

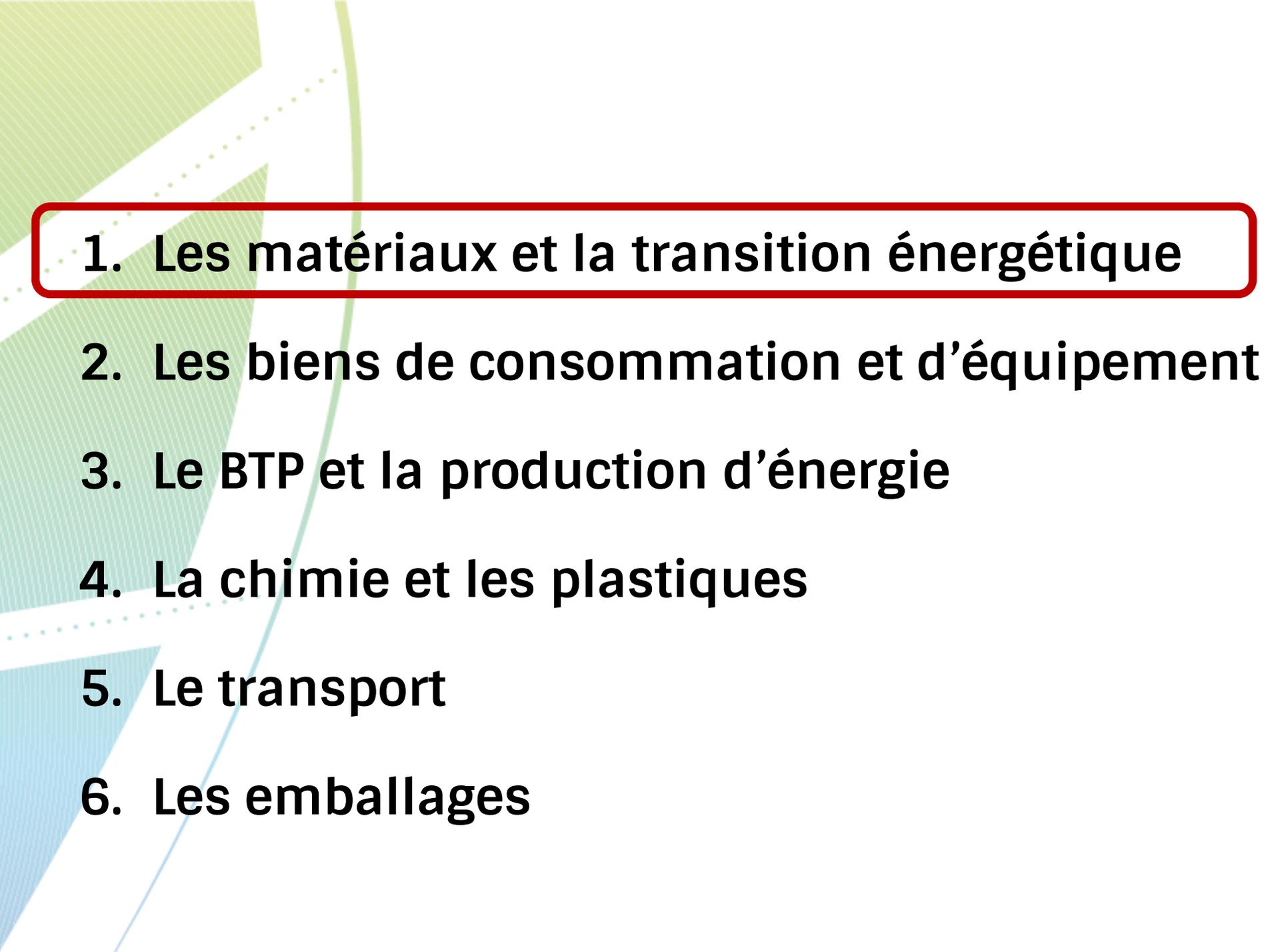
Université négaWatt 2018

Les matériaux et la transition énergétique

Emmanuel RAUZIER
Thierry RIESER
12 octobre 2018



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



1. Les matériaux et la transition énergétique

2. Les biens de consommation et d'équipement

3. Le BTP et la production d'énergie

4. La chimie et les plastiques

5. Le transport

6. Les emballages

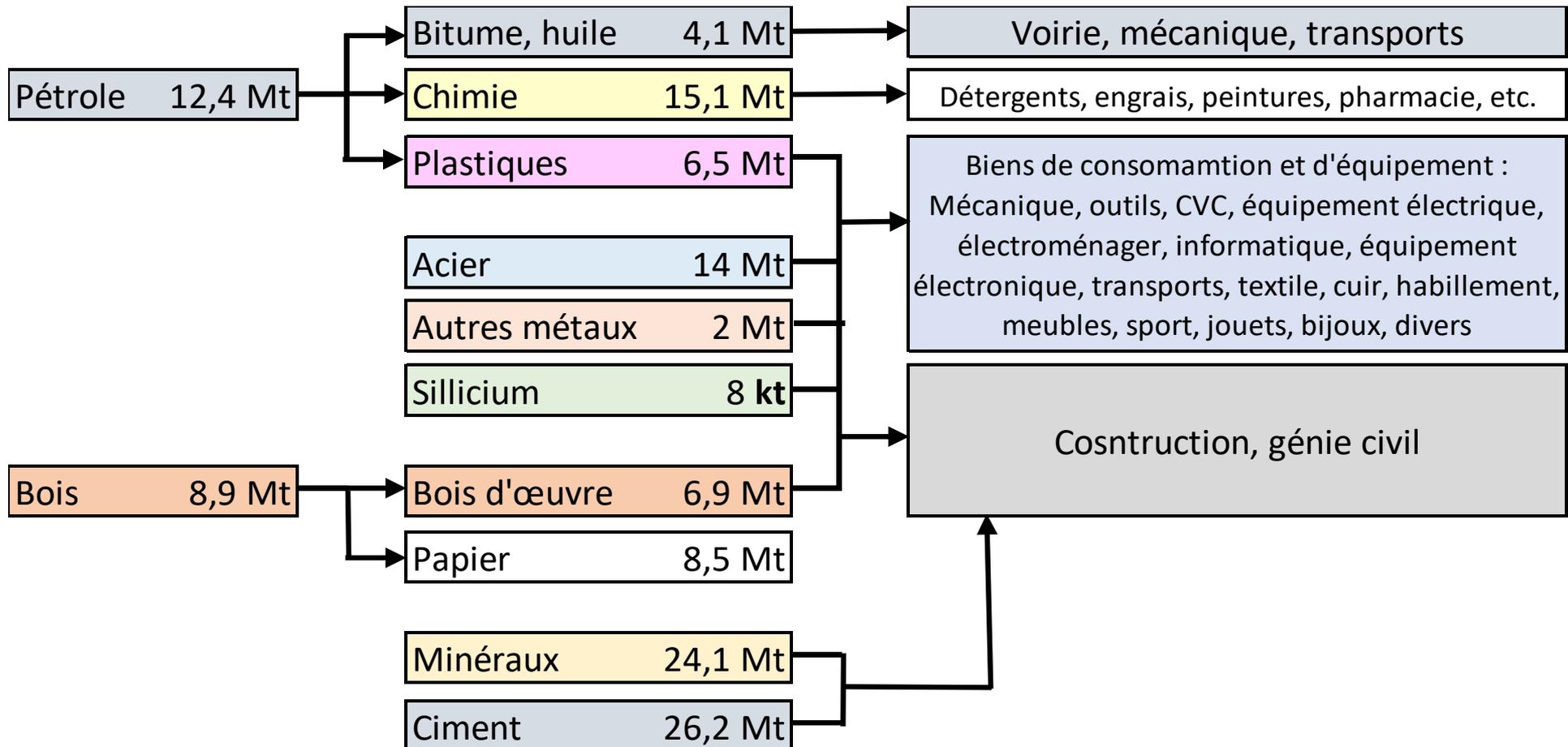
↘ Quels matériaux pour 2050 ?



Ce que disent les scénarii AMS et AME

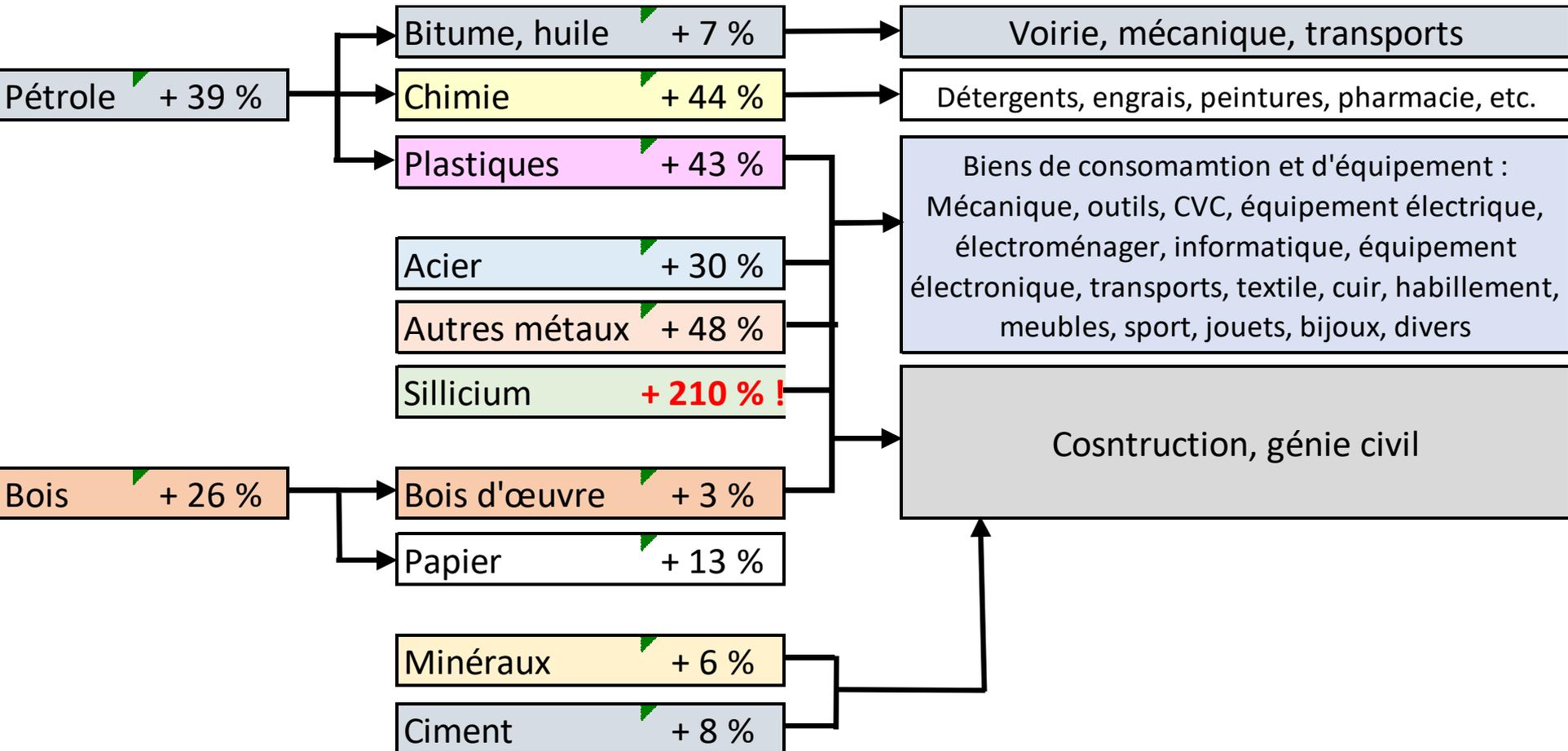
Production IGCE en Mt	2010	2015	2020	2025	2030	2050
Acier	21,00	20,20	20,20	20,20	20,20	18,77
Aluminium	0,51	0,61	0,61	0,61	0,61	0,53
Ethylène	2,30	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51
Chlore	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ammoniac	1,03	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Clinker	14,90	12,51	14,00	14,00	14,00	13,00
Verre	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,20
Papier	8,80	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95
Sucre	4,60	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54

Matériaux : état des lieux



Production de matériaux en France

Et si on tient compte des matériaux importés pour notre consommation ?



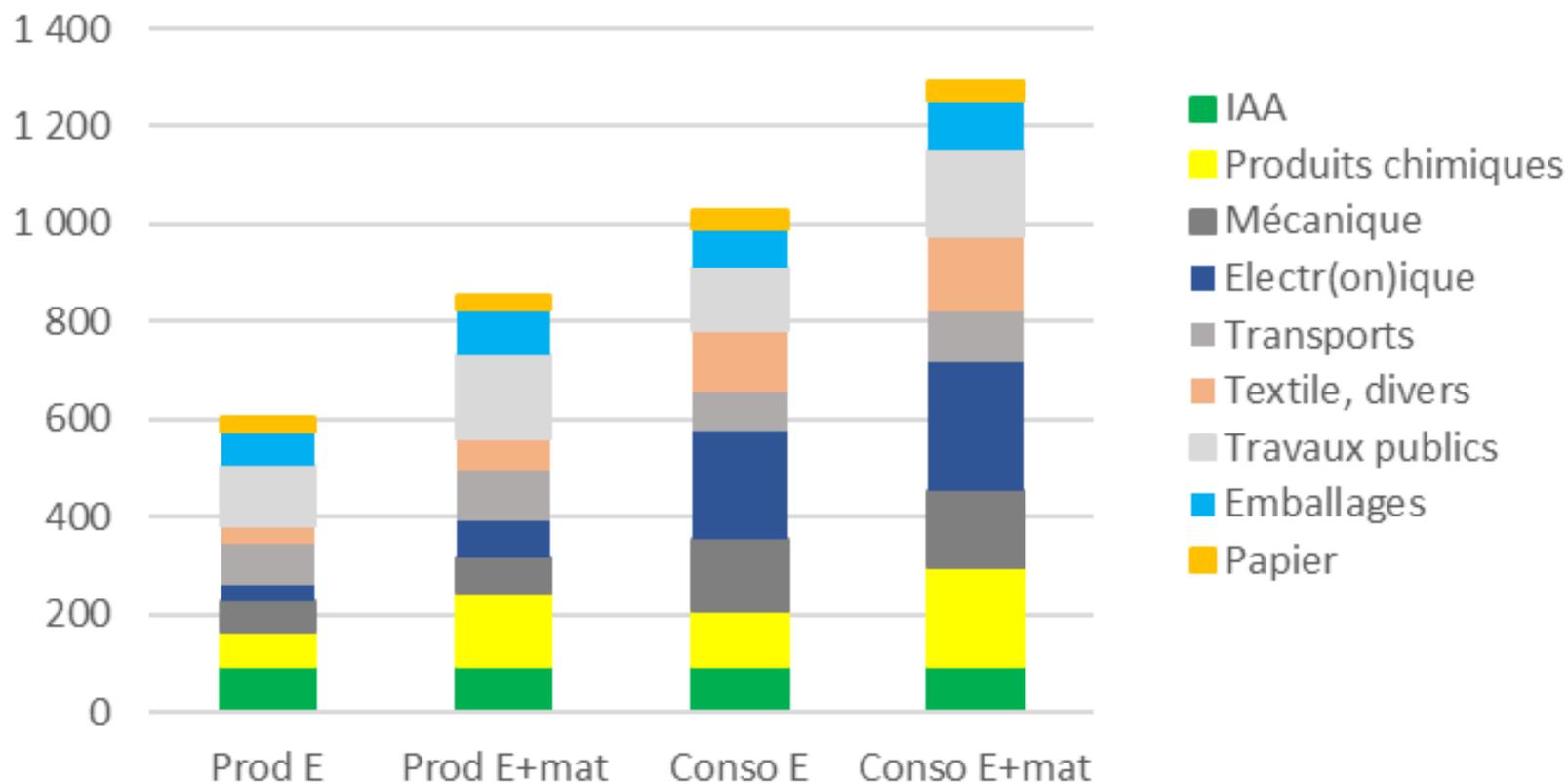
Production de matériaux en France ou ailleurs en relation avec la consommation de BEC

↘ Combien d'énergie pour les BEC ?



Milliards de kWh

Repartition des consommations industrielles





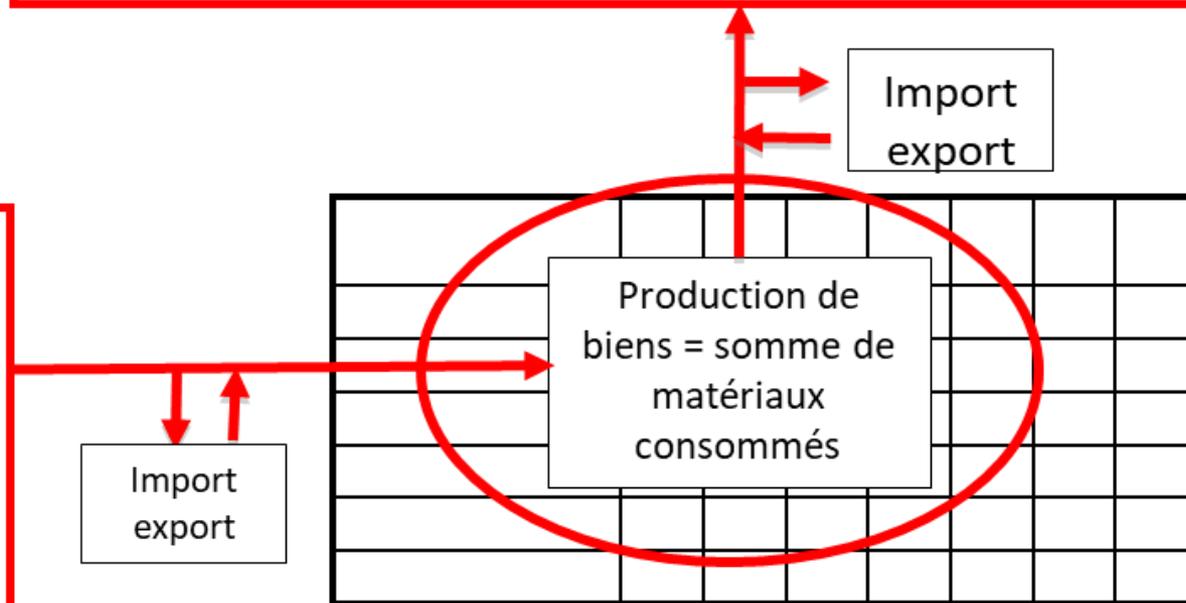
Relation entre BEC et matériaux de base



Production de matériaux : sucre, bois, **acier**, **aluminium**, métaux non ferreux, **clinker**, ciment, terre, pierre et sable, **verre**, fossiles à usage non énergétique, produits chimiques de base, **ammoniac**, **dichlore éthylène**, plastiques, **papiers et cartons**, etc.

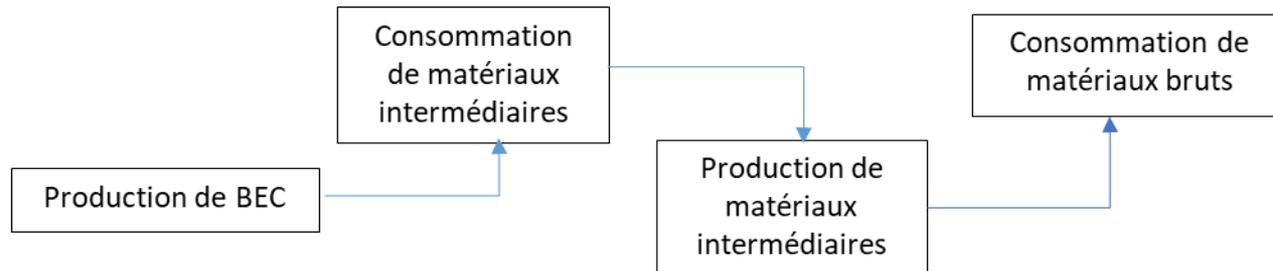
Consommation de produits finis :

Alimentation
BTP, voirie
Produits chimiques
Mécanique, électricité
Electroménager, électronique
Transports, papier
Divers, emballages, etc.

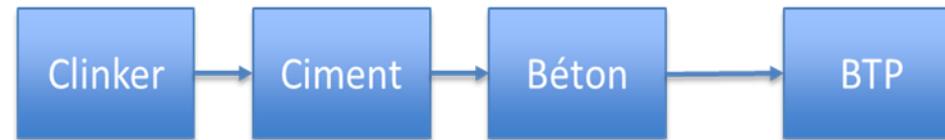


Demande nationale + **V**ariation de stock à l'année n =
Production + **I**mportations - **E**xportations
(valable pour les biens comme les matériaux)

La chaîne des matériaux intermédiaires

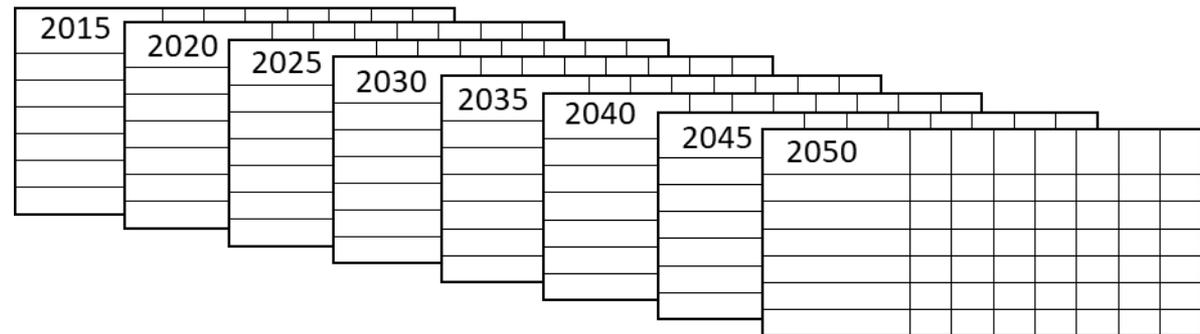


2 matrices
suffisent sauf pour
la chimie où il faut
intégrer les
matières
plastiques et leur
transformation



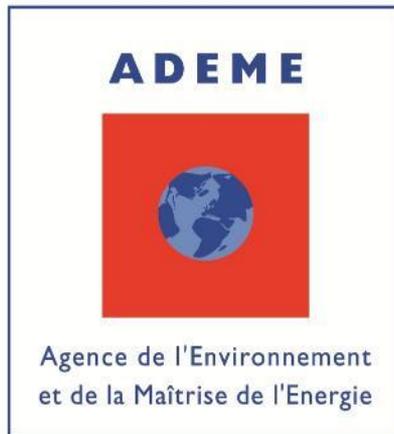
Production de matériaux en France

↳ L'évolution des matériaux et des BEC



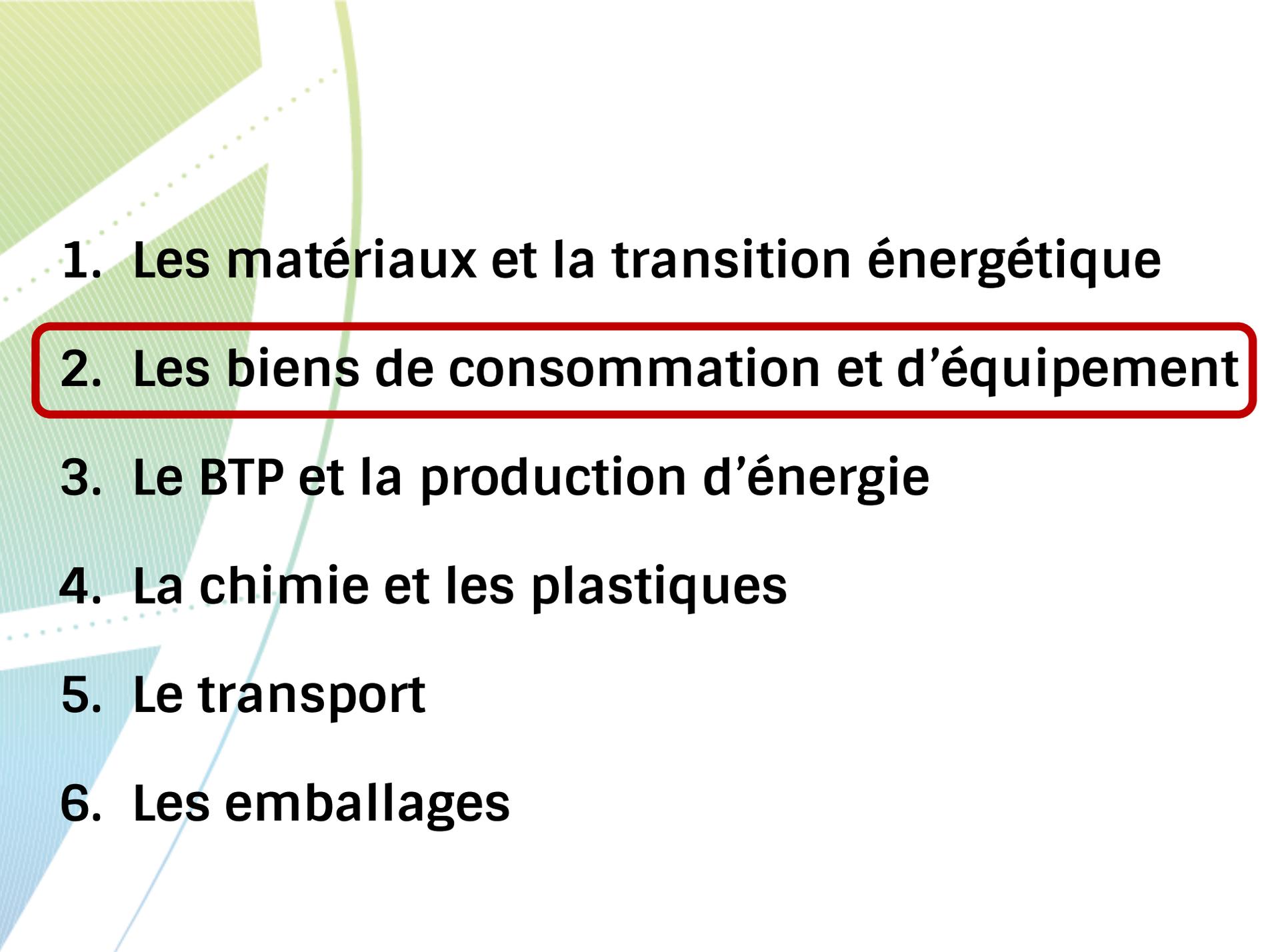
Les algorithmes d'évolution sont liés à un jeu d'**hypothèses** concernant pour chaque secteur :

