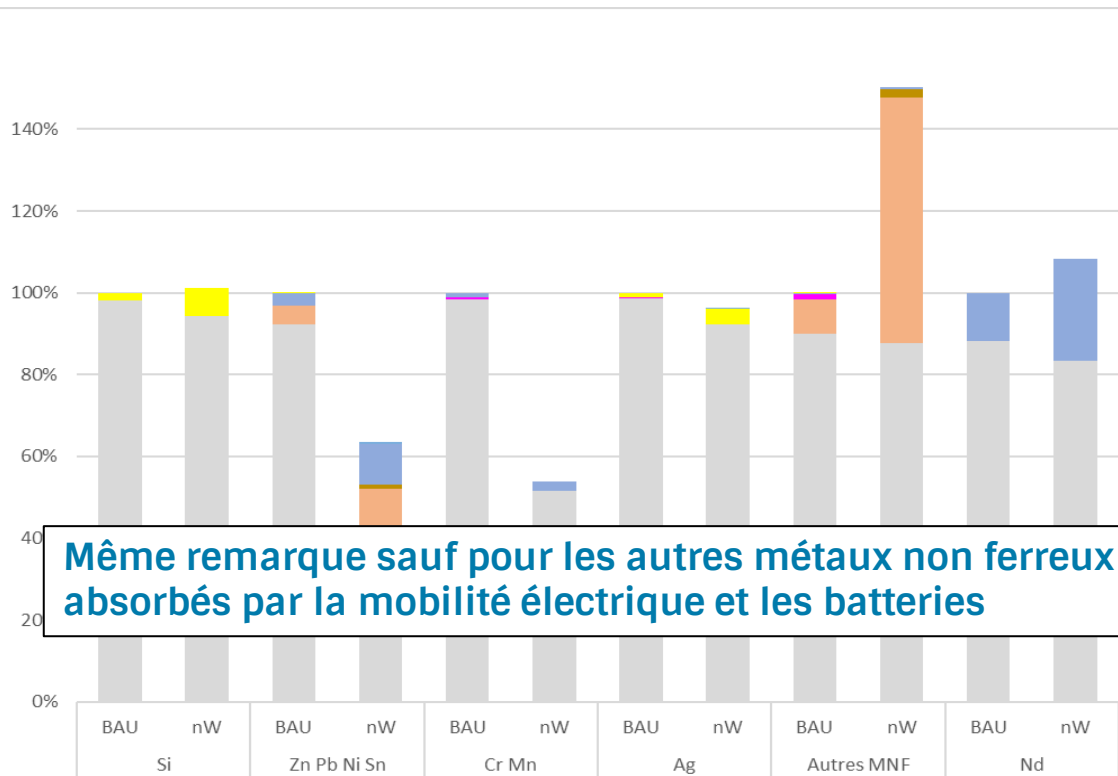
Acier, béton, verre, plastique : baisse car la sobriété et l'économie circulaire (EC) compensent largement la faible augmentation due aux ER et aux transports

Alu et cuivre : augmentation modérée qui ne dépasse pas 10%

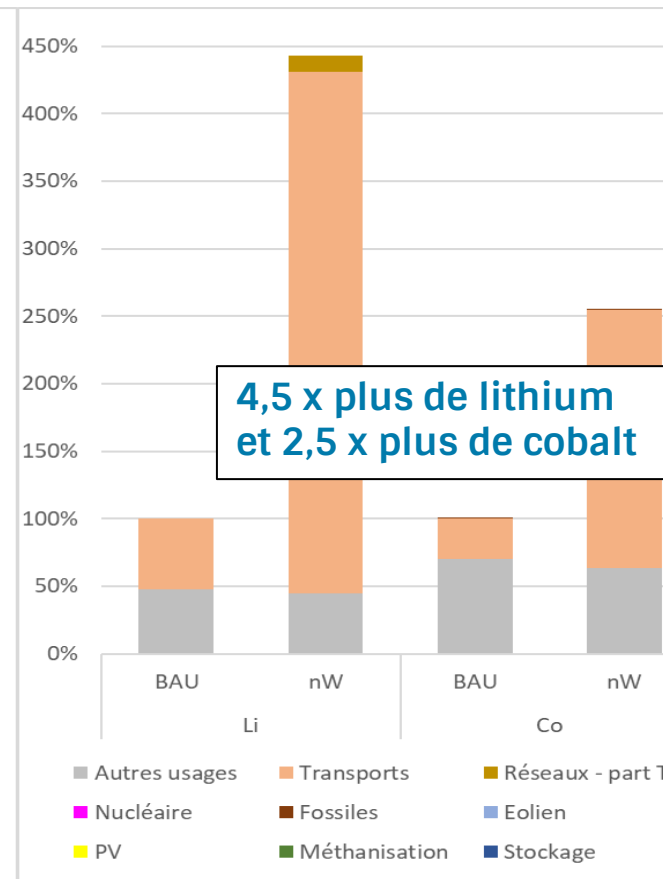


Autres usages Transports Réseaux - part TE Nucléaire Fossiles Eolien PV Méthanisation Stockage