- L'évolution de la population
- L'évolution de la **consommation par habitant et** par secteur (sobriété ou croissance)
- Des **modules spécifiques** pour BTP, transport, emballages, EnR
- Des modifications éventuelles **des ratios import/export**



Prospective énergie matière : scénarisation des niveaux de production industrielle à 2035 - 2050



- 
1. Les matériaux et la transition énergétique
 2. Les biens de consommation et d'équipement
 3. Le BTP et la production d'énergie
 4. La chimie et les plastiques
 5. Le transport
 6. Les emballages



Biens de consommation et d'équipement



Ici, les biens de consommation concernent

- l'industrie **mécanique**
- l'industrie **électrique** et l'électroménager
- l'industrie **électronique**
- L'industrie **textile**
- Les **divers** (meubles, jouets, articles de sport, etc...)
- Les **papiers** graphiques, sanitaires et spéciaux

Sont étudiés à part :

- Le **bâtiment** et les **travaux publics**
- Les produits **chimiques**
- Le matériel de **transport**
- Les **emballages**

- Augmentation de la **population**
- **Durabilité** des produits
 - Fin de l'obsolescence programmée (loi LTECV)
 - Réutilisation, réparation, mutualisation
 - Politique de SAV
- Forte croissance du **numérique**
- Augmentation de production par **diminution des importations**

↳ Consommer moins



Abolir les produits jetables



Diminuer les emballages

12 Mt / an

Acier	4%
Aluminium	2%
Verre	30%
Plastique	20%
Carton	30%
Bois	14%

Consigner
le verre

Passer du
plastique au verre





Durée de vie plus longue



Augmenter la durée de garantie

Interdire l'obsolescence programmée
(loi LTECV)

Les 3 R

R éutiliser

R éparer

R ecycler



Réutiliser



Vides grenier

Ressourcerie



Ventes d'occasion





Réparer



Des objets démontables
Des pièces détachées pour 10 ans
Standardisation des pièces détachées

Les repair café



La politique de SEB

- 5 millions de pièces
- Valables 10 ans
- -30% sur les prix



↘ Mesures préconisées



- 1 Imposer aux constructeurs (coordination UE)
 - Augmentation de la durée de garantie
 - Obligation de pièces détachées pour dix ans
 - Incitation à la standardisation des pièces détachées

- 2 Taxation des produits jetables et non soumis à la REP

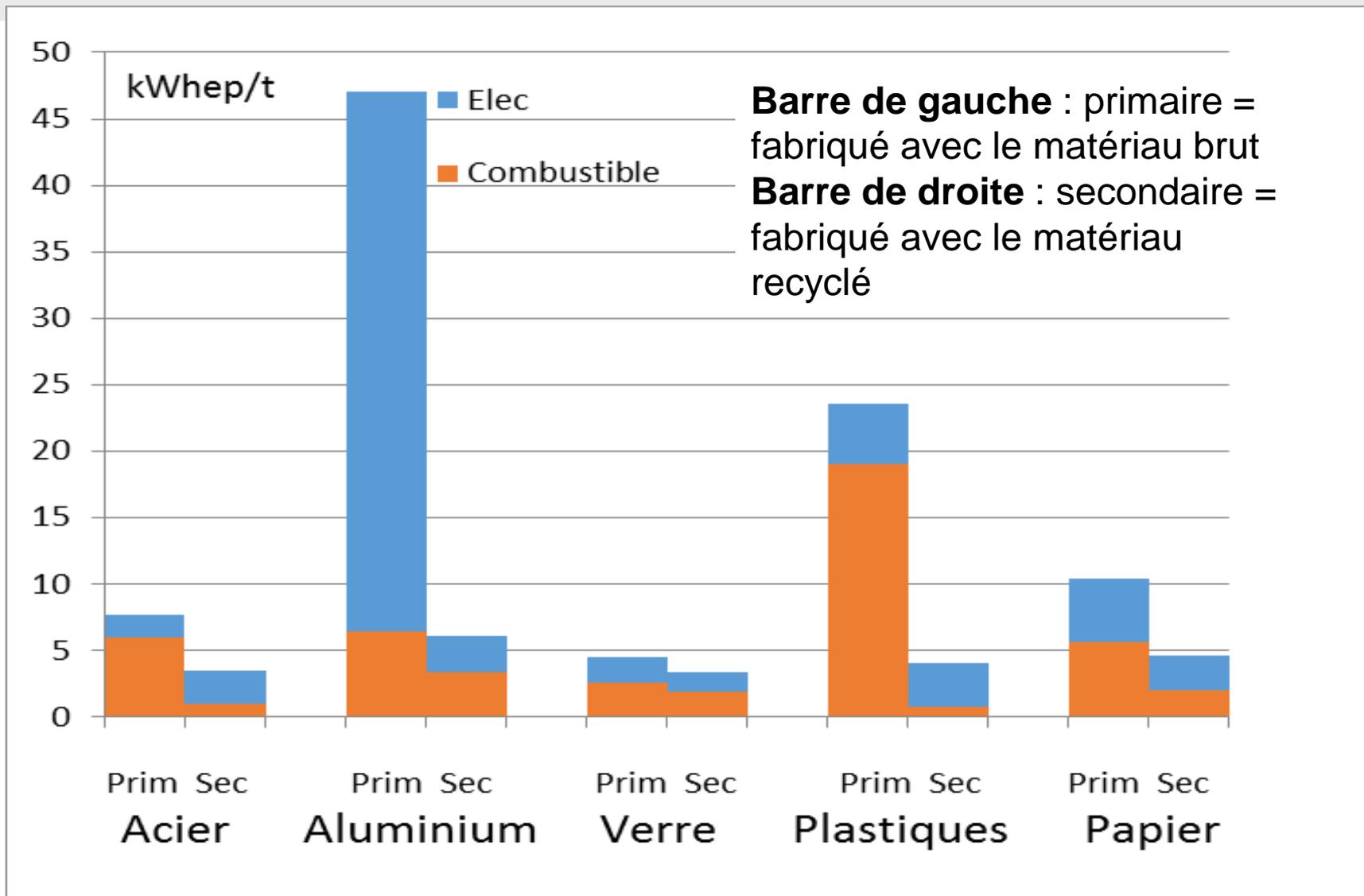
- 3 Favoriser la réparabilité et la réutilisation

- 4 prolongation des équipements dans le domaine public
 - Audit de la réelle nécessité de renouvellement (informatique, véhicules, etc.

- 5 Favoriser le leasing et partage
 - Véhicules et vélos
 - Machines de bureau à l'instar des photocopieurs
 - Outils



Recycler

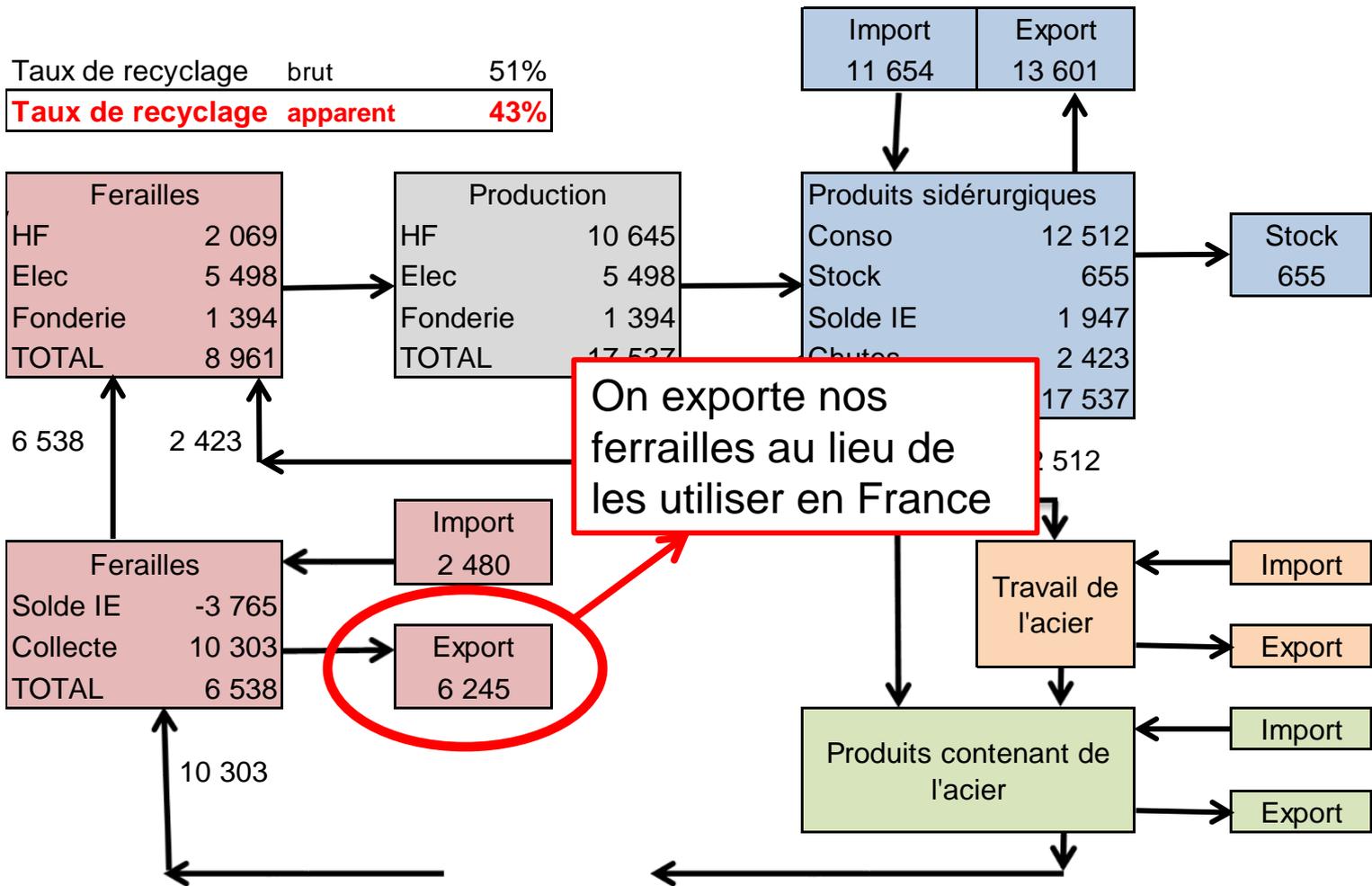




Un exemple : l'acier



SCHEMA PRDUCTION CONSO RECYCLAGE ACIER kt 2014





Améliorer la collecte Augmenter le recyclage



Secteur	Taux de collecte	Taux de recyclage en France	Taux de recyclage dans d'autres pays		Taux de recyclage prévisionnel
	2015	2015	2015		nW 2050
Acier	74%	57%	Italie	81%	90%
Aluminium	26%	53%			86%
Verre	42%	45%	Belgique	95%	90%
Plastiques	15%	5%	Allemagne	38%	30%
Papier carton	74%	59%	Gde Bretagne	85%	80%
Huiles		30%			80%
Pneus		10%			50%
Bitume		4%			85%

↳ Mesures préconisées



- Amélioration de la collecte et le tri
 - Elargissement des filières REP
 - Centres de tri performants (tri optique, spectroscopique...)
- Production de matériaux recyclés
 - Investissements vers les usines de production de matériaux (acier, alu, pâte à papier, huiles, pneumatiques)
- Tracer le provenance
 - Comme on fait pour le bio, OGM, etc



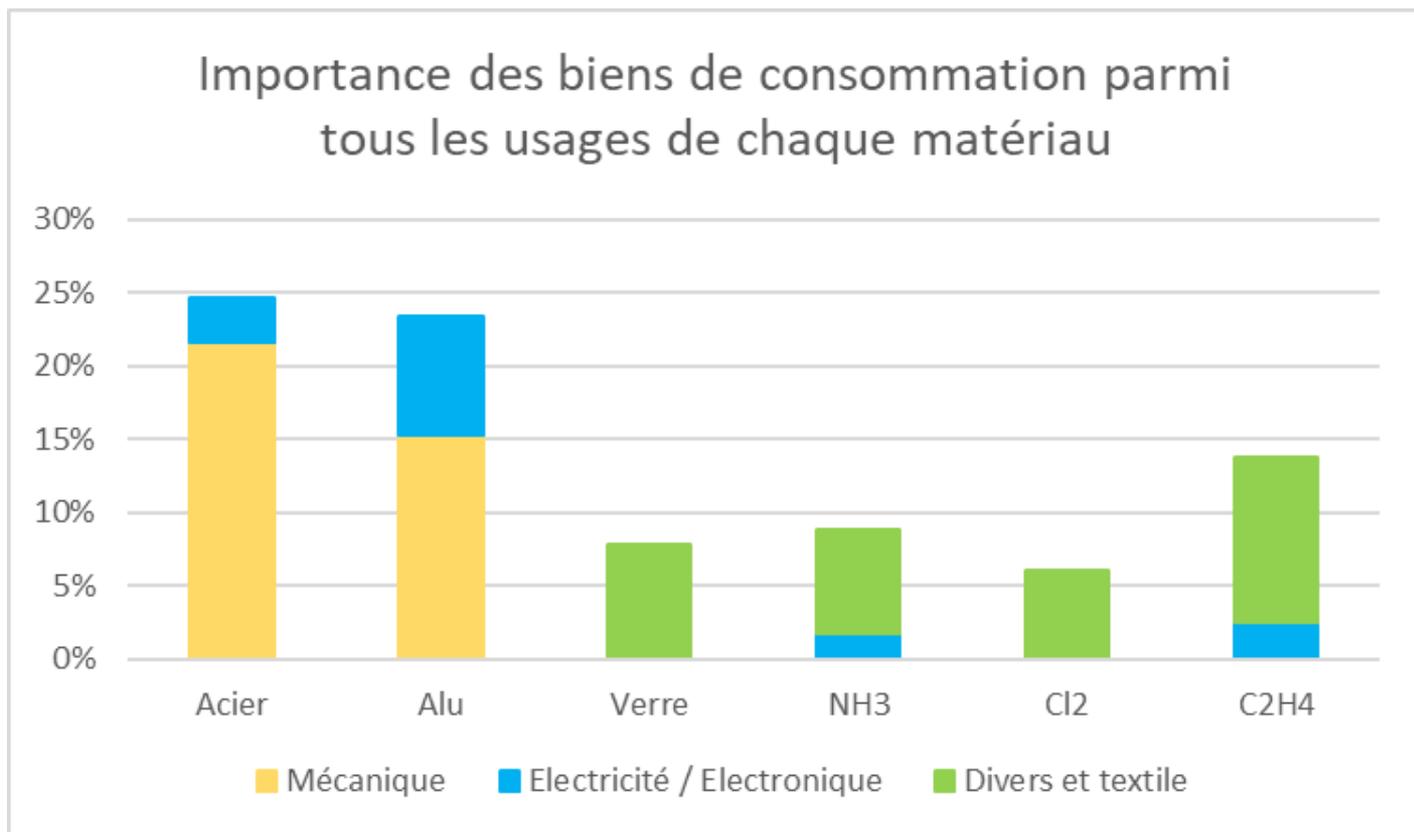
Biens de consommation et d'équipement



Une consommation de matériaux entre 5 et 25% du total

(mais le silicium et les terres rares ne sont pas examinés)

NH₃, Cl₂ et éthylène interviennent à travers les plastiques

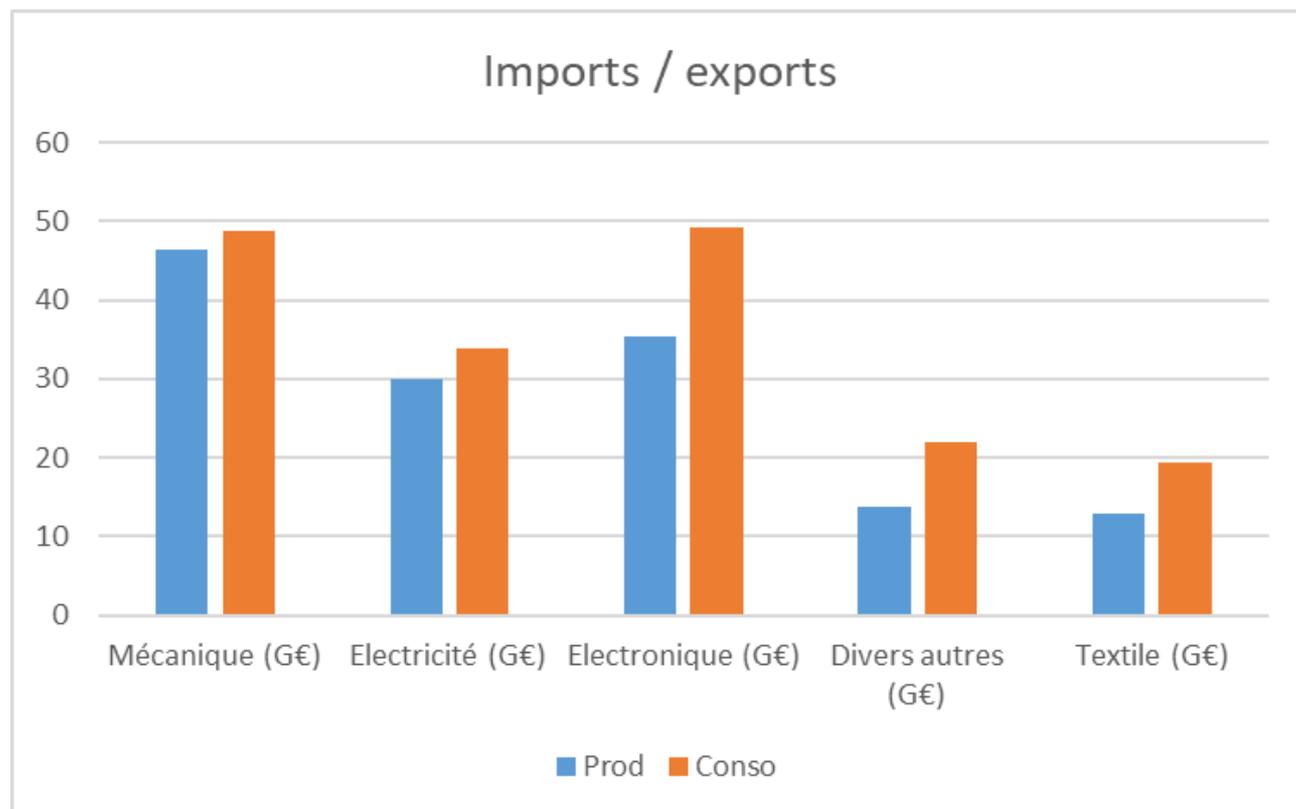




Biens de consommation et d'équipement



- Une activité globalement **importatrice**
- Le secteur de l'informatique et électronique grand public est très importateur





L'industrie électronique



ORDINATEURS

Production	30 000
Consommation	8 millions !

TELEPHONES MOBILES

Production	0
Consommation	24 millions !

APPAREILS AUDIOVISUELS GRAND PUBLIC

Production	8 millions d'unités
Consommation	79 millions d'unités !

Energie nécessaire à la fabrication :

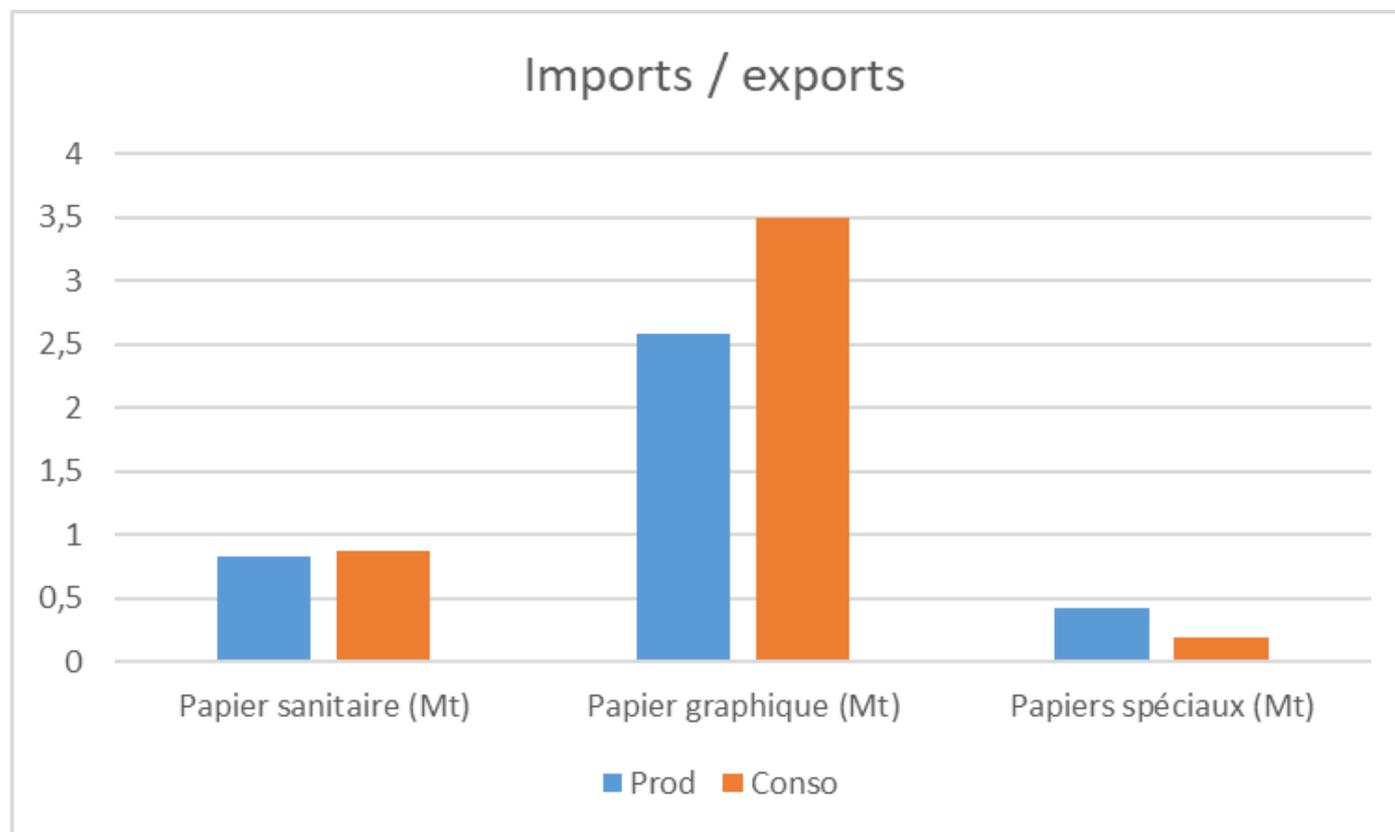
Des appareils produits en France **30 TWh**

Des appareils consommés en France **220 TWh**

↘ Les papiers hors emballages



Secteur dominé par le papier graphique qui est importateur
cf. atelier papiers / cartons





Demande papier en 2050



	Consommation papier graphique 2015		Evolution 2050	
	kt/a	%	%	kt/a
Presse, magazines	881 900	25%	-60%	-529 140
Imprimés Boite Aux Lettres (BAL)	861 000	24%	-80%	-688 800
Papiers bureautique, imprimés administratifs, formulaires	728 900	20%	-40%	-291 560
Mailings, courriers, enveloppes	385 200	11%	-30%	-115 560
Catalogues, documentation commerciale, annuaires	346 800	10%	-60%	-208 080
Livres	227 500	6%	-20%	-45 500
Papeteries façonnées	155 500	4%	-20%	-31 100
Total	3 586 800	100%	-53%	-1 909 740

Evolution du papier graphique (hors prise en compte de l'évolution démographique)



Projections demande / 2014



Déterminant	Evol. 2050
Population France	+12%
<i>Usage papier</i>	
<i>Graphique</i>	-53%
<i>Emballage</i>	+0%
Hygiène	-10%
Spéciaux	-30%
Bilan Démographie x usage	
<i>Graphique</i>	-47%
<i>Emballage</i>	+12%
Hygiène	+1%
Spéciaux	-22%



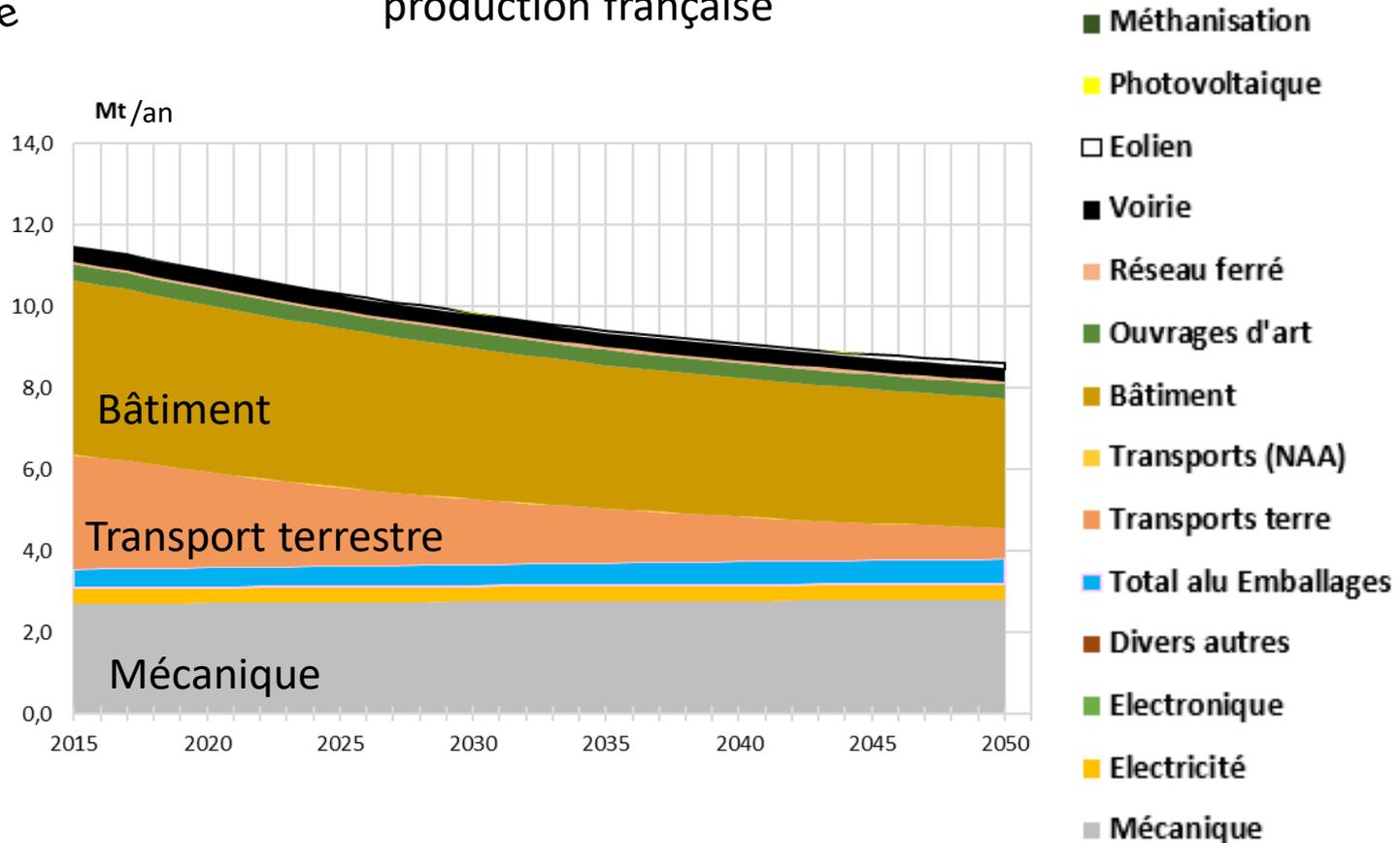
Exemple de prospective pour l'acier



Résultats illustratifs

exemple

Evolution de la consommation d'acier pour la production française



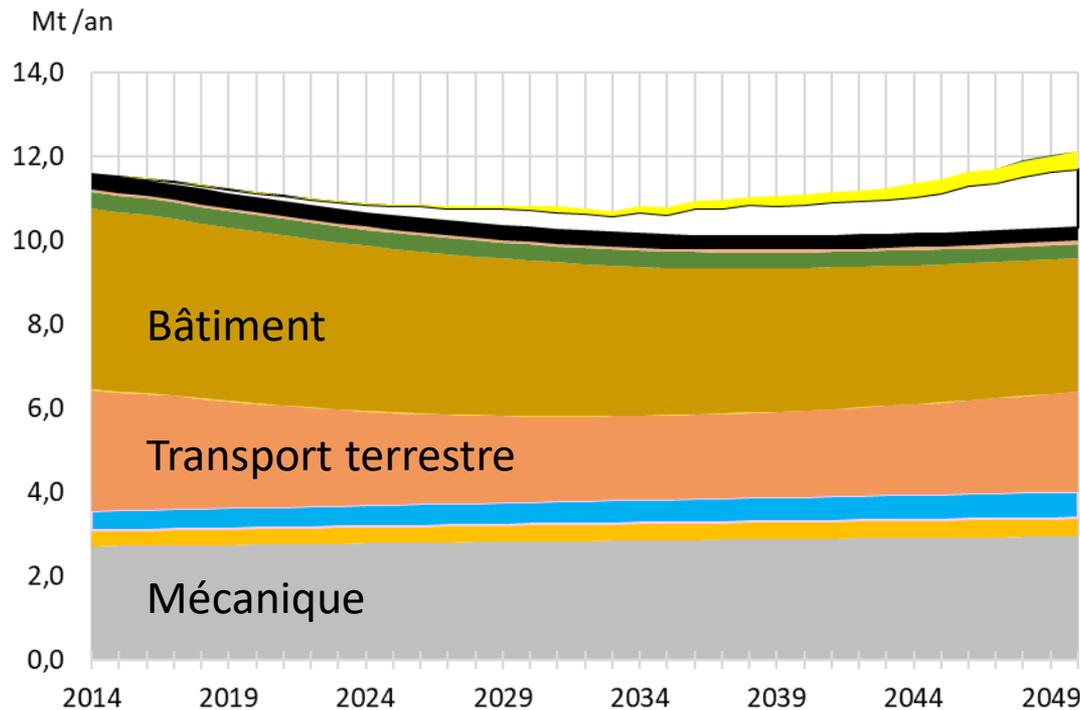


Et si on relocalise ?



exemple

Evolution de la consommation d'acier pour la production française



- Méthanisation
- Photovoltaïque
- Eolien
- Voirie
- Réseau ferré
- Ouvrages d'art
- Bâtiment
- Transports (NAA)
- Transports terre
- Total alu Emballages
- Divers autres
- Electronique
- Electricité
- Mécanique

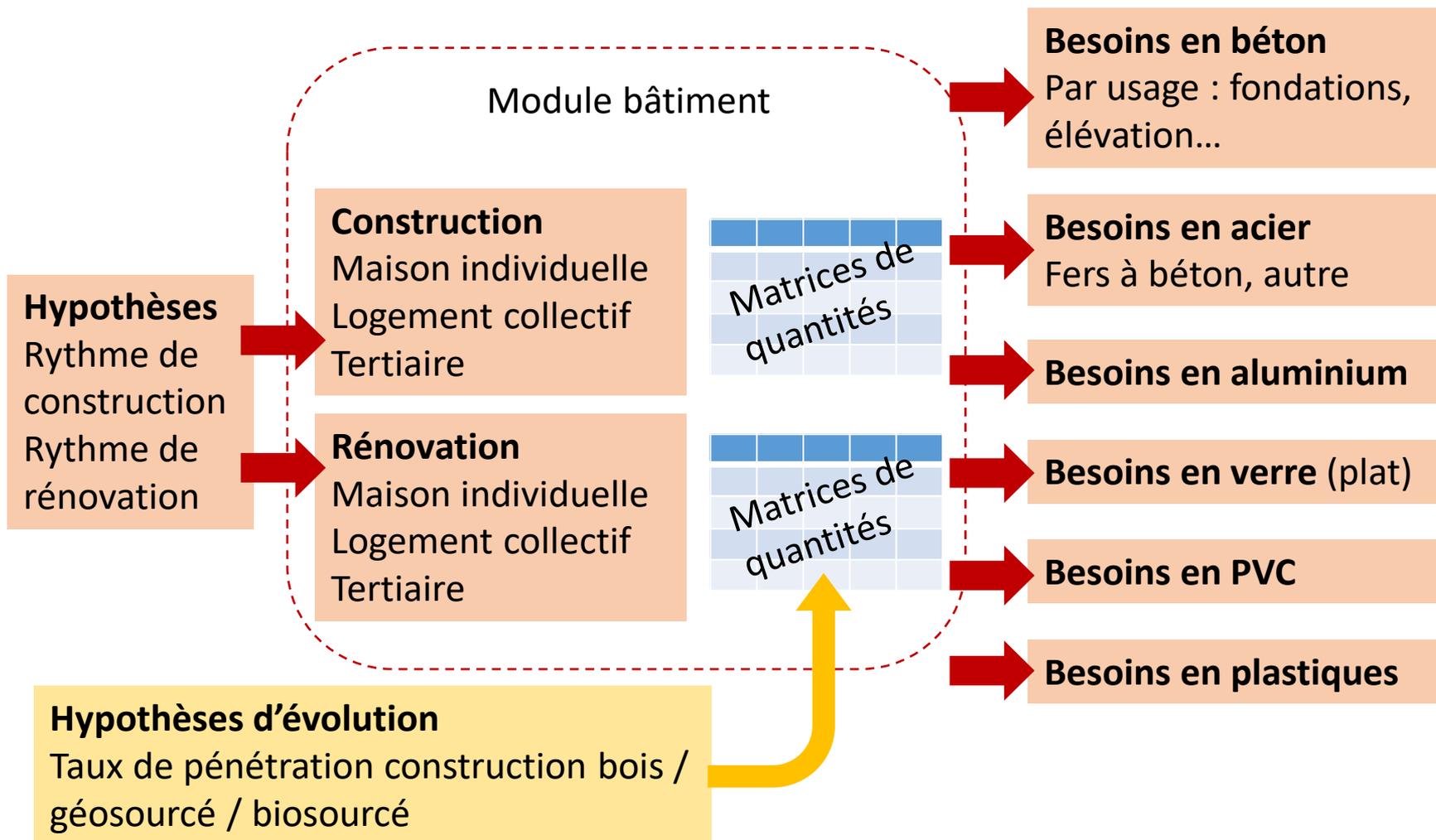


Résultats illustratifs

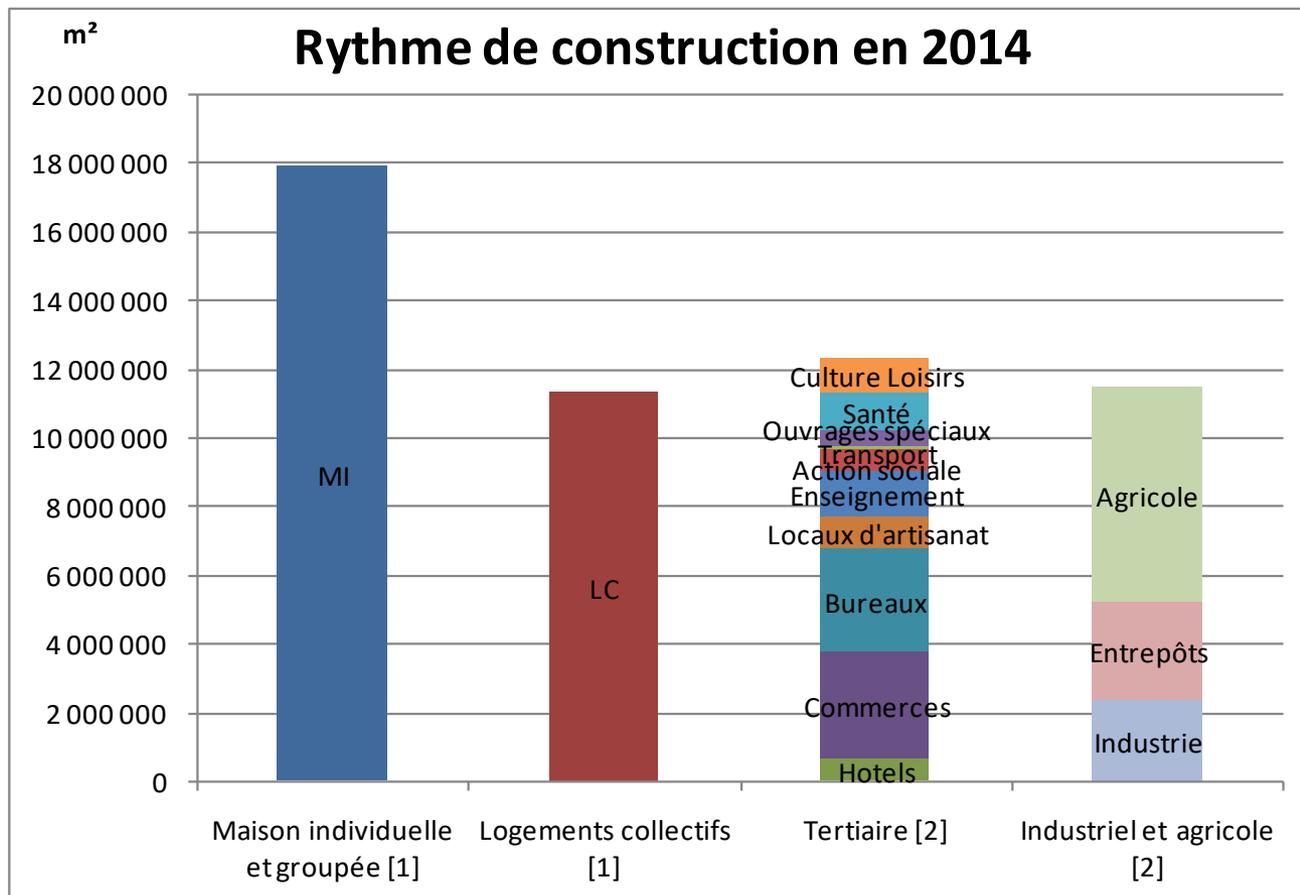


Volet BTP

1. Hypothèses principales



■ Rythme de construction

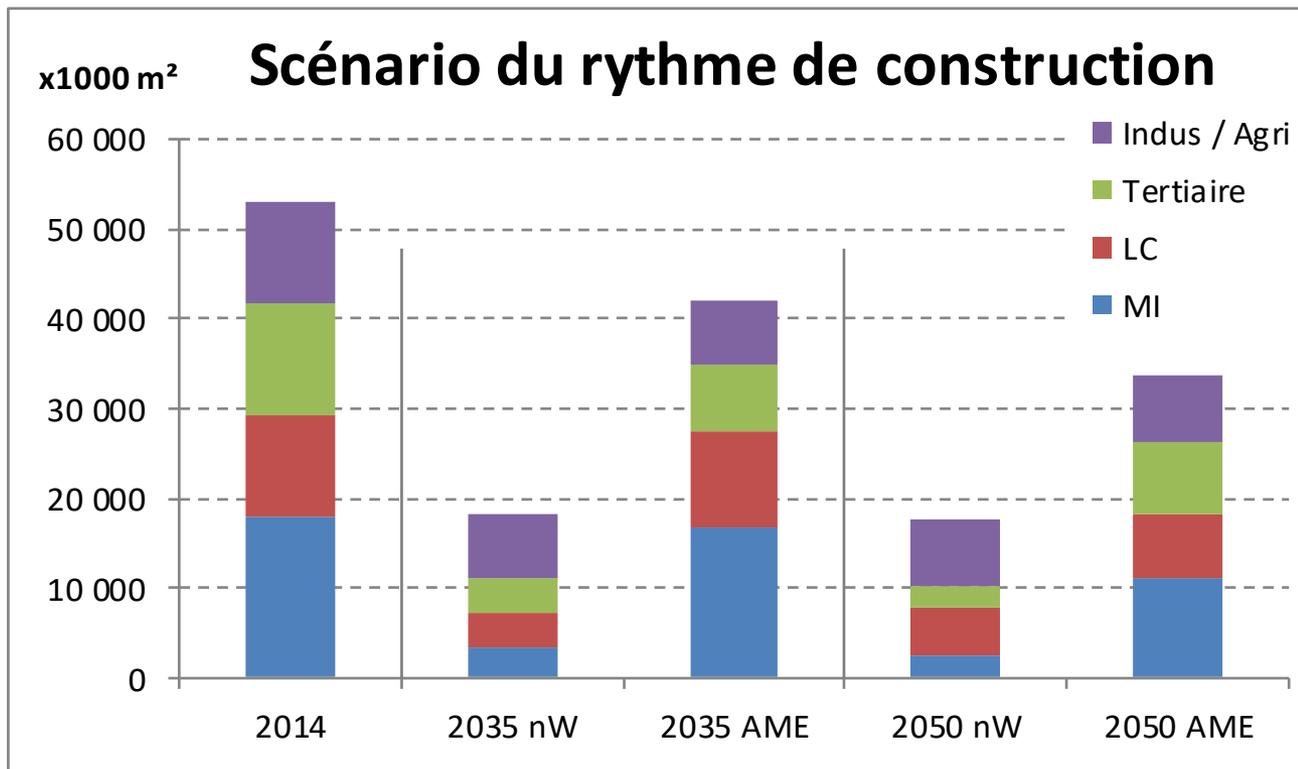


[1] DATALAB, Compte du logement 2014, à partir de données CEREN

[2] Sit@del2 - Surface de locaux commencés par type et par département (1992-2016) - données arrêtées à fin avril 2018 - MEEM/CGDD/SOeS



■ Rythme de construction



nW : avec hypothèse sur la décohabitation : 2,2 => 2,15 (2030) => 2,2 (2050)

(!) possiblement interprétation différente des stats INSEE

AME : scénarios prospectifs énergie-climat-air du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, scénario AME (avec mesures existantes).

■ Métrés

- Logements

Classe bâtiment		Maison individuelle détachée SFH	Maison individuelle mitoyenne TH	Petit logement collectif (<10 log.) MFH	Grand logement collectif (≥10 log) AB
Période constructive					
10	après 2012				

[3] Bâtiments résidentiels, Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France, POUGET Consultant pour ADEME et EU, 2015, basé sur TABULA / Episcopo

- Tertiaire / Industriel et agricole

Métrés « à dire d'expert » par typologie.

↘ BTP – scénario à 2050



■ Autres paramètres :

- Surface des logements constante
- Augmentation de la construction bois et inertie géosourcée :

		2014	2035		2050	
			nW	Terracrea BS++	nW	Terracrea BS++
Maison individuelle	Structure bois	9,7%	25,0%	15,0%	40,0%	25,0%
	Inertie Géosourcée	0,0%	4,0%	3,0%	7,0%	5,0%
Logement collectif	Structure bois	3,3%	15,0%	10,0%	23,0%	20,0%
	Inertie Géosourcée	0,0%	4,0%	0,5%	7,0%	1,0%
Tertiaire	Structure bois	2,0%	15,0%	5,0%	23,0%	10,0%
	Inertie Géosourcée	0,0%	4,0%	0,0%	7,0%	0,0%
Industriel et agricole	Structure bois	0,0%	15,0%	5,0%	23,0%	10,0%
	Inertie Géosourcée	0,0%	4,0%	0,0%	7,0%	0,0%

Comparaison à nW :

Structure bois : d'après Terracrea, scénario BS++

Géosourcé : hypothèses proposée pour étude Ademe

■ Autres paramètres :

- Progression des isolants biosourcés et Réduction du Polystyrène en murs (durcissement IT 249)

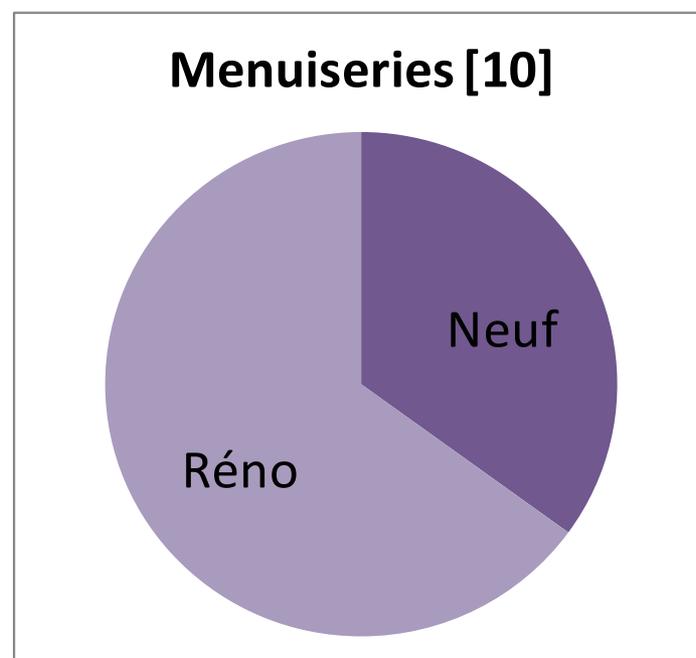
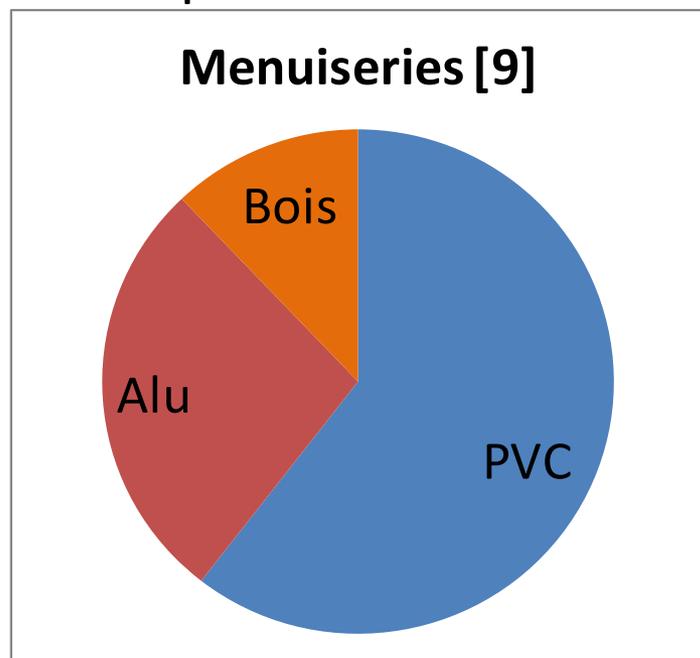
		2014	2035	2050
Part de marché biosourcé en Toiture charpente		15,0%	25,0%	35,0%
Part de marché Biosourcés en Murs		0,0%	15,0%	30,0%
Part de marché PSE en Murs	MI	60,0%	42,0%	24,0%
	LC	80,0%	56,0%	32,0%
	Tertiaire	70,0%	49,0%	28,0%

Biosourcé : d'après Terracrea, scénario BS++

- Progression du bardage bois (sur marché du bardage)

	2014	2035	2050
MI	45,0%	48,0%	52,0%
LC	10,0%	31,0%	35,0%
Tertiaire	5,0%	10,0%	15,0%
Indus / Agri	0,0%	5,0%	10,0%

- Modes constructifs
 - Exemple des menuiseries



Quantités de verre et de profils selon FDES génériques.
Prise en compte des occultations, portes et fermetures.

[9] Enquête BatiEtudes en 2015, reprise dans un [article](https://tokster.com) sur <https://tokster.com>

[10] Enquête TBC Innovations en 2017, reprise dans un [article](#) sur [batiweb](#)

↳ BTP – scénario à 2050



■ Autres paramètres :

- Triple vitrage dans la construction neuve

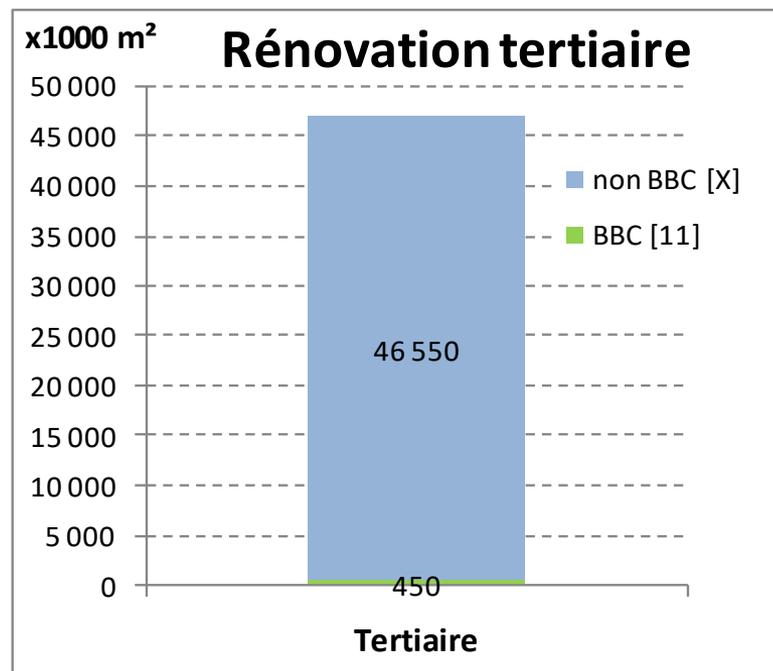
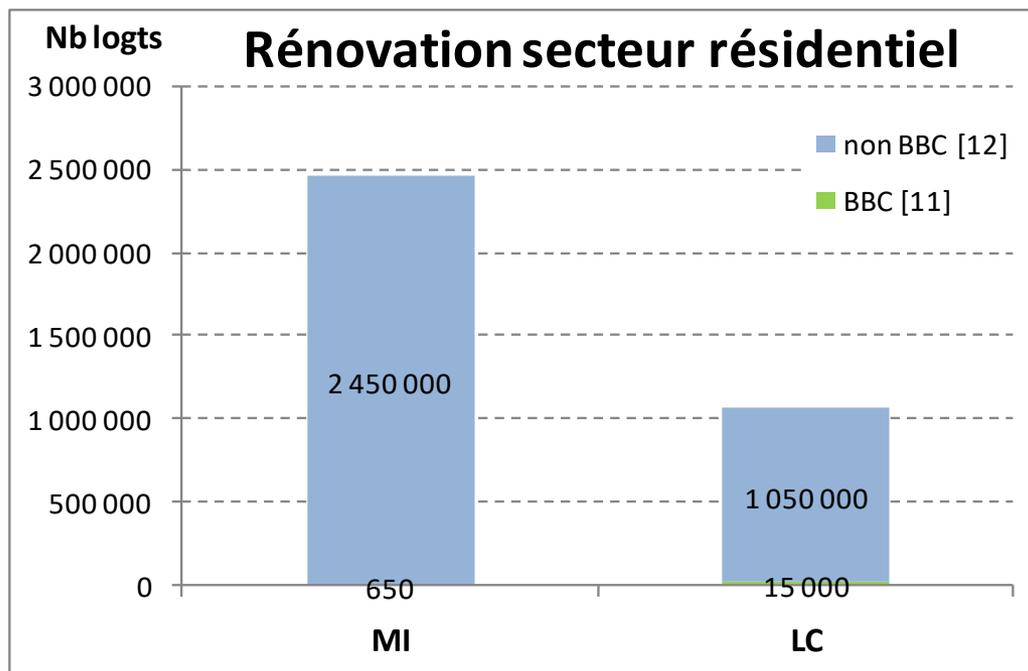
	2014	2035	2050
Triple vitrage	0,0%	10%	20%

- Réduction de l'usage du PVC (menuiseries, tubes et sols)

	2014	2035	2050
Part de marché menuis PVC	61%	50%	40%
Part de marché tubes évac	100%	90%	80%
Part des sols PVC / sols souples	100%	80%	50%