↘ La mobilité absorbe Li, Co et autres MNF



Même remarque sauf pour les autres métaux non ferreux absorbés par la mobilité électrique et les batteries

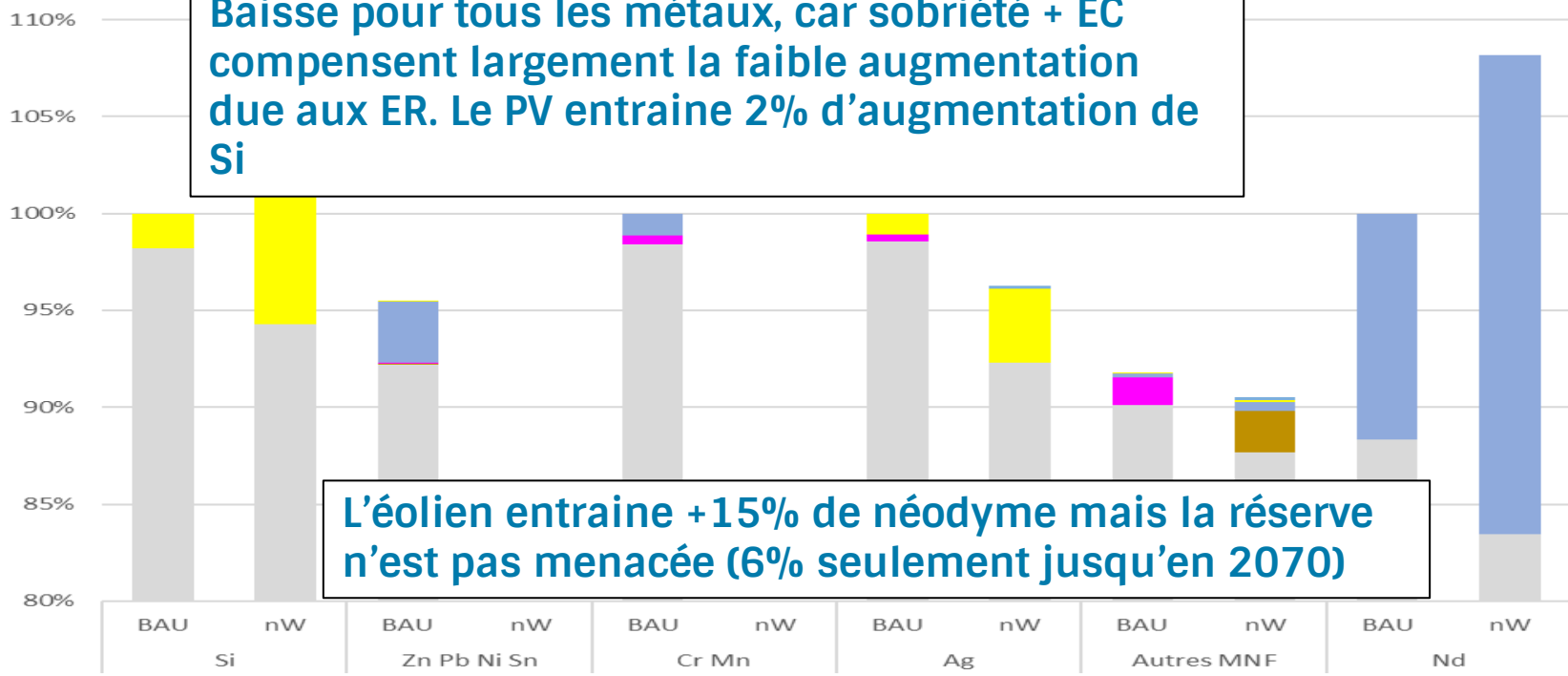


4,5 x plus de lithium et 2,5 x plus de cobalt

Et si on enlève la mobilité

Baisse pour tous les métaux, car sobriété + EC compensent largement la faible augmentation due aux ER. Le PV entraîne 2% d'augmentation de Si

L'éolien entraîne +15% de néodyme mais la réserve n'est pas menacée (6% seulement jusqu'en 2070)



- La **transition énergétique**, ce n'est pas QUE le changement de mix énergétique et la décarbonation
- La sobriété et l'économie circulaire permettent une **économie de matériaux** supérieure à ce que requièrent les énergies renouvelables
- Dans le scénario négaWatt, **les réserves sont préservées**. Le cuivre, le cobalt et le lithium sont critiques
- **Le cuivre** exige une forte substitution vers l'aluminium
- **Le lithium et le cobalt** exigent une mobilité sobre et raisonnable avec un mix entre électrique et biométhane

→ De nombreuses ressources disponibles sur :

www.negawatt.org

Synthèse du scénario

Rapport complet

Graphiques dynamiques

Replay de la présentation complète

Soutenez négaWatt

Adhérez ou faites

un don sur

www.negawatt.org

→ Des réponses aux idées reçues sur la transition énergétique sur :



www.decrypterlenergie.org