*Menuiseries : cohérent
étude TBC pour Ademe*

■ Rénovation



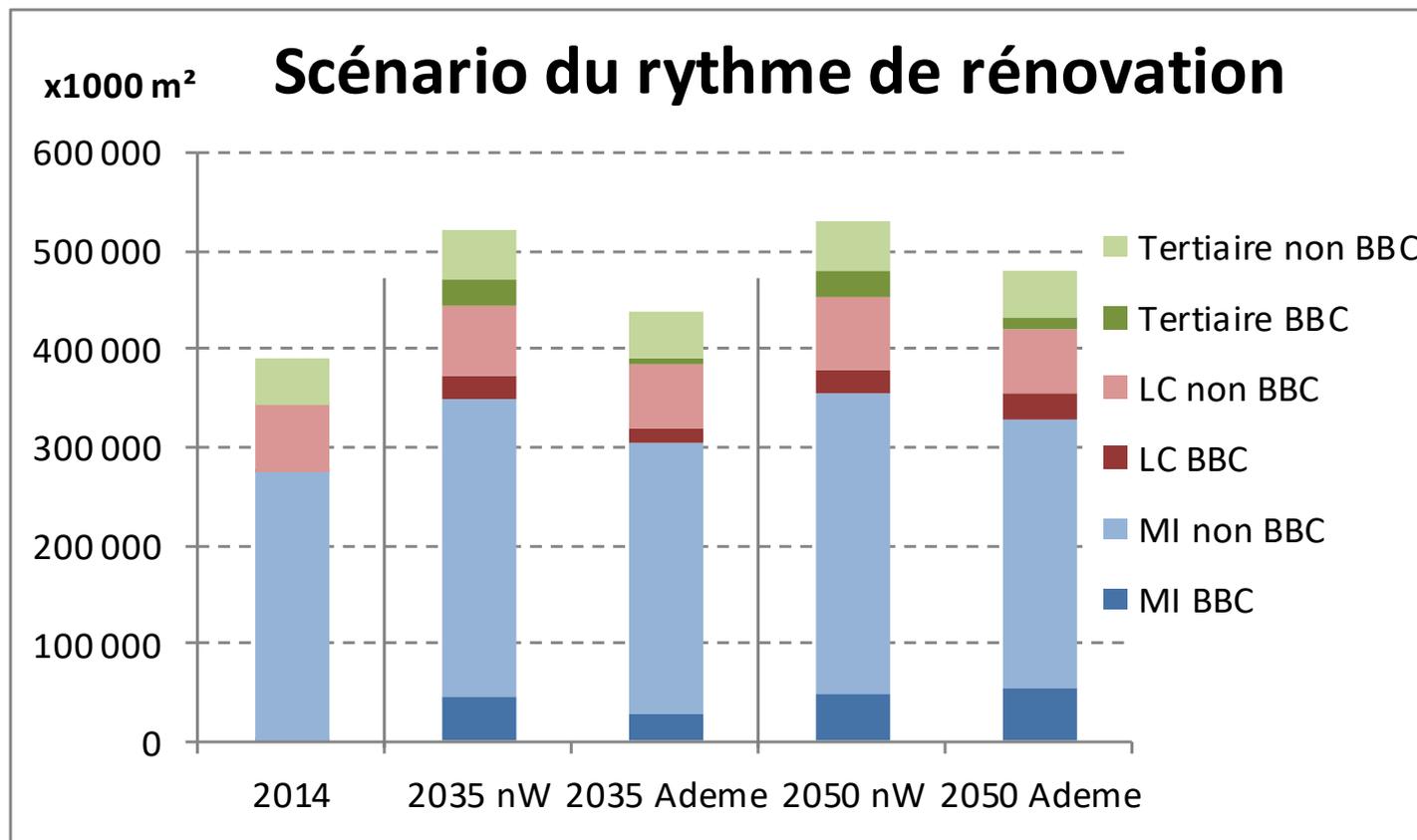
Hypothèse réno tertiaire non BBC : 5% du parc par an (contre 10% par an en résidentiel)

[11] D'après Observatoire BBC de l'association Effinergie (www.observatoirebbc.org), dynamique moyenne de 2010 à 2017

[12] Statistiques OPEN (Observatoire Permanent de l'amélioration ENergétique du logement) travaux achevés en 2014

[X] Hypothèse à dire d'expert, à confirmer

■ Scénario rénovation



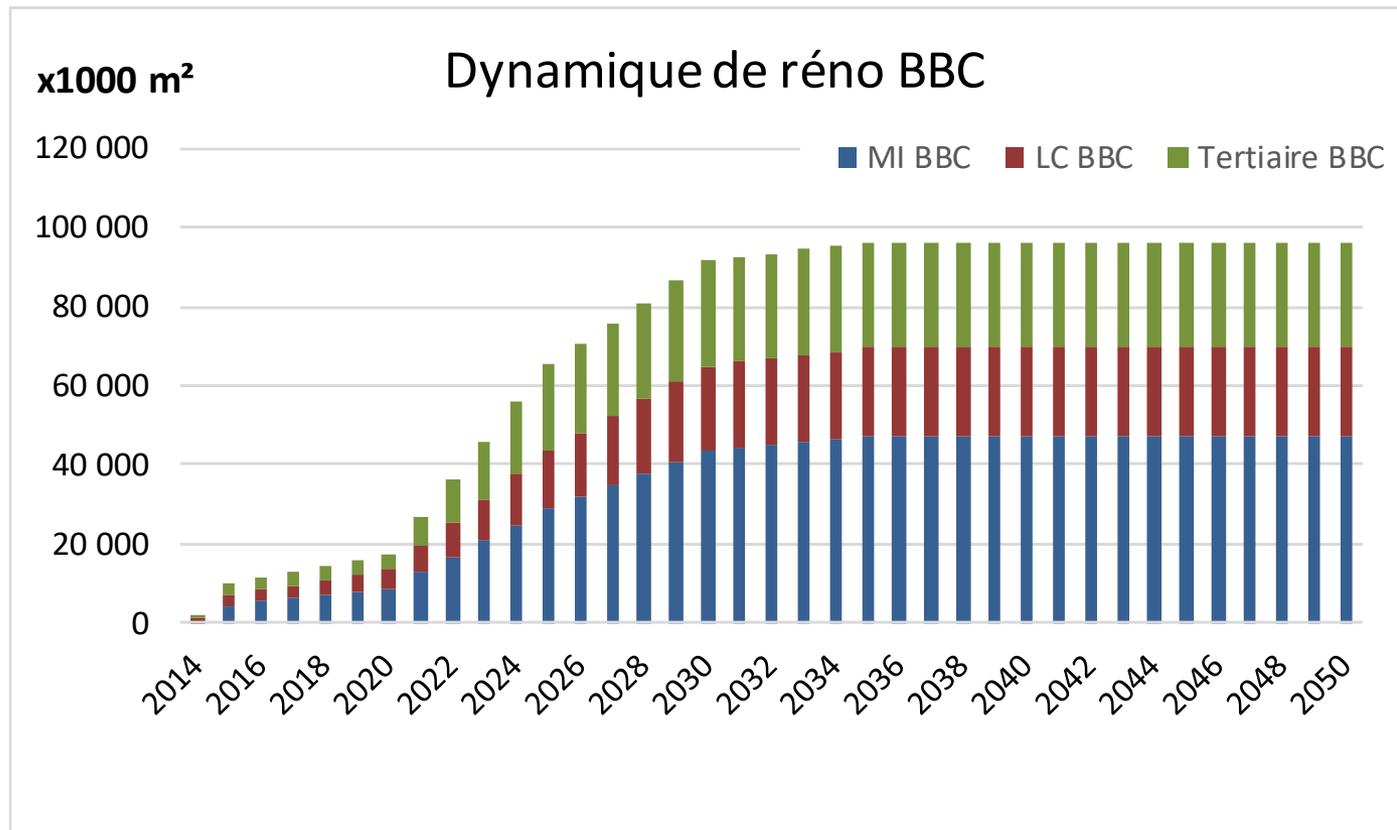
nW : réno non BBC
indexée sur le nb de
ménages

Scénario ADEME
« volontariste »

*NB : les réno BBC sont déduites du volume de travaux énergétiques non BBC,
mais pas des travaux non énergétiques non BBC*

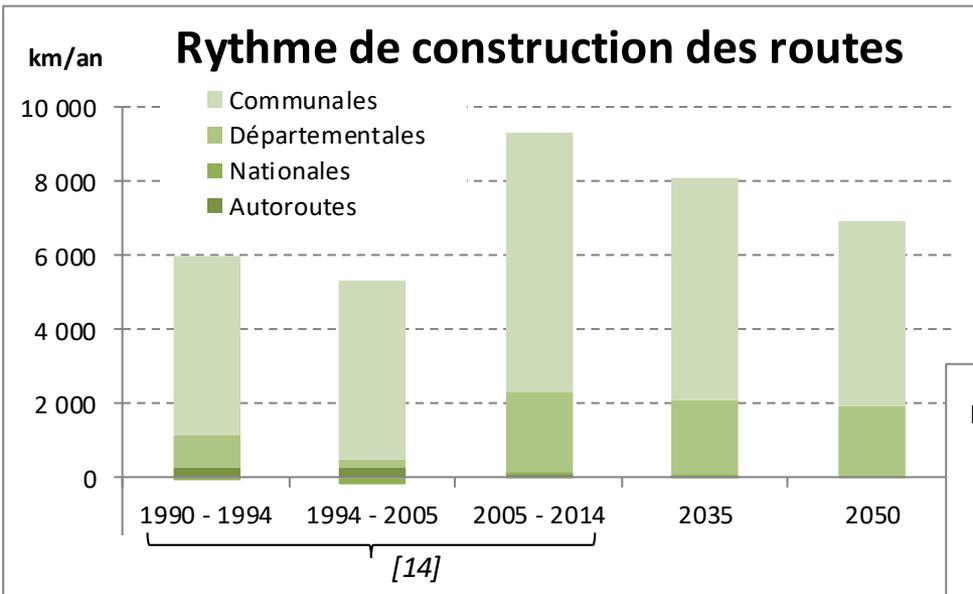


■ Scénario rénovation nW : détail de la dynamique



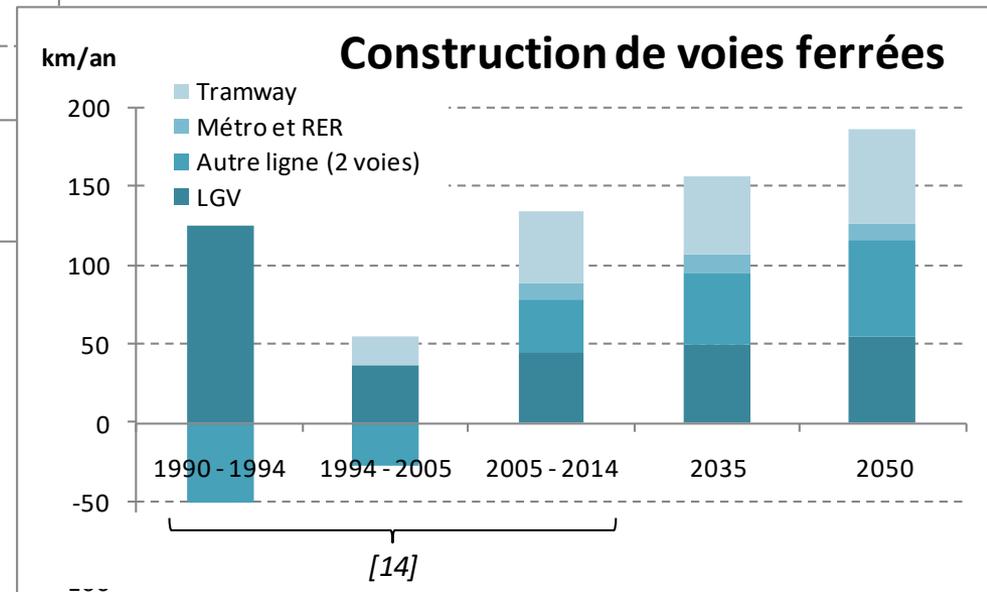


■ Scénario TP



*Routes en béton : 0% en 2014
=> 5% en 2035 et 5% en 2050*

**Ouvrages d'art et énergie : 90% corrélés
aux km/an construits (route + rail)**

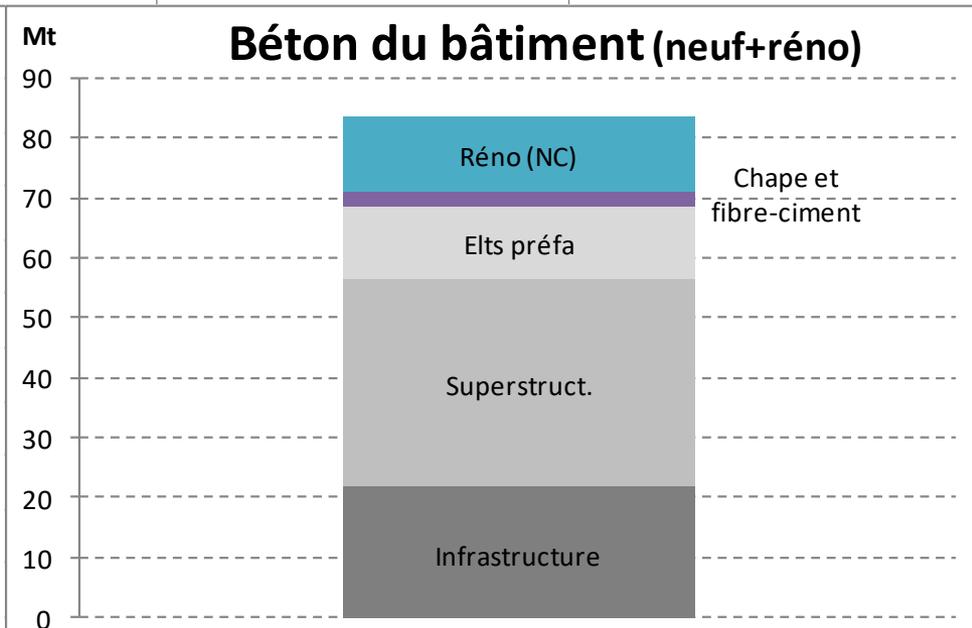
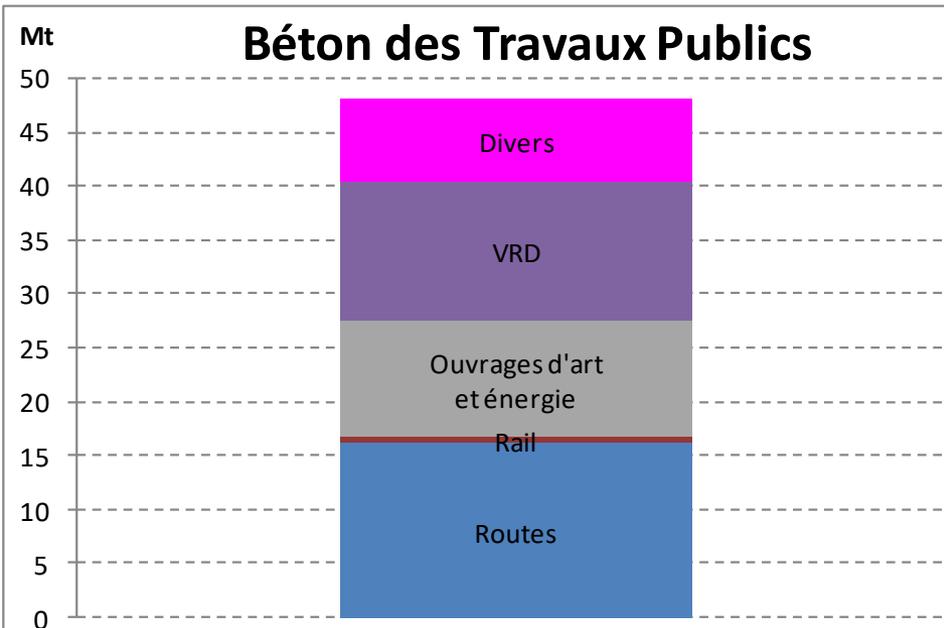
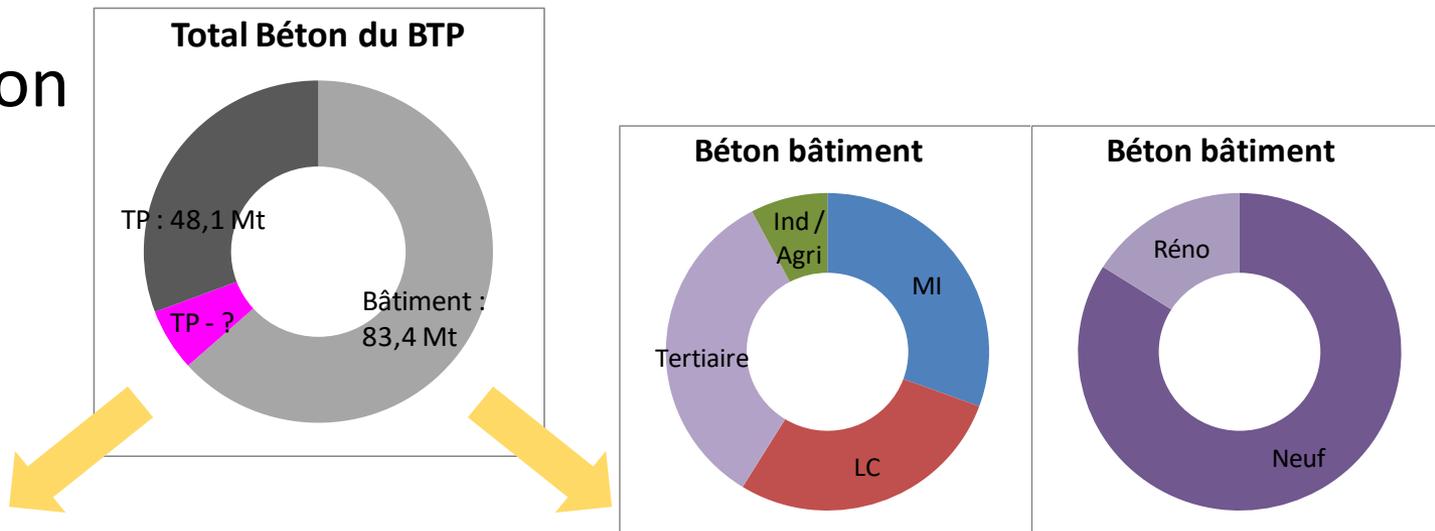




Volet BTP

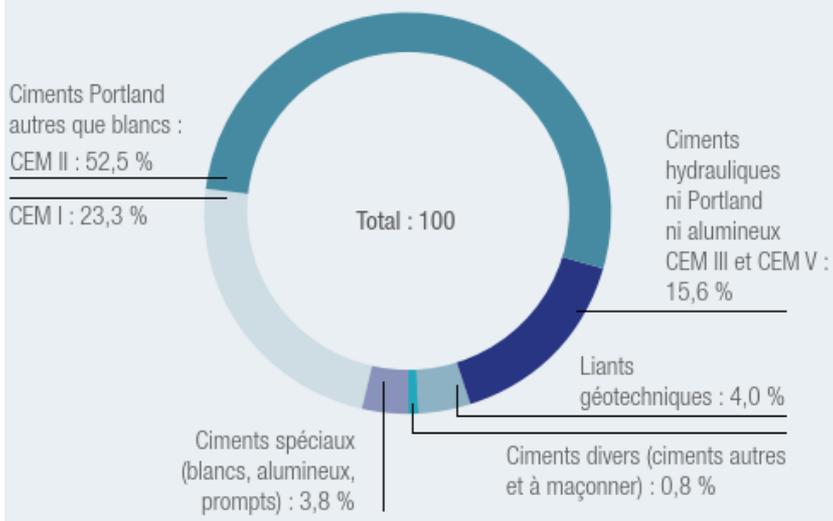
2. Résultats

■ Résultats Béton



■ Résultats : du Béton au Clinker

2014 - en pourcentage



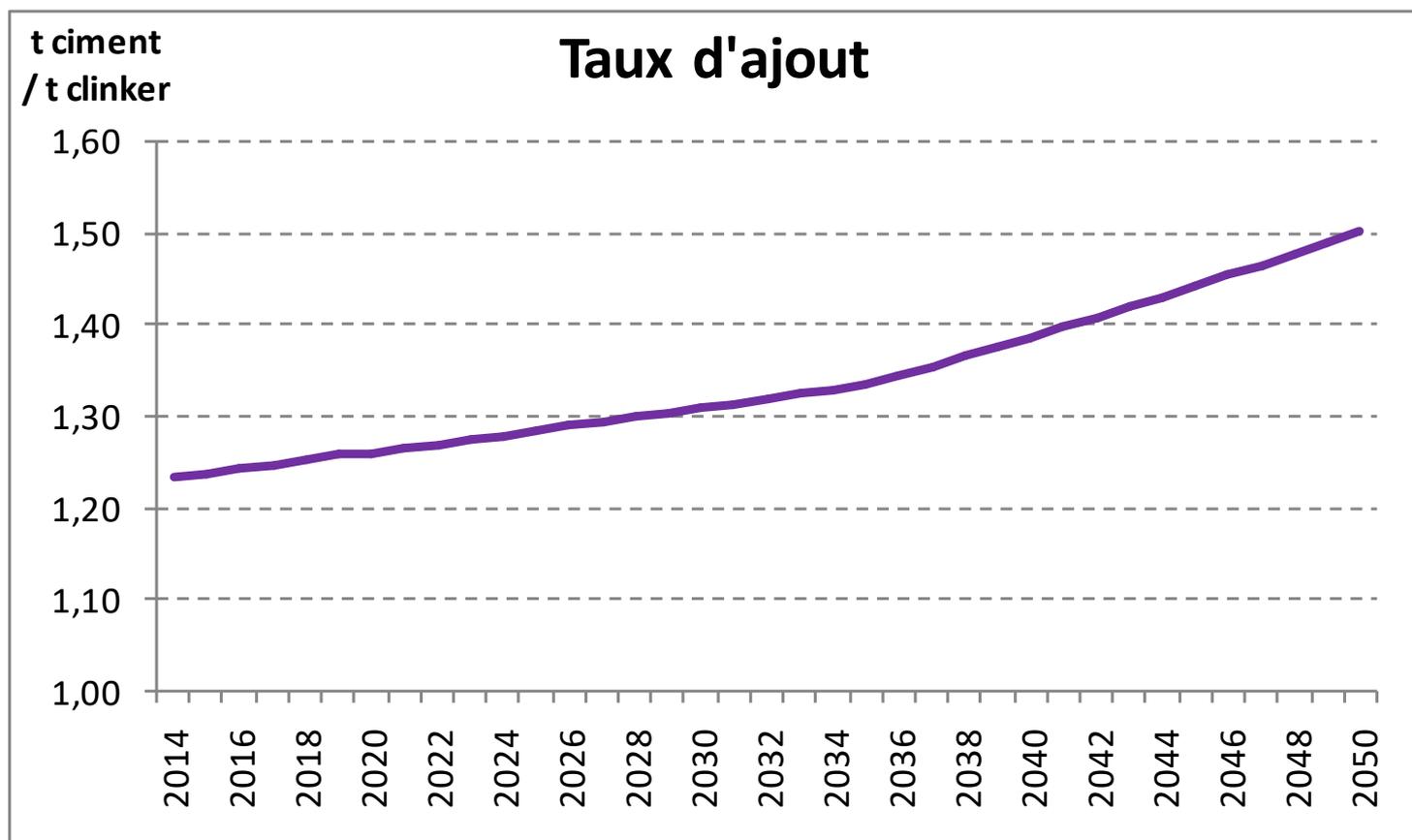
Chiffres clés 2014 :

Taux moyen de ciment dans le béton : 14%

Taux d'ajout 2014 : 1,23 t ciment / t clinker

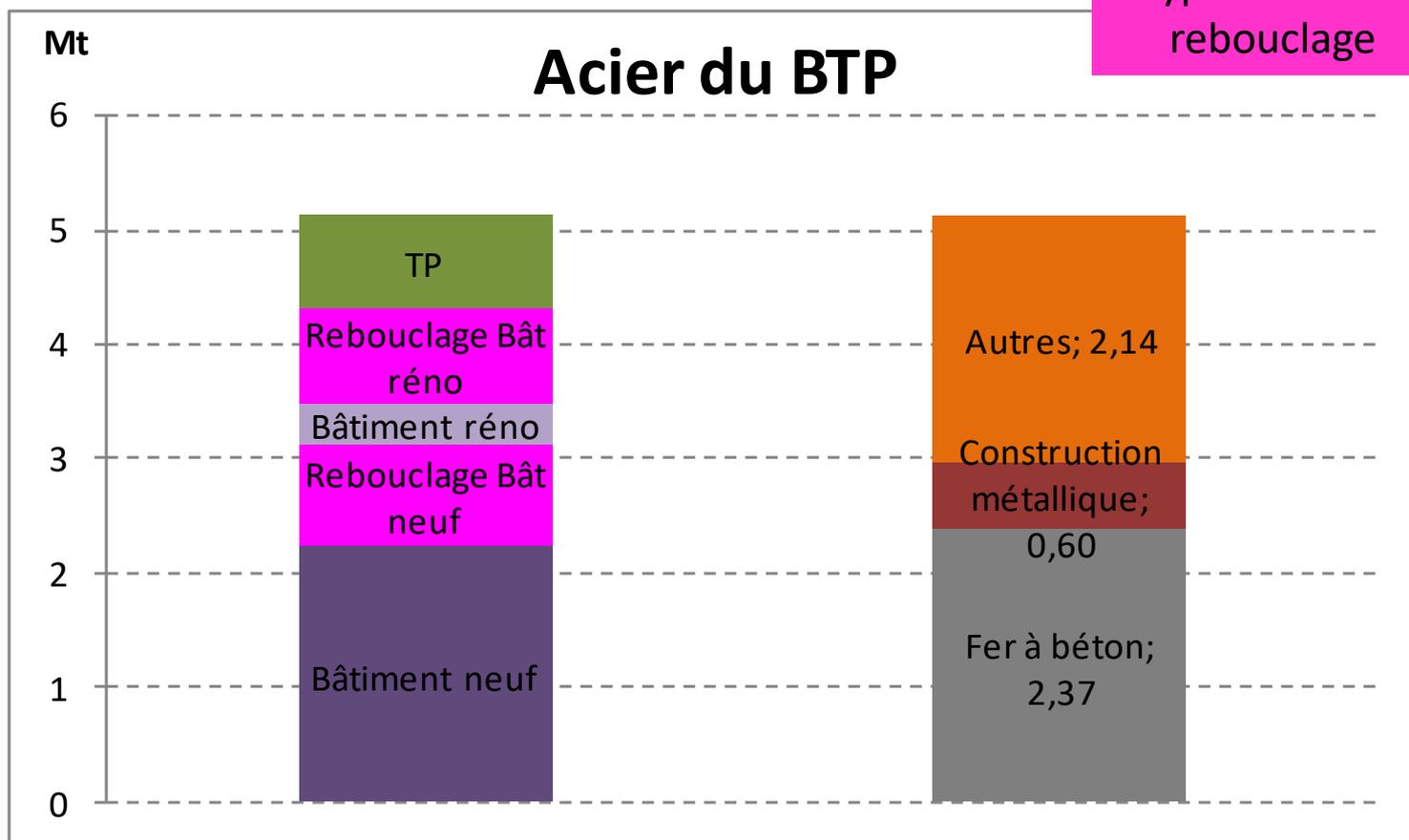
Importation de ciment : 12%

■ Hypothèse d'évolution du ratio Ciment / Clinker

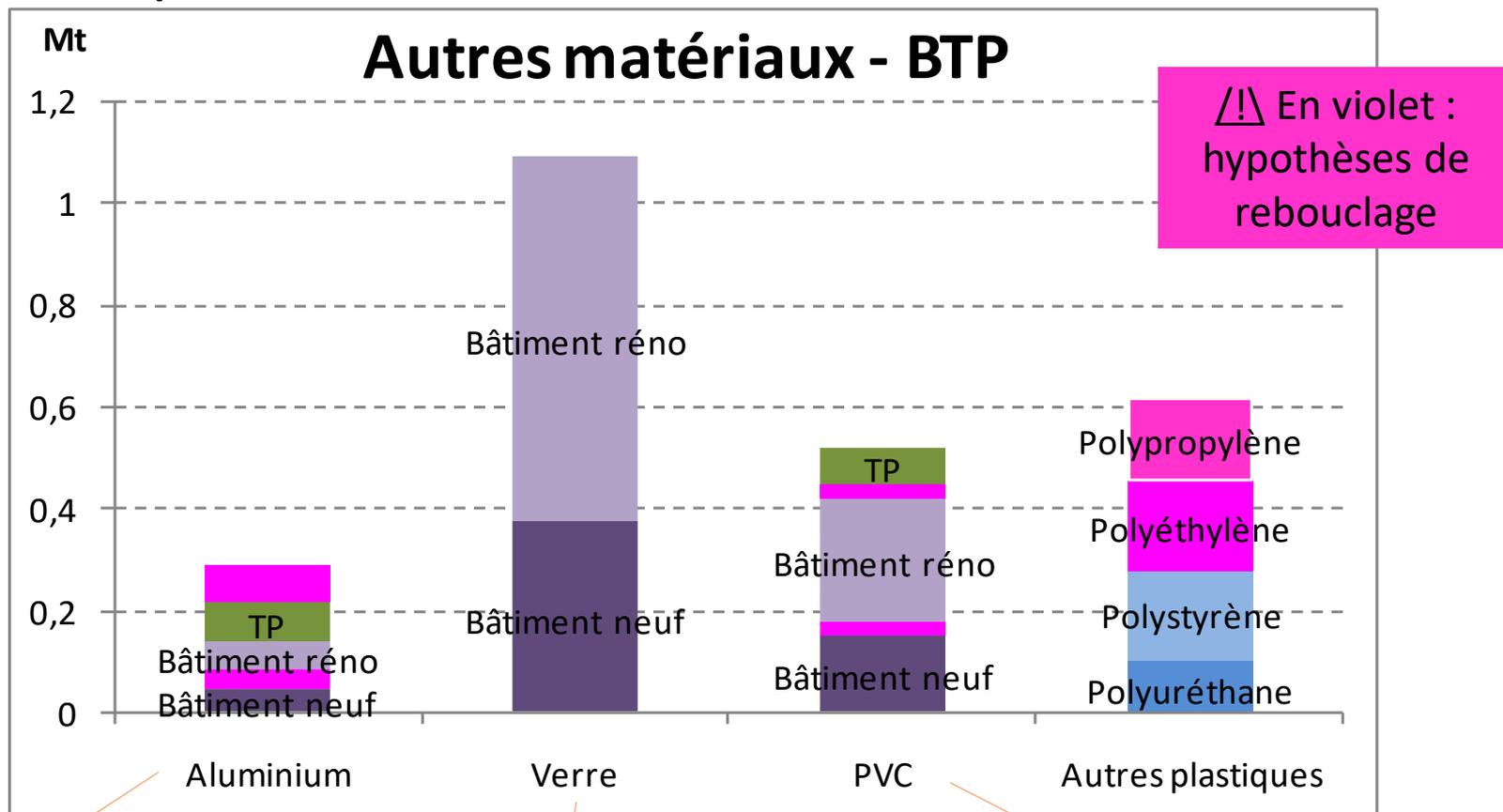


■ Résultats provisoires : Acier

⚠ En violet :
hypothèses de
rebouclage



■ Résultats provisoires : autres matériaux suivis



28% menuiseries et fermetures
27% Construction alu (TP)

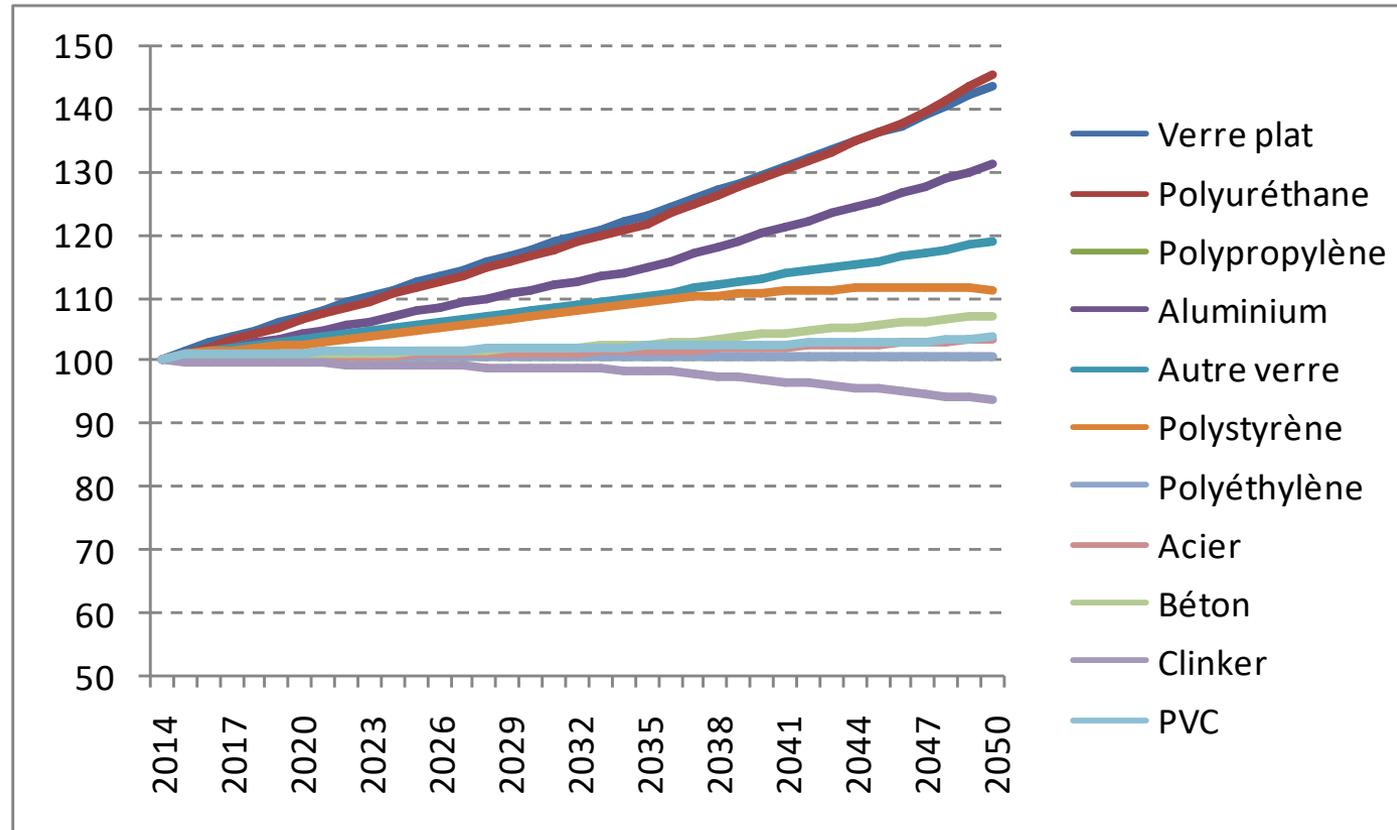
48% verre plat
52% laine de verre

48% menuiseries
22% sols ; 30% tubes et NC

↘ BTP – scénario à 2050



■ Résultats provisoire : scénario de statu quo

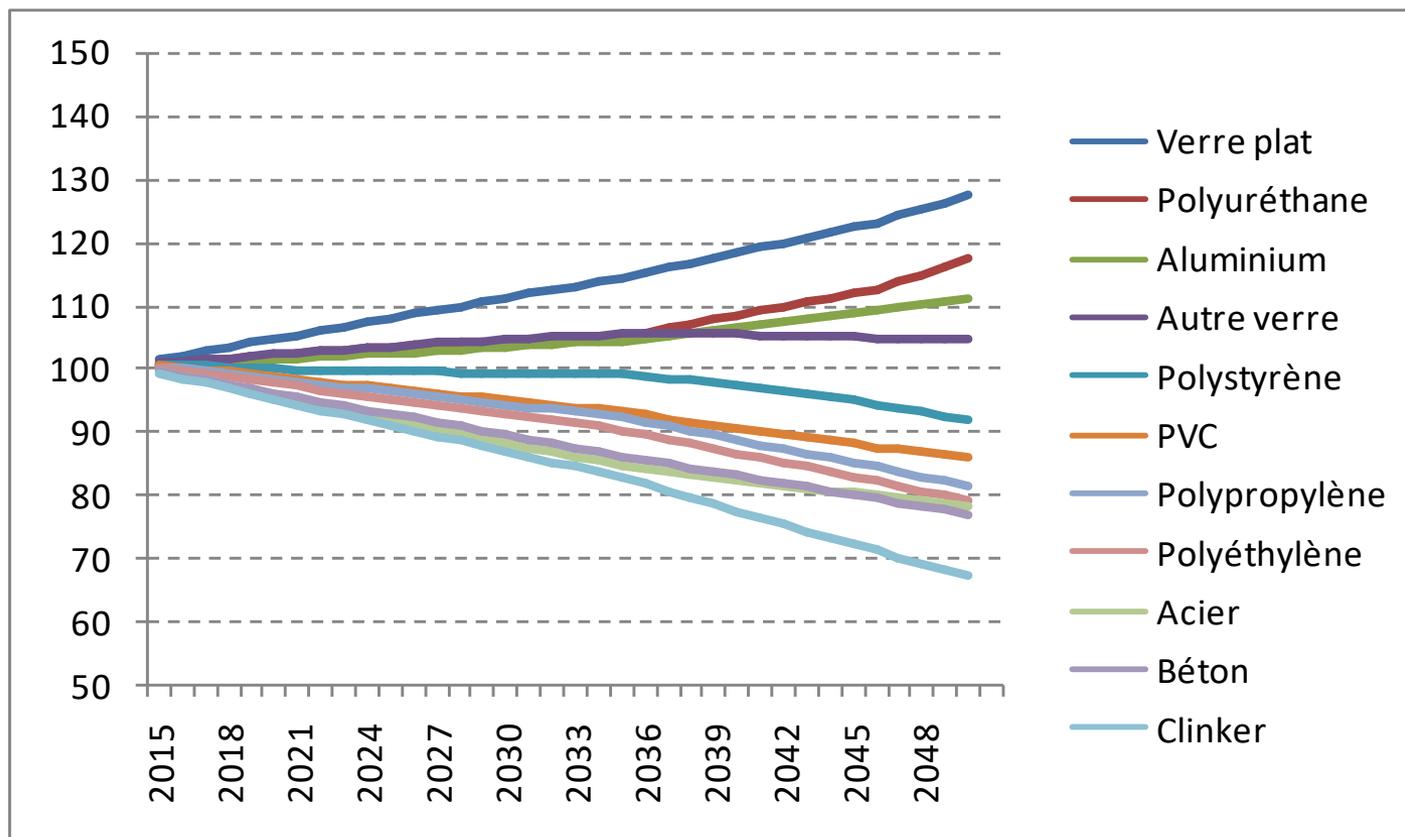


- ✓ Rythme de construction bâtiment neuf : constant (valeurs 2014)
- ✓ Rythme de construction des routes : +13% en 2035 et +25% en 2050
- ✓ Pas de mesure de réduction du PVC
- ✓ Effet de croissance du marché de la rénovation performante
- ✓ Effet sur le clinker du béton « bas carbone » à volume de béton quasi constant

↘ BTP – scénario à 2050



■ Résultats provisoire : scénario « AME »

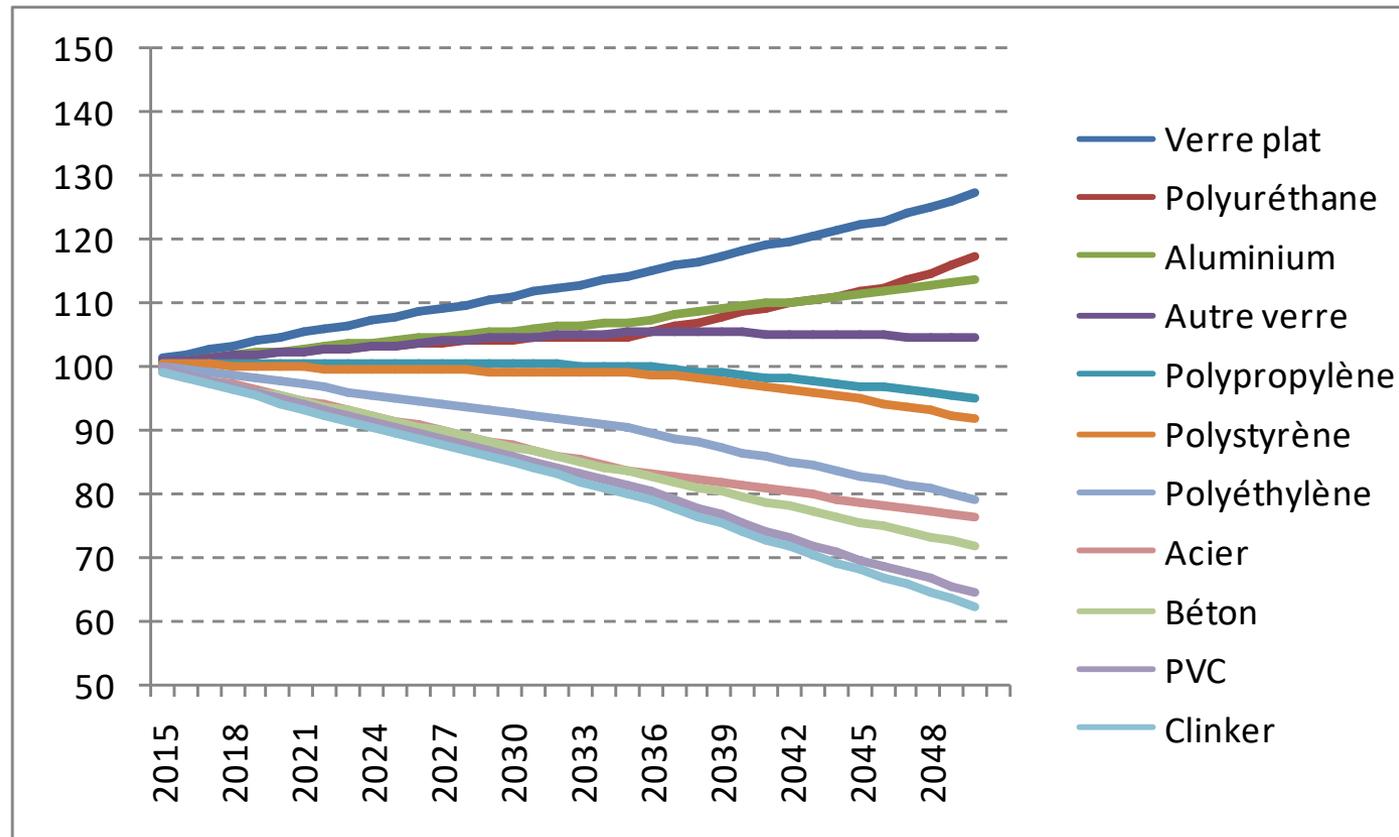


- ✓ Rythme de construction bâtiment neuf selon scénario AME du Ministère
- ✓ Rythme de construction des routes : constant (valeurs 2014)
- ✓ Pas de mesure de réduction du PVC

↘ BTP – scénario à 2050



■ Résultats provisoire : scénario proposé « Ademe »

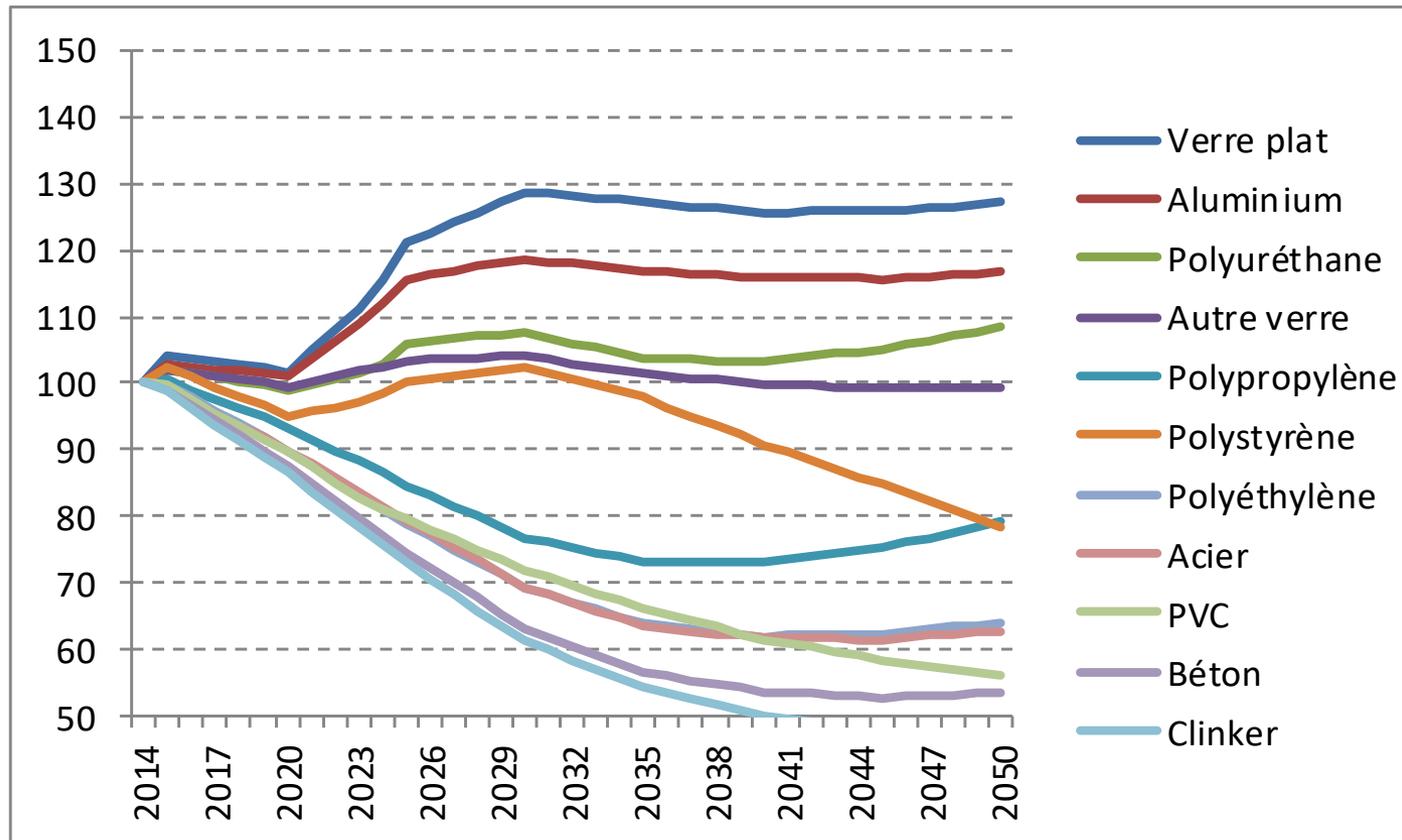


- ✓ Rythme de construction bâtiment neuf selon scénario AME du Ministère
- ✓ Rythme de construction des routes réduit (-13% en 2035, -25% en 2050)
- ✓ Réduction du PVC / développement biosourcé (Terracrea BS++)

↘ BTP – scénario à 2050



■ Résultats : scénario nW



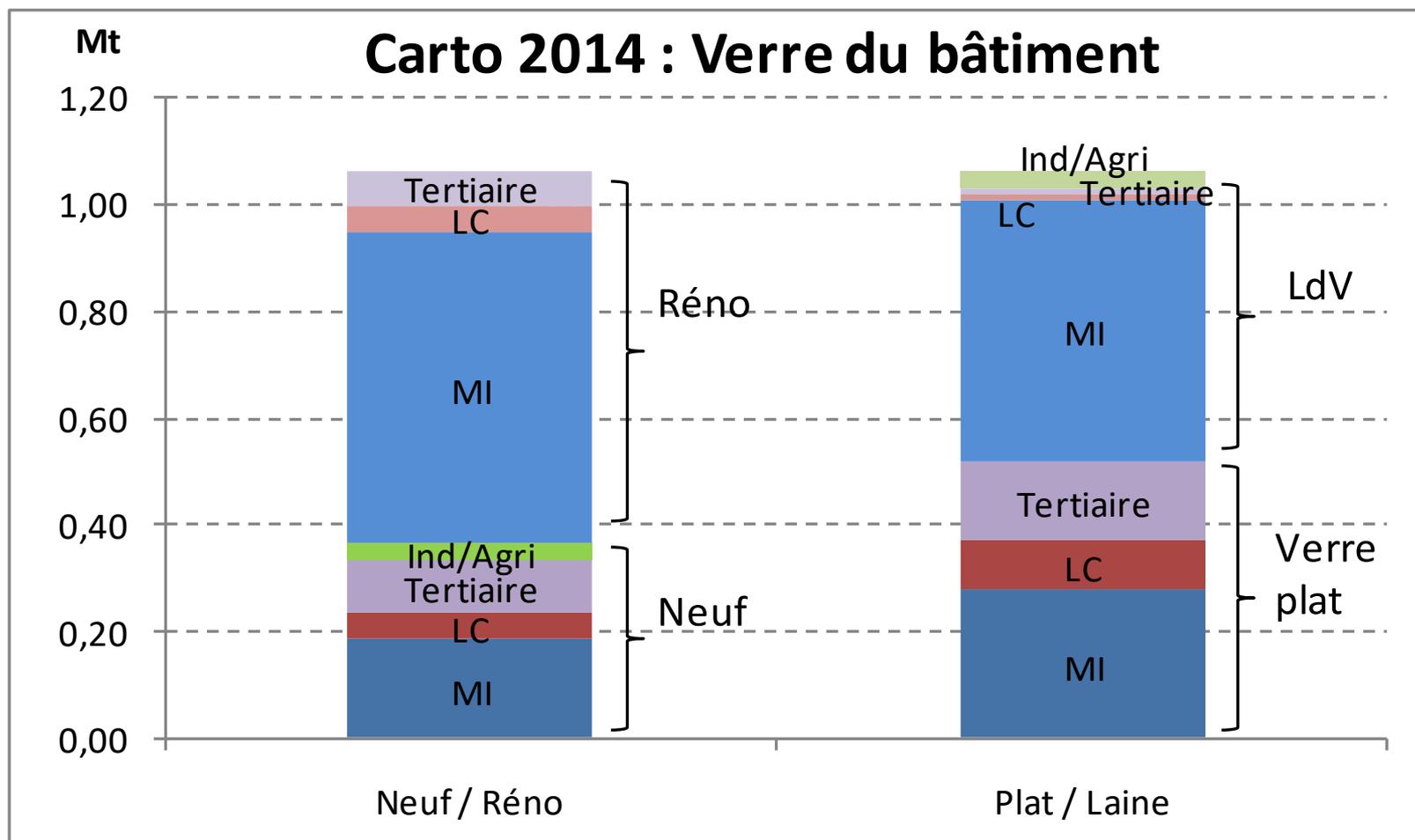
- ✓ Rythme de construction bâtiment neuf avec sobriété (taux de cohabitation)
- ✓ Rythme de réno nW
- ✓ Rythme de construction des routes réduit (-13% en 2035, -25% en 2050)
- ✓ Réduction du PVC / bio- et géosourcé selon nW



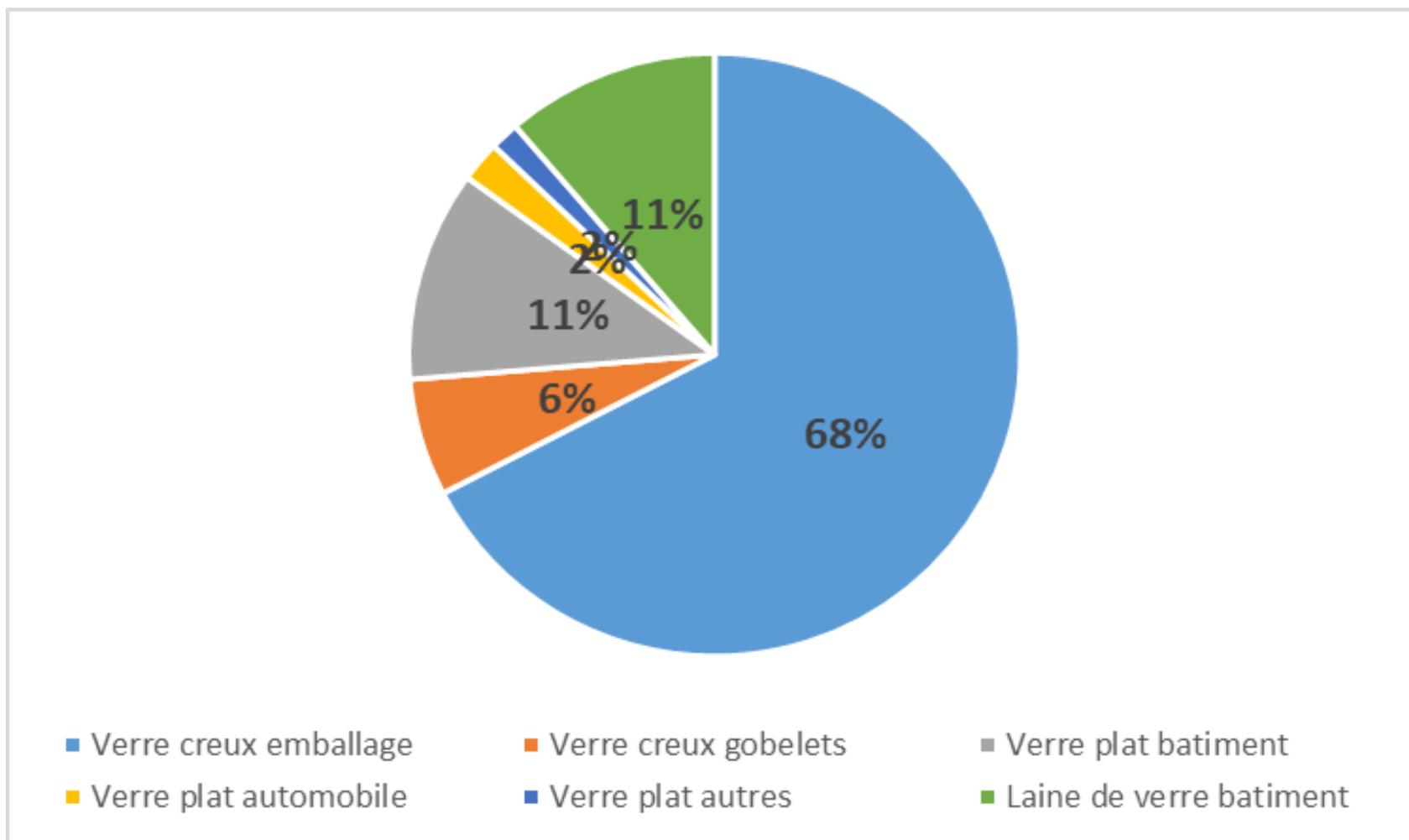
Volet BTP

3. Focus Verre du BTP et hors BTP

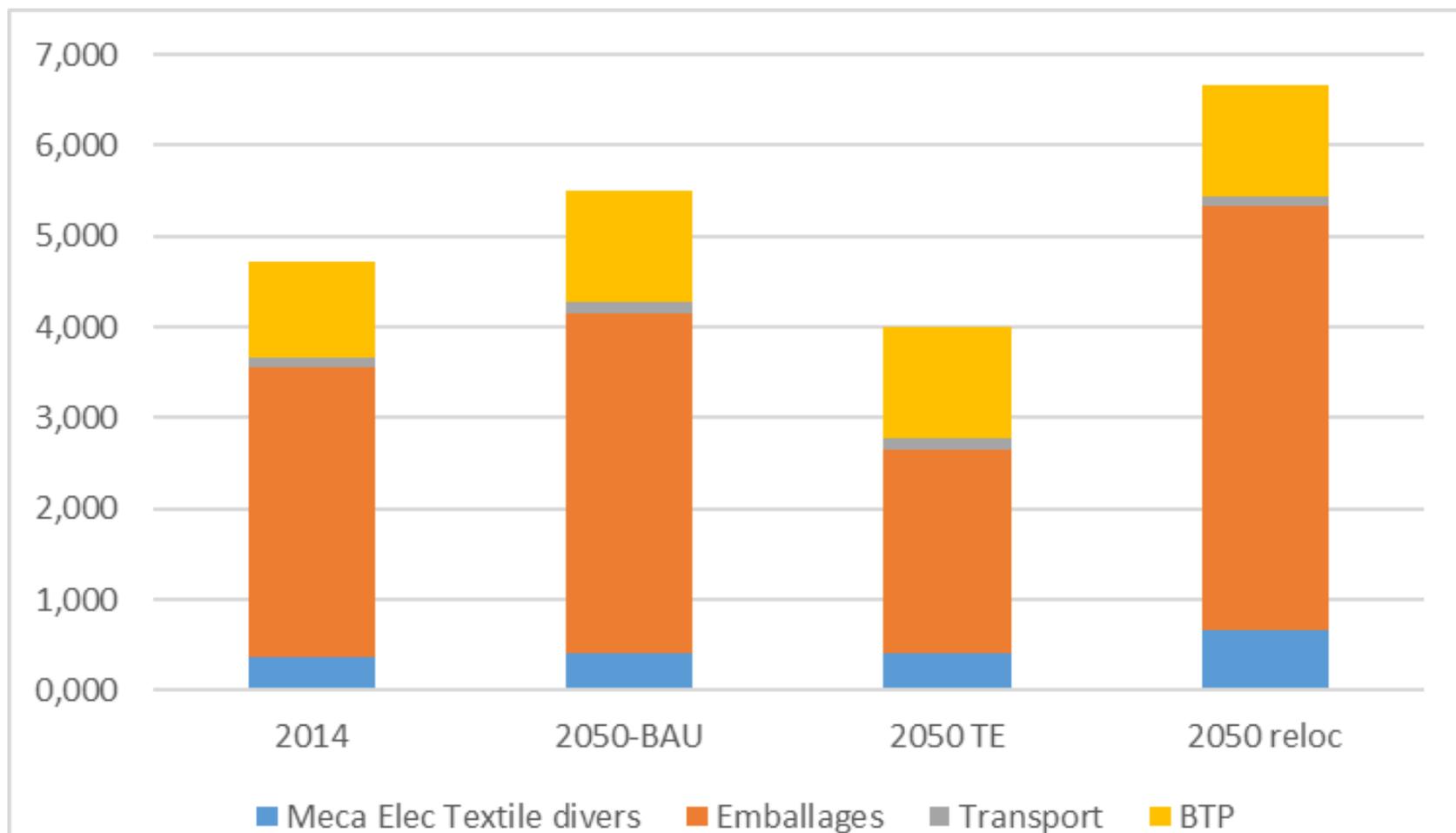
■ Résultats : verre du BTP



➤ Pour mémoire : les usages du verre



■ Résultats provisoires : 3 scénarii

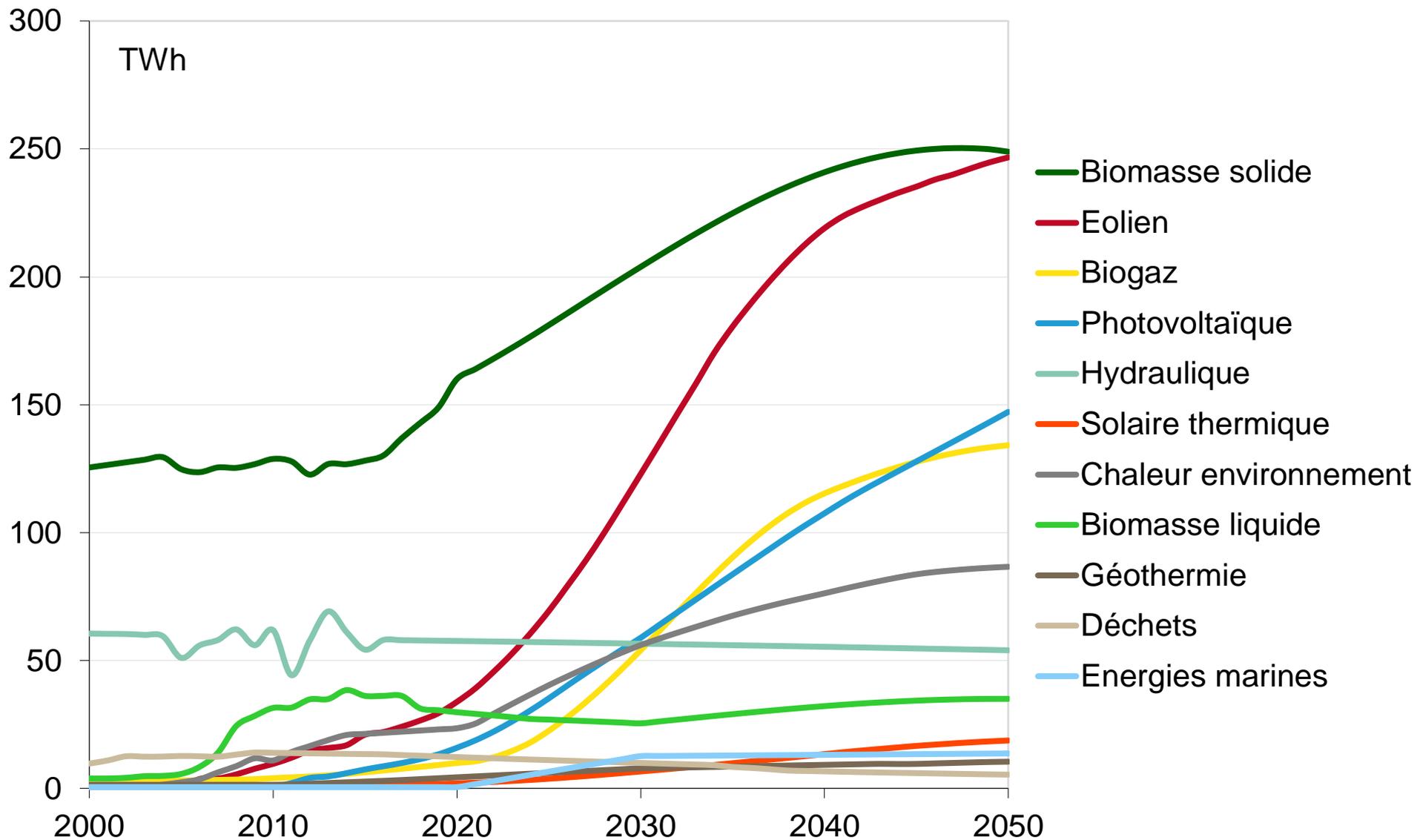




Volet ENR

4. Point rapide EnR

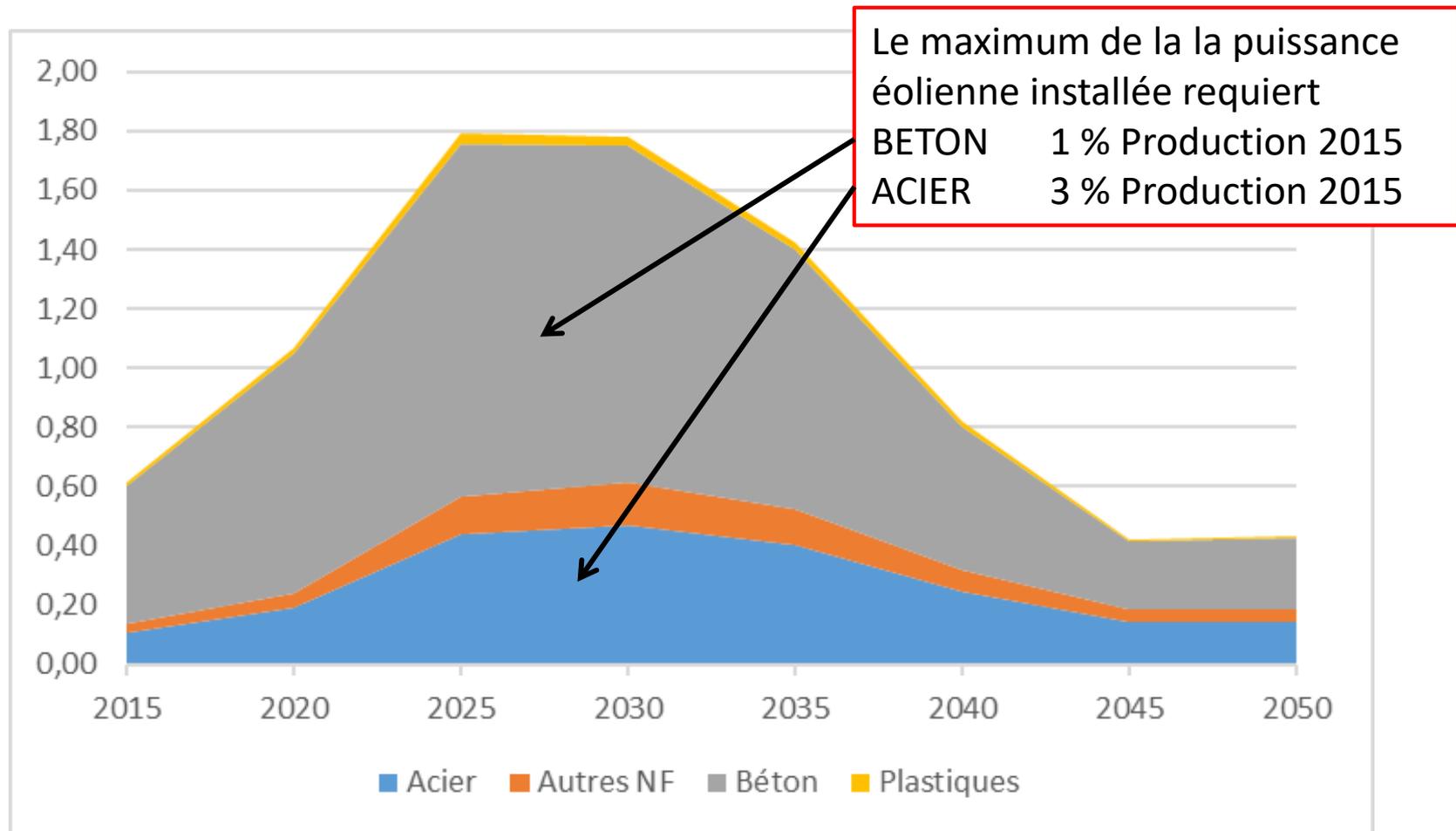
↘ Ensemble des renouvelables



↘ Impact matériaux



Exemple : quantité de matériaux pour l'éolien en Mt



Impact matériaux

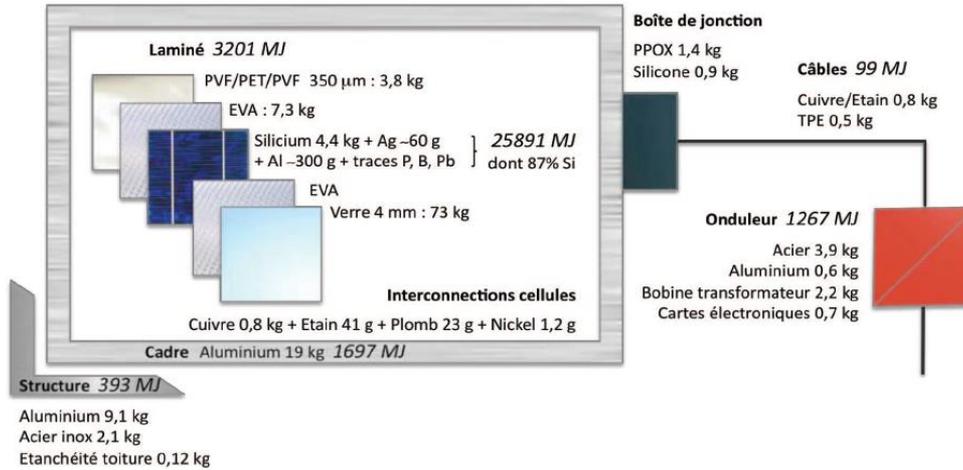
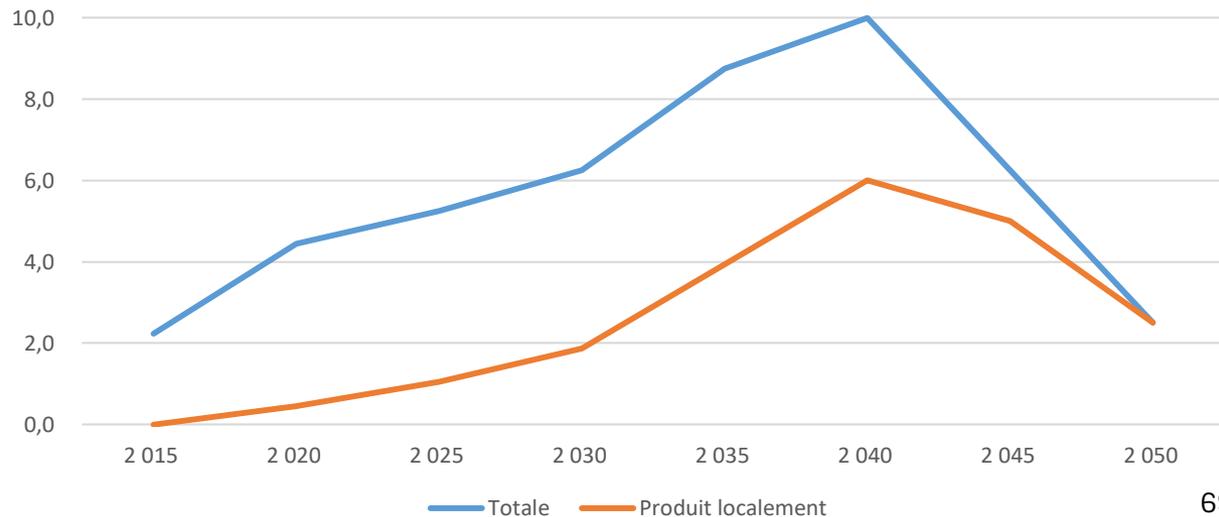
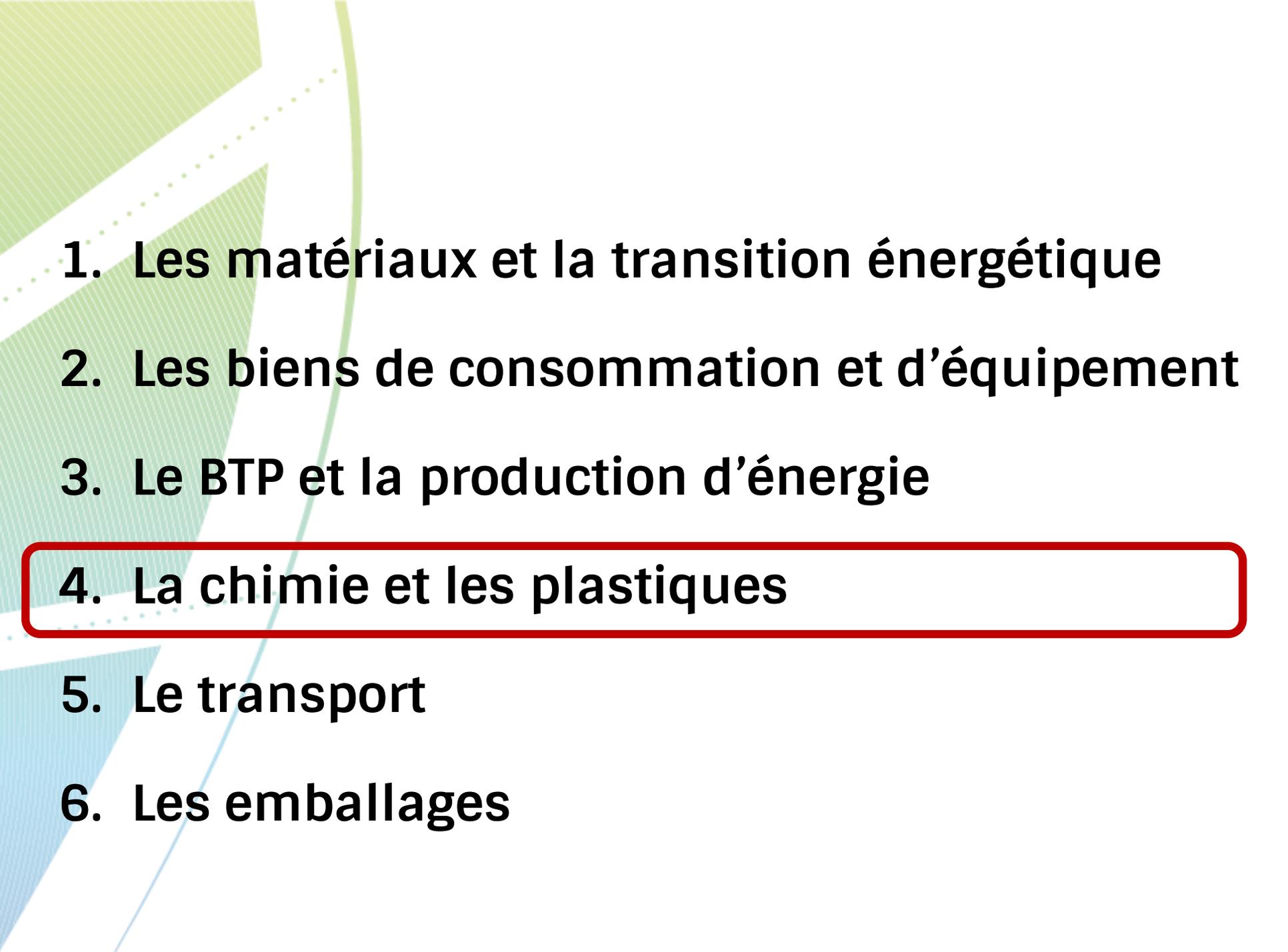


Figure 12 : Energie primaire en MJ et masse des différents constituants d'un système PV de 1 kWc

Source : HESPUL

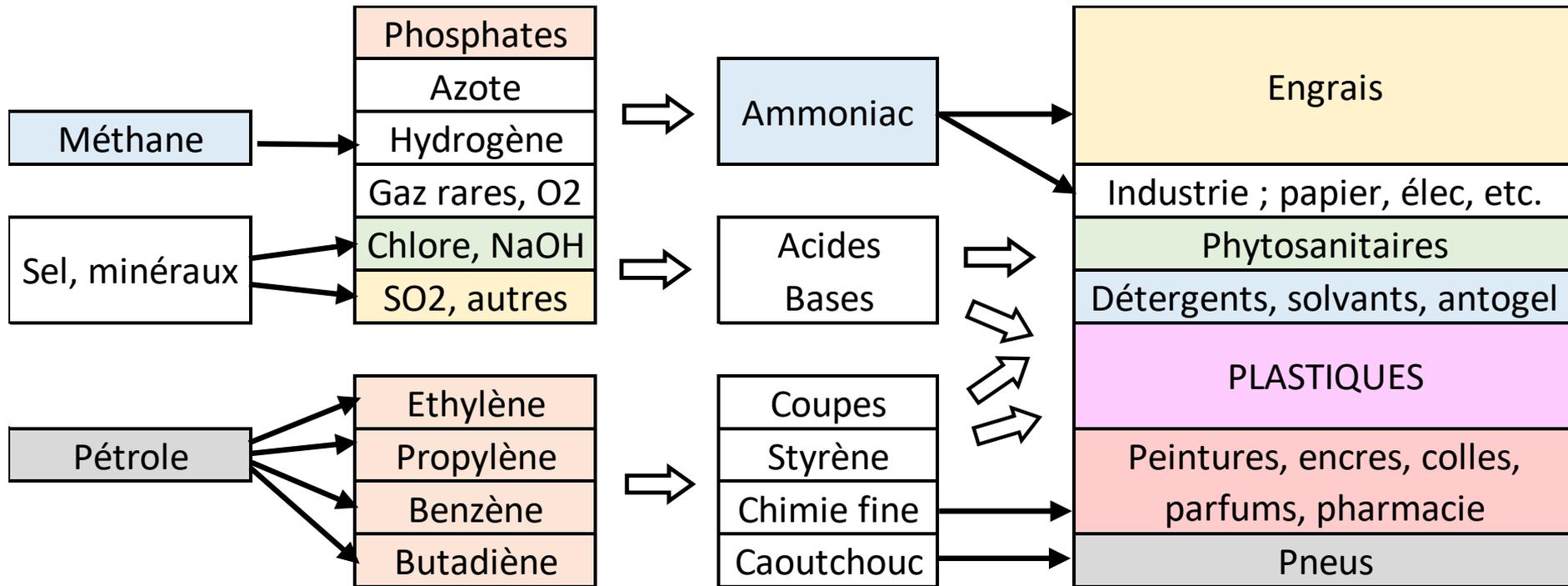
TW.h d'énergie grise finale



- 
- 1. Les matériaux et la transition énergétique**
 - 2. Les biens de consommation et d'équipement**
 - 3. Le BTP et la production d'énergie**
 - 4. La chimie et les plastiques**
 - 5. Le transport**
 - 6. Les emballages**

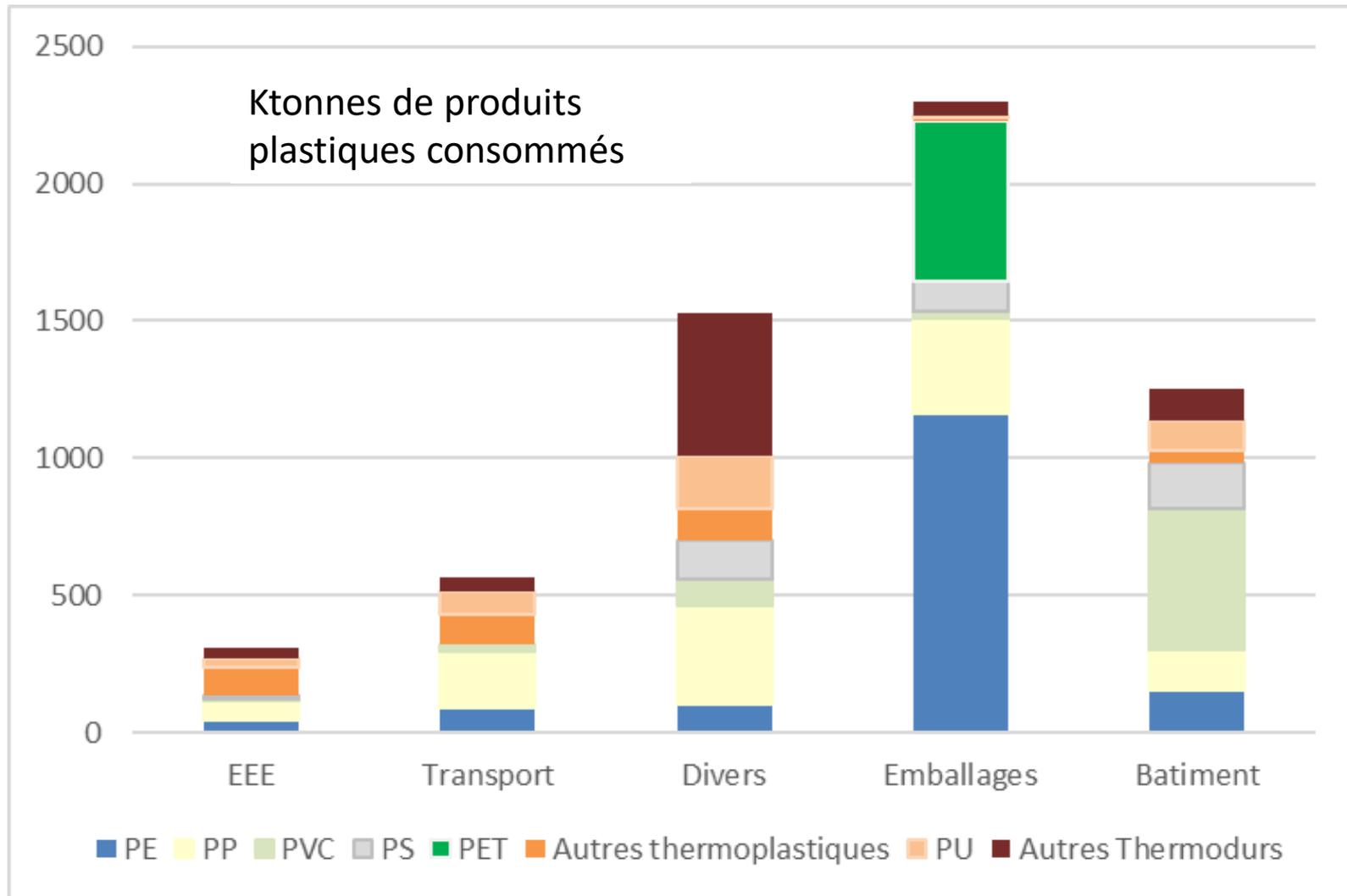


La chimie



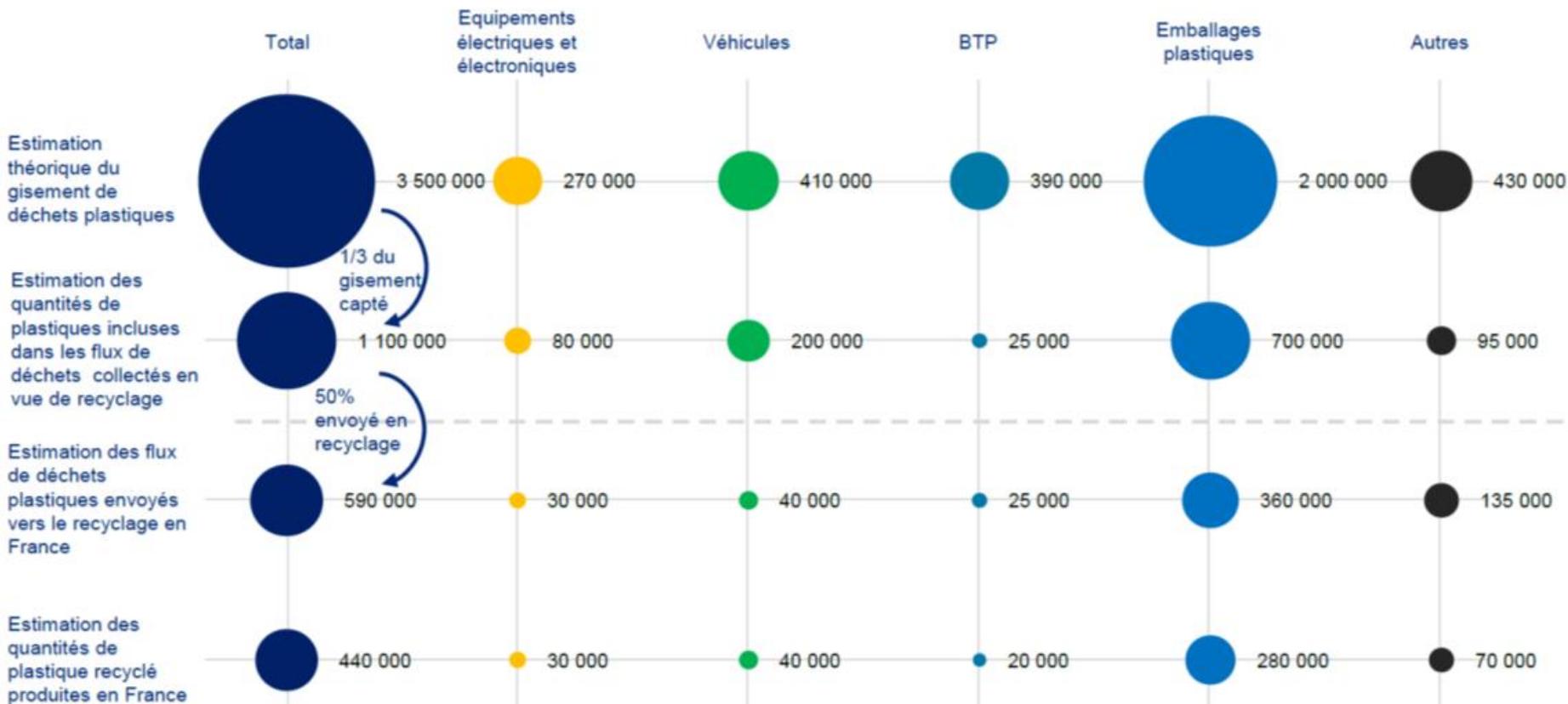


Répartition des plastiques





Recyclage du plastique



Source : ADEME Bilan du recyclage 2014

↘ Le recyclage en Europe



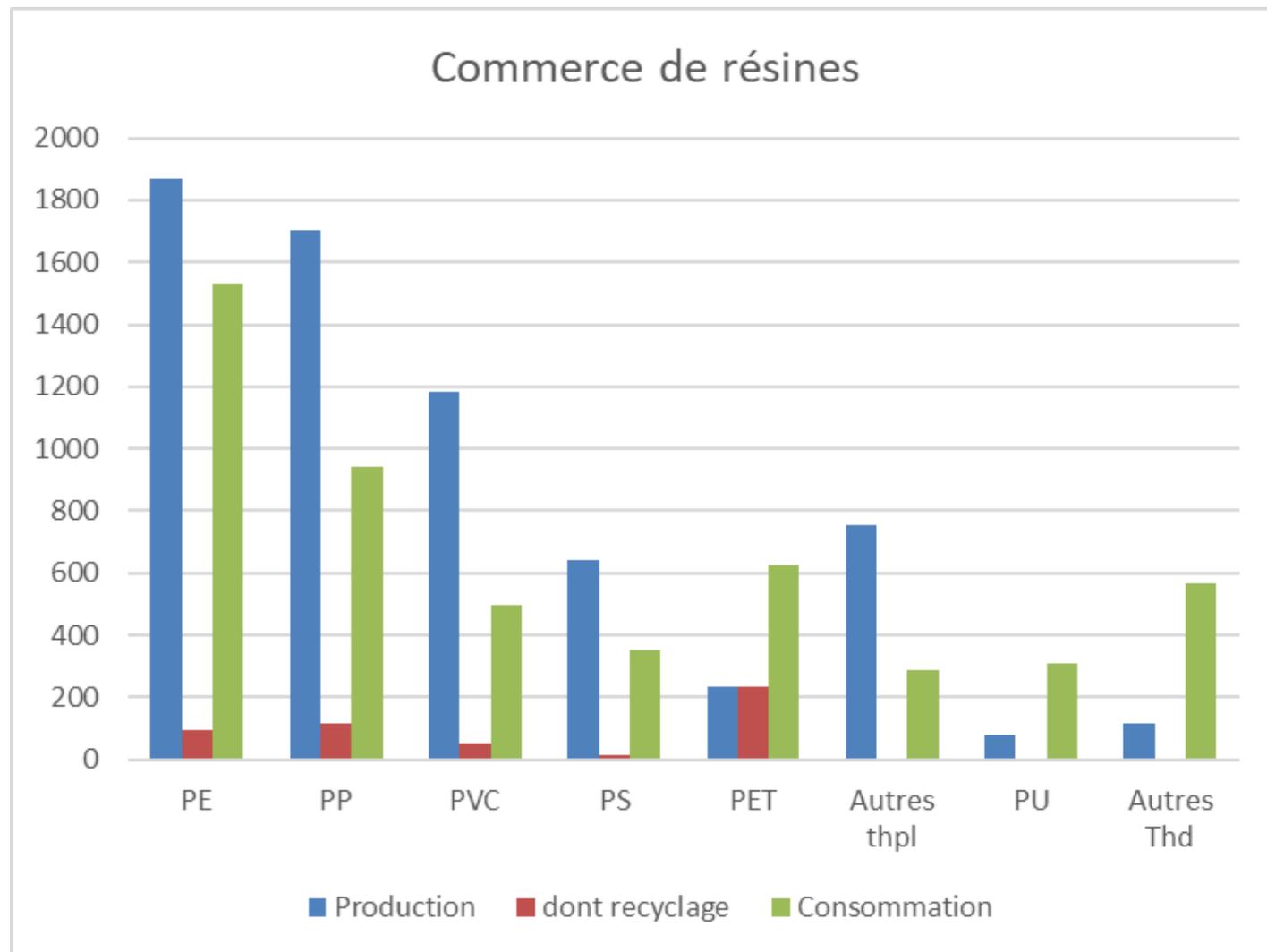
	Demande (Mt) de résines	Gisement (Mt) de déchets plastiques	Taux de recyclage	Taux de valo. énergétique	Taux de mise en décharge
Allemagne		4,8	38 %	61 %	1 %
Espagne		2,2	34 %	16 %	50 %
Pays-Bas		0,85	30 %	69 %	1 %
UE-28	47,8	25,8	30 %	40 %	31 %
Royaume-Uni		3,65	29 %	31 %	41 %
Pologne		1,54	25 %	19 %	56 %
France	4,6	3,3	21 %	42 %	36 %

Source : ADEME Bilan du recyclage 2014

Import/export des plastiques



La France est exportatrice de résines (sauf le PET)

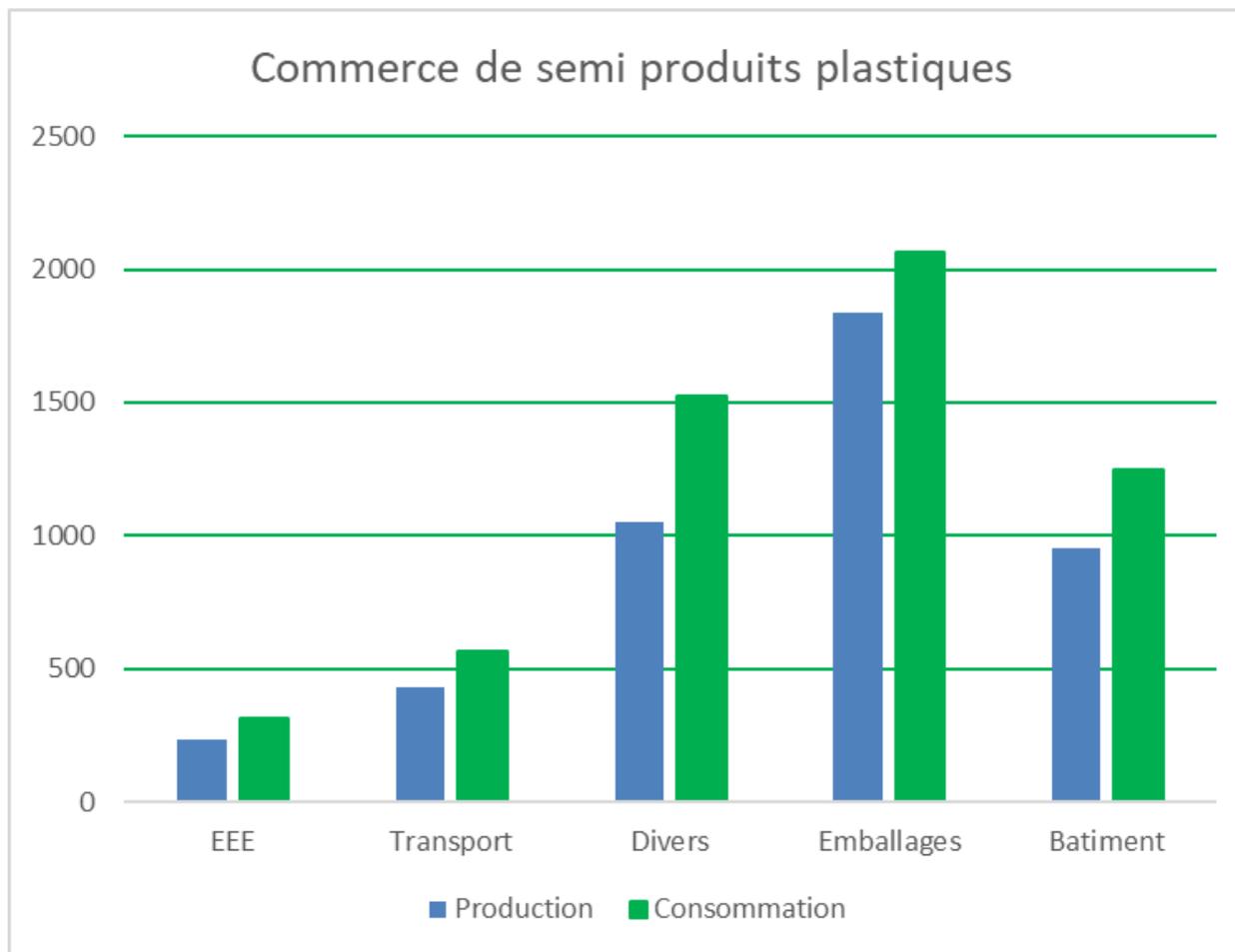




Import/export des produits semi finis



Mais importatrices de produits plastiques semi finis





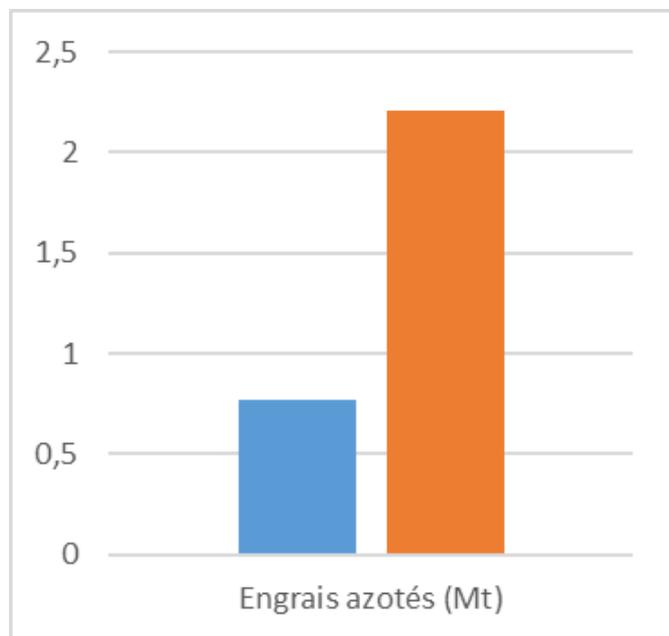
Les produits chimiques de consommation



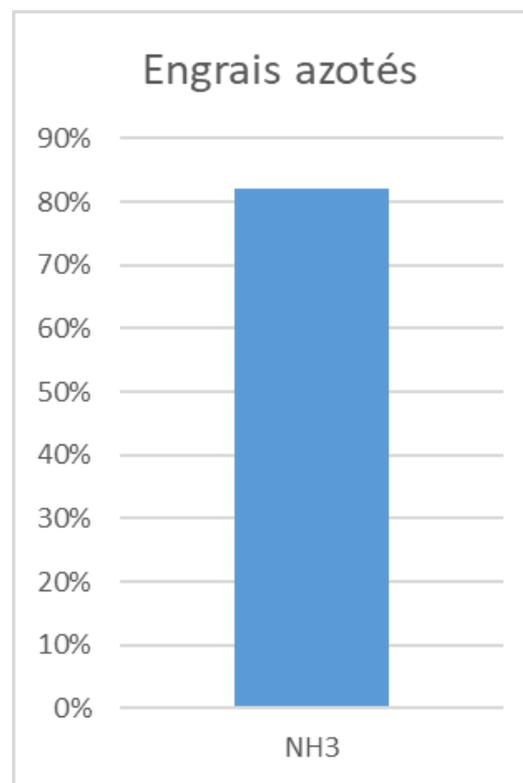
Les produits chimiques de consommation concernent	PROSPECTIVE	
	2035	2050
- Les engrais azotés	-40%	-50%
- Les phytosanitaires	-40%	-50%
- Les produits d' entretien : détergents, solvants, savons, articles de toilette et parfums	+8%	+15%
- Les autres produits : peintures, vernis, colles, encres, explosifs, etc.	+8%	+15%
- Les produits pharmaceutiques	+8%	+15%



Activité **très importatrice**
Principal débouché de l'**ammoniac**



■ Prod ■ Conso

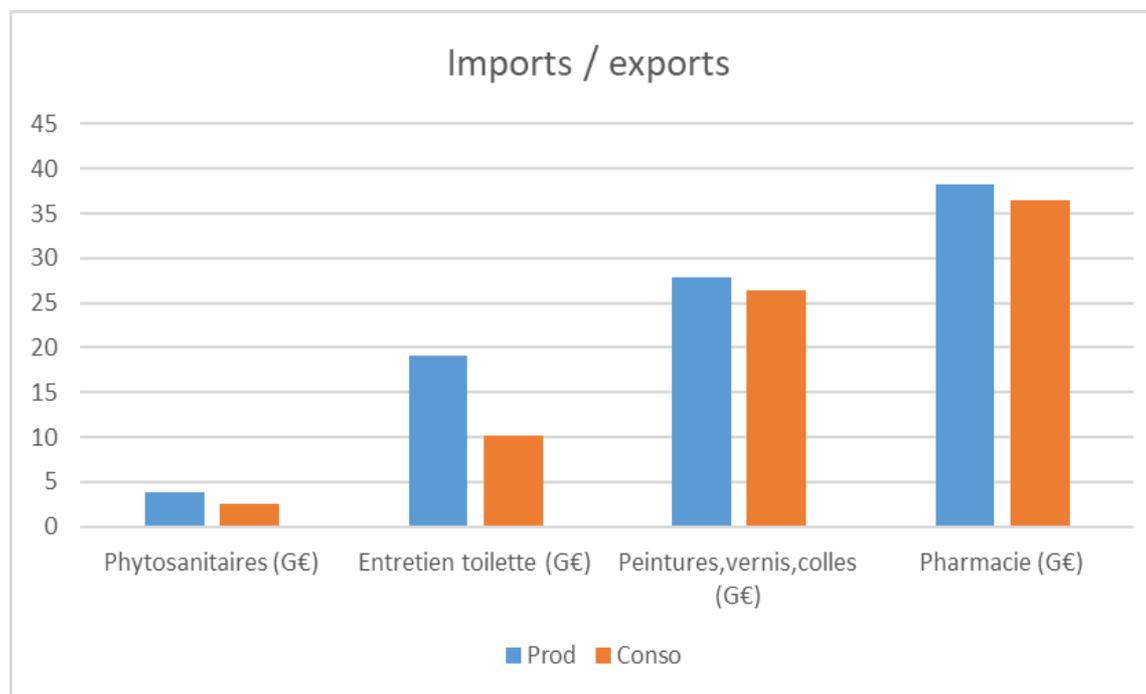


↘ Les produits chimiques



Activité globalement **exportatrice**

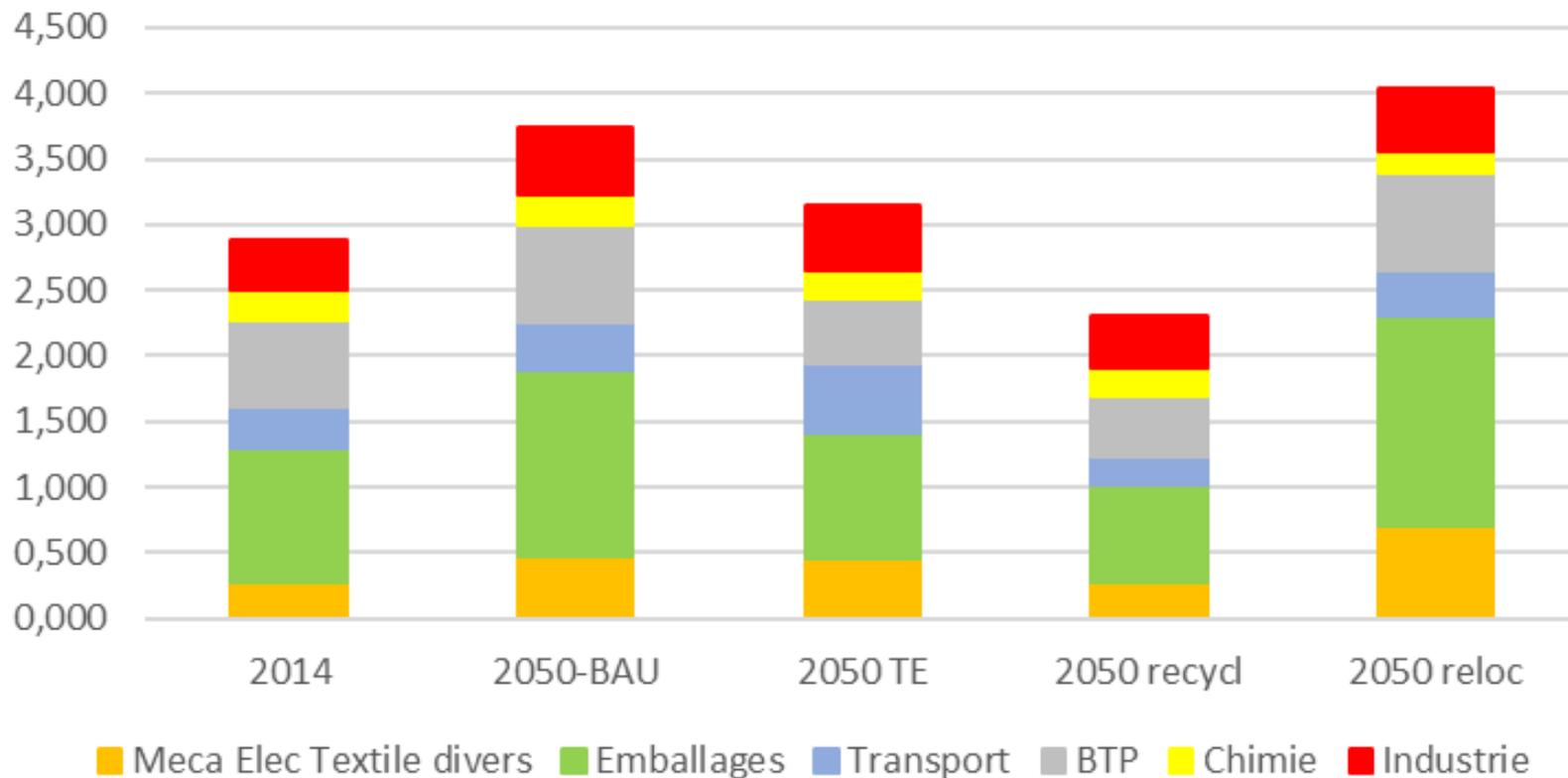
La France importe des éléments chimiques de base (Chlore, ammoniac) mais son industrie est performante en bout de chaîne



Exemple prospectif pour l'éthylène



Prospective sur l'éthylène



Bâtiment :

Béton et acier -> construction bois

Menuiseries alu et PVC -> Menuiseries bois

Isolants PS, PU, laine de verre -> laine de bois, ouate de cellulose, paille, chanvre, etc.

Emballages :

Remplacer plastique par carton, bois, verre

Chimie et plastique :

Remplacer le pétrole par des produits végétaux



Les matériaux biosourcés

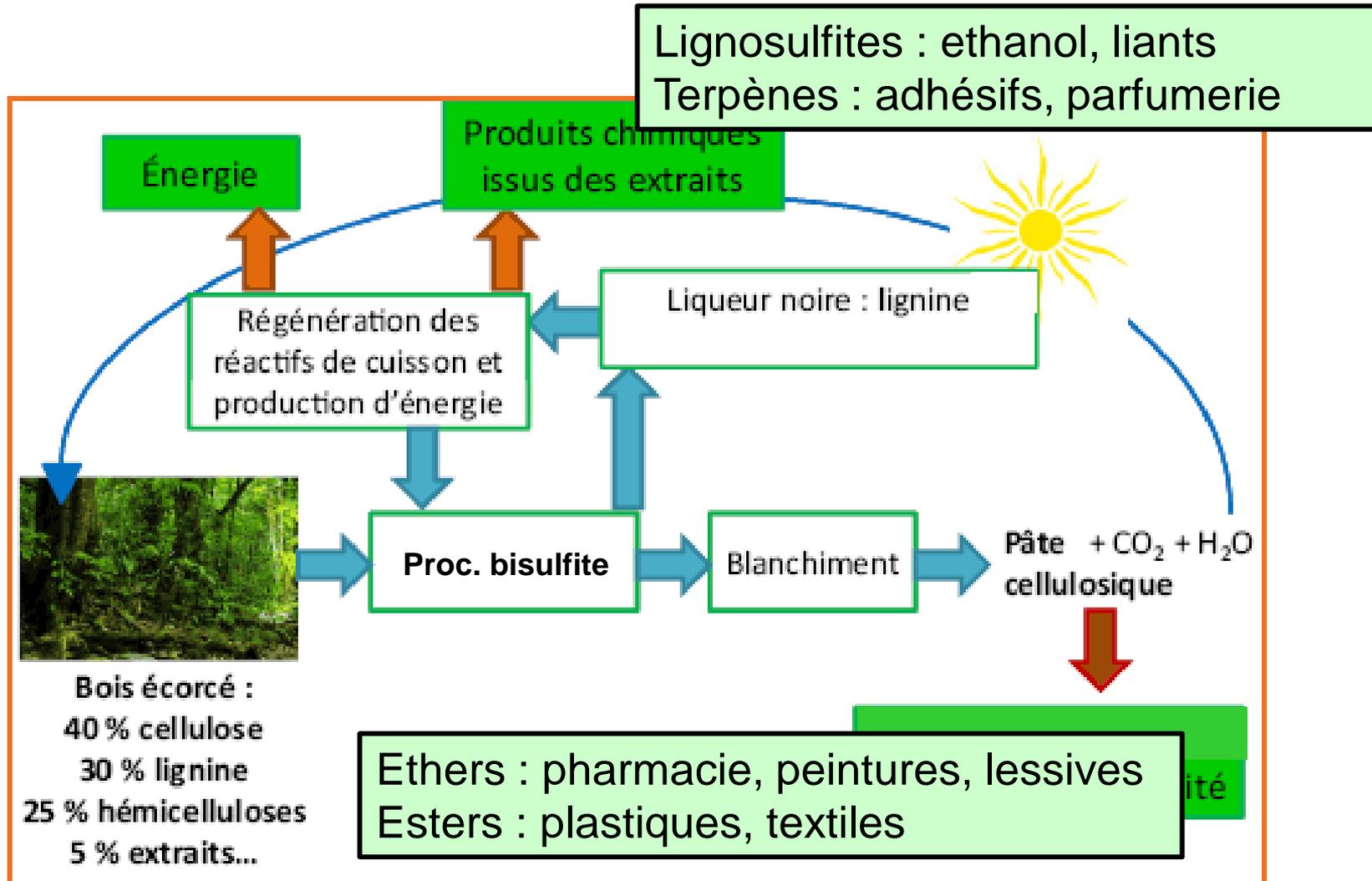


Filière	Matière première*	Eventail des applications	Rendements	Maturité	Concurrence alimentaire
Amidon	Blé, maïs, riz	Large		Oui	OUI
Sucre	Betterave	Spécifique	Bons	Oui	Oui
Huile	Colza, tournesol	Spécifique		Oui	Oui
Ligno-cellulosique	Bois	Large		R&D	Non
	Myscanthus, switchgrass...	Large		R&D	Oui
Algues		Large	Faibles	R&D	Non

Filière	Amidon	Sucre	Huile	Cellulose	Algues
Plastiques, caoutchouc	X			X	X
Solvants		X	X		X
Détergents			X	X	X
Parachimie	X			X	X

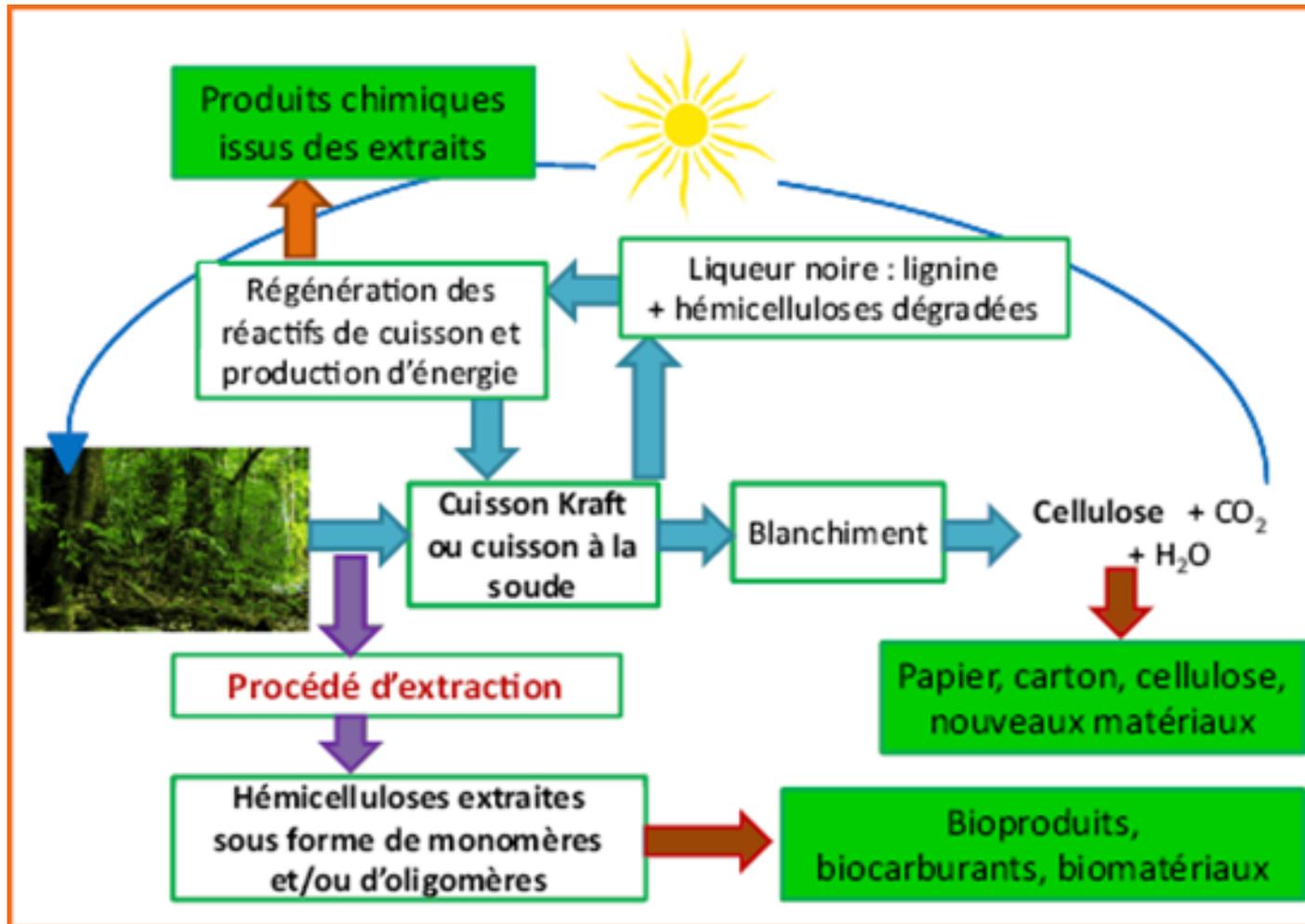


La chimie du bois





Et des recherches sur l'hydrolyse enzymatique



↘ La chimie des algues



	Micro algues			Macro algues
Technologie	Bassins ouverts	Photobioréacteurs	Fermenteurs	Culture en mer
Rendement	Médiocre	Bon	Très bon	
Challenge	Place disponible	Encrassement, source d'O ₂	Coût énergétique, source CO ₂	



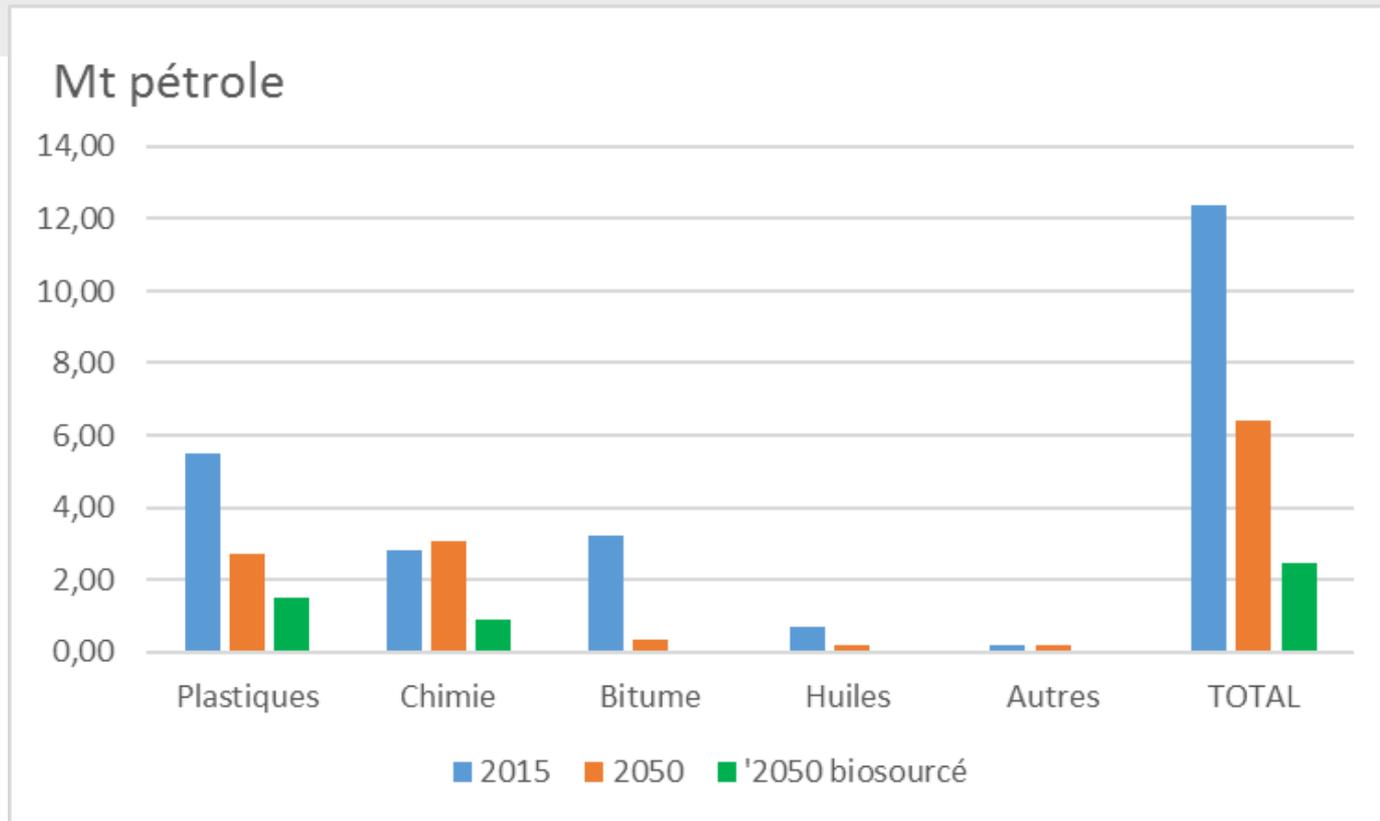
Débouchés :

Bioplastiques, biocarburants
 Pharmacie, cosmétique
 Alimentation humaine
 Alimentation animale

Potentiel en France à l'horizon 2050
 24 TWh soit l'équivalent de 2 Mt de pétrole



Potentiel en France à l'horizon 2050



Ce potentiel a été établi dans le cadre du scénario néfaWatt où le bois est mobilisé pour d'autres applications : bois d'œuvre, bois énergie
Il est limité par la surface disponible de forêt

Principes du module transport



Pas de données
suffisantes pour
un modèle de
stock



Bilan matière par
unité produite



Nombre d'unités
produites



Matière consommée pour
les besoins de transport

Personnes

- Voiture particulière
- Bus
- Train
- Vélo
- Avion

Marchandises

- Camion
- VUL
- Train
- Bateau
- Avion

- Km.voyageurs et t.km par type de véhicule
- Taux de remplissage
- Durée de vie

- Evolution des imports / exports



Besoins en acier

Besoins en aluminium

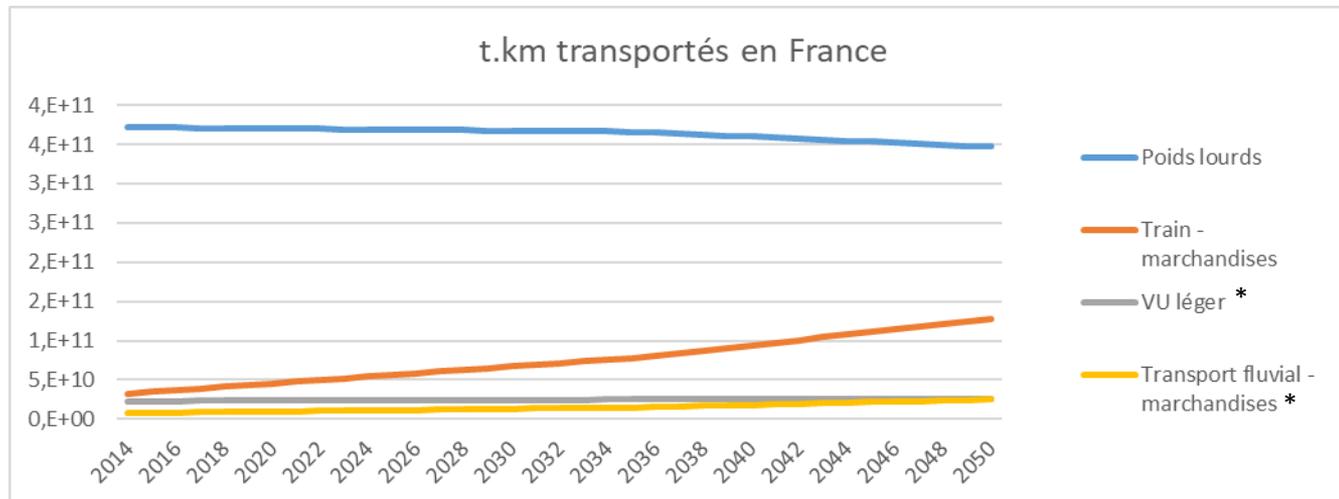
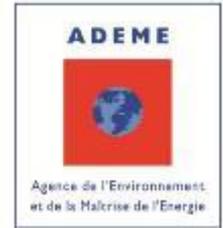
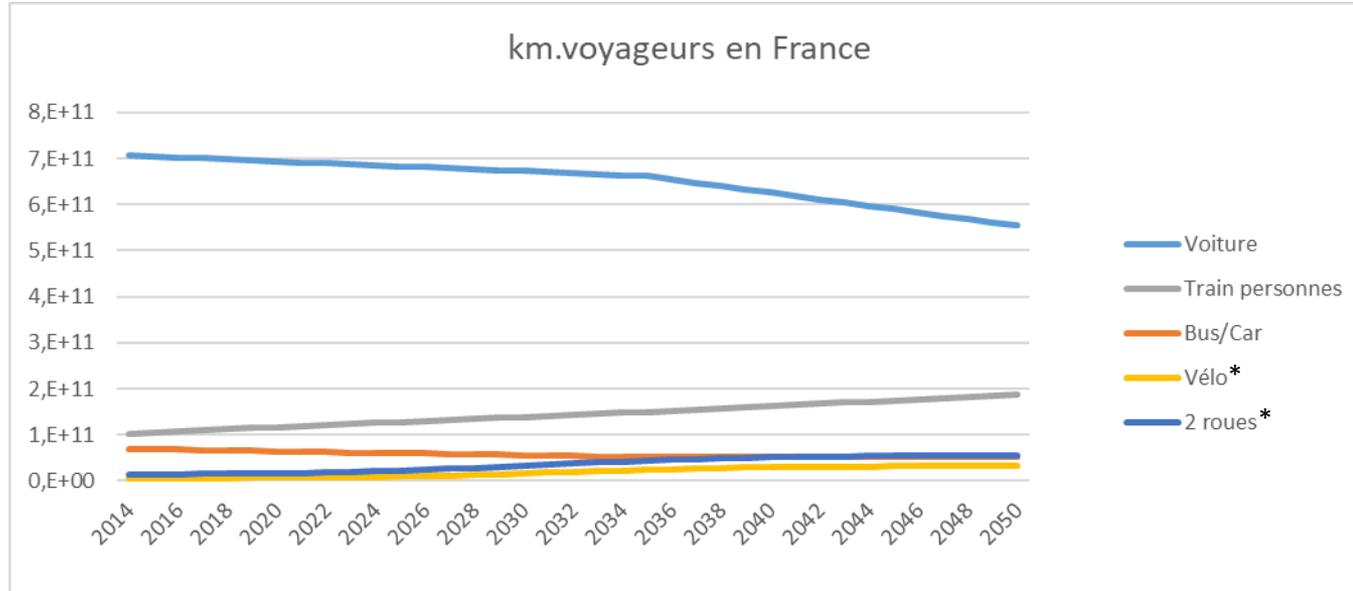
Besoins en plastique

Besoins en verre

...



Evolution des parts modales en France

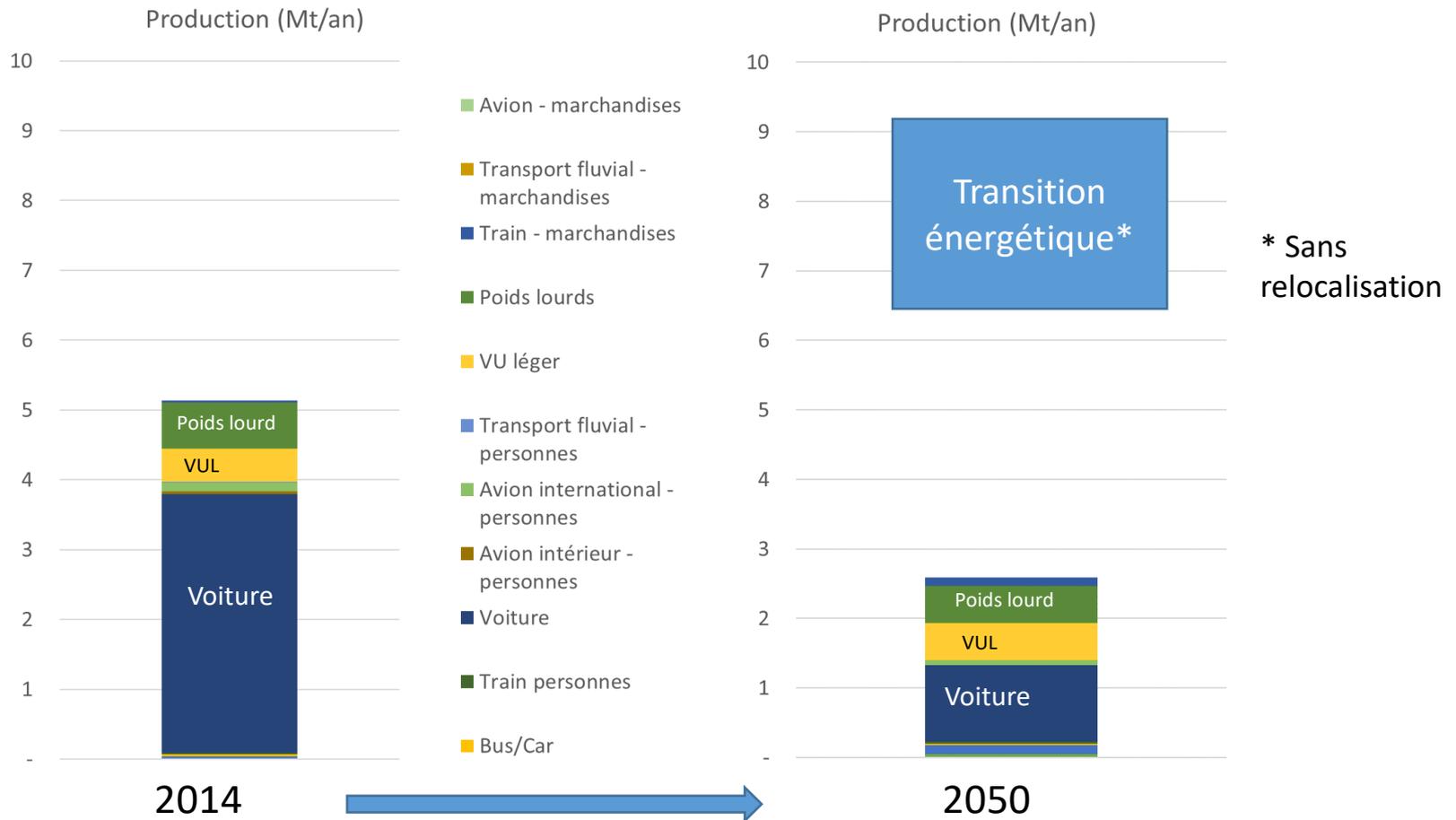


* En complément des hypothèses ADEME pour l'étude

Consommation de matériaux pour la production en France – transport



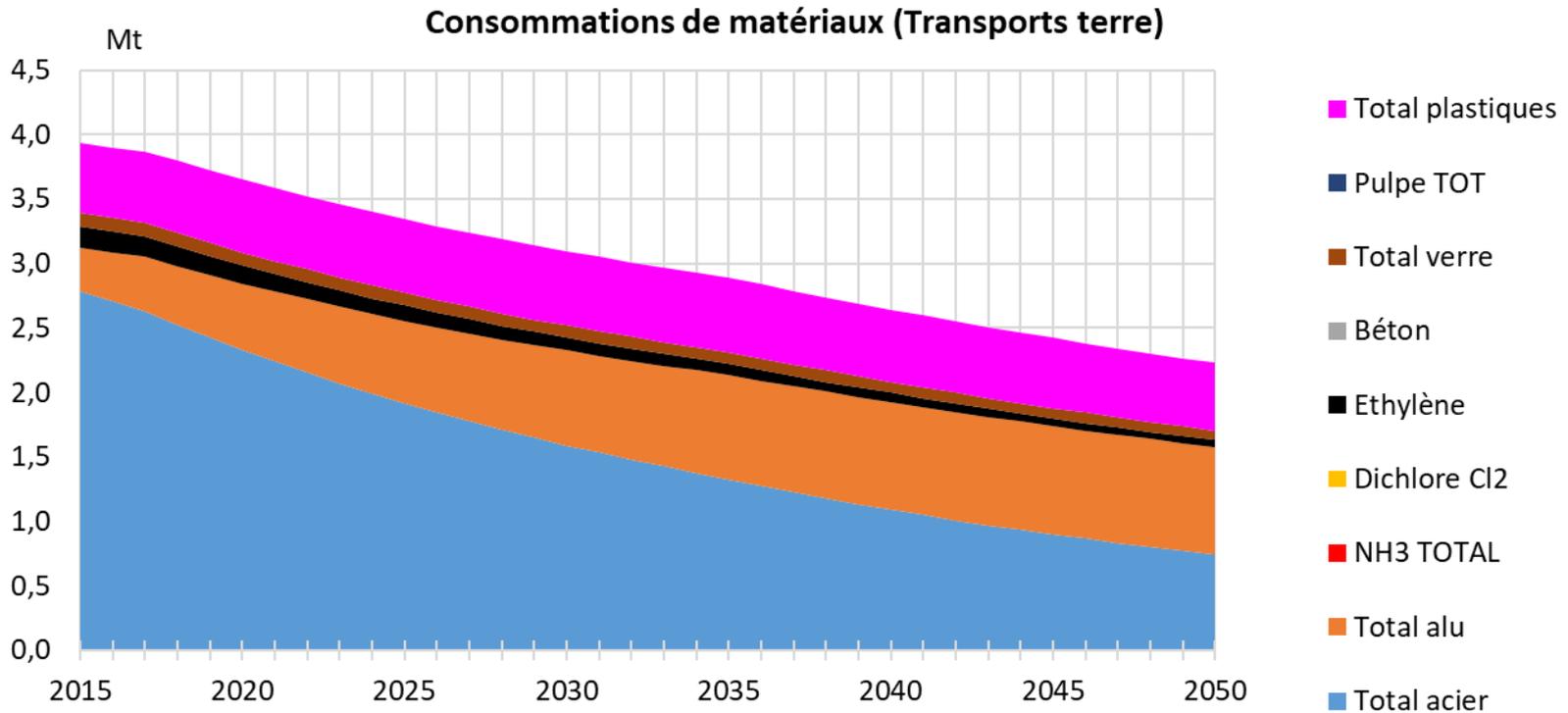
Résultats illustratifs



Consommation de matériaux pour la production en France - transport



Résultats illustratifs



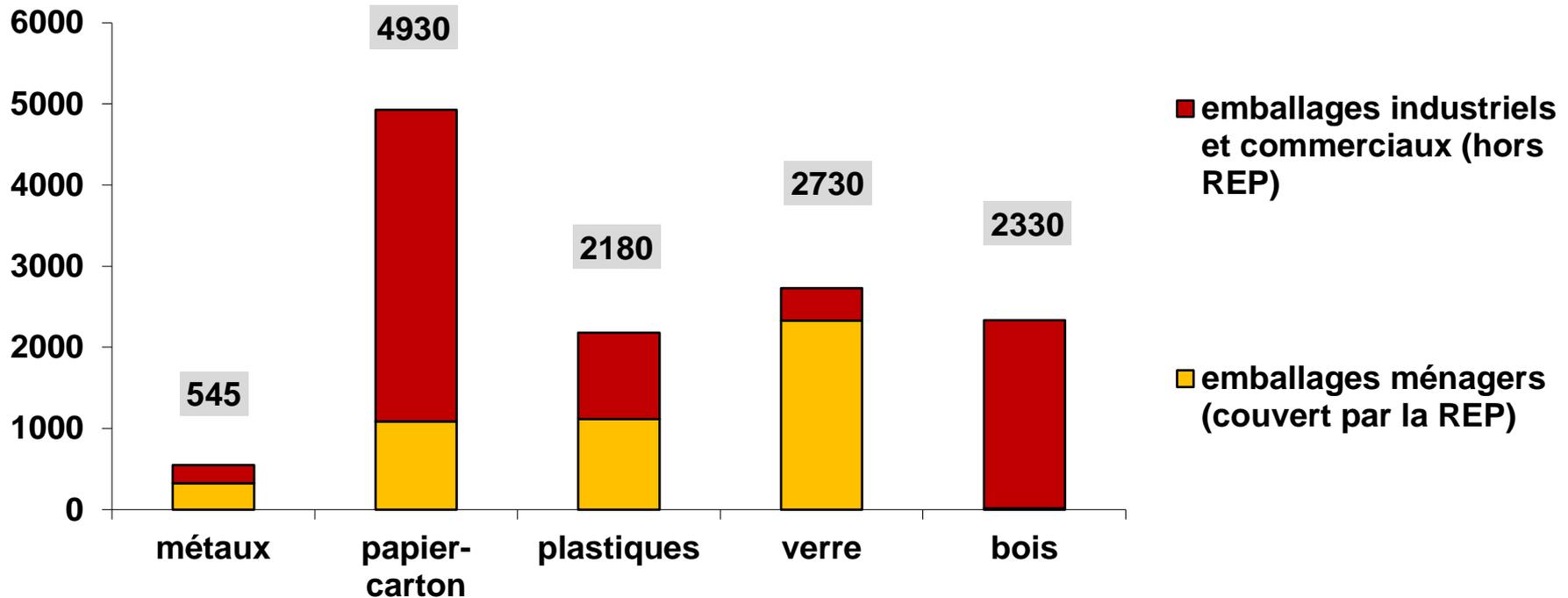


Emballages



Les emballages concernent les 6 matériaux suivants :
Ils peuvent être ménagers ou industriels.

en milliers
de tonnes



Source ADEME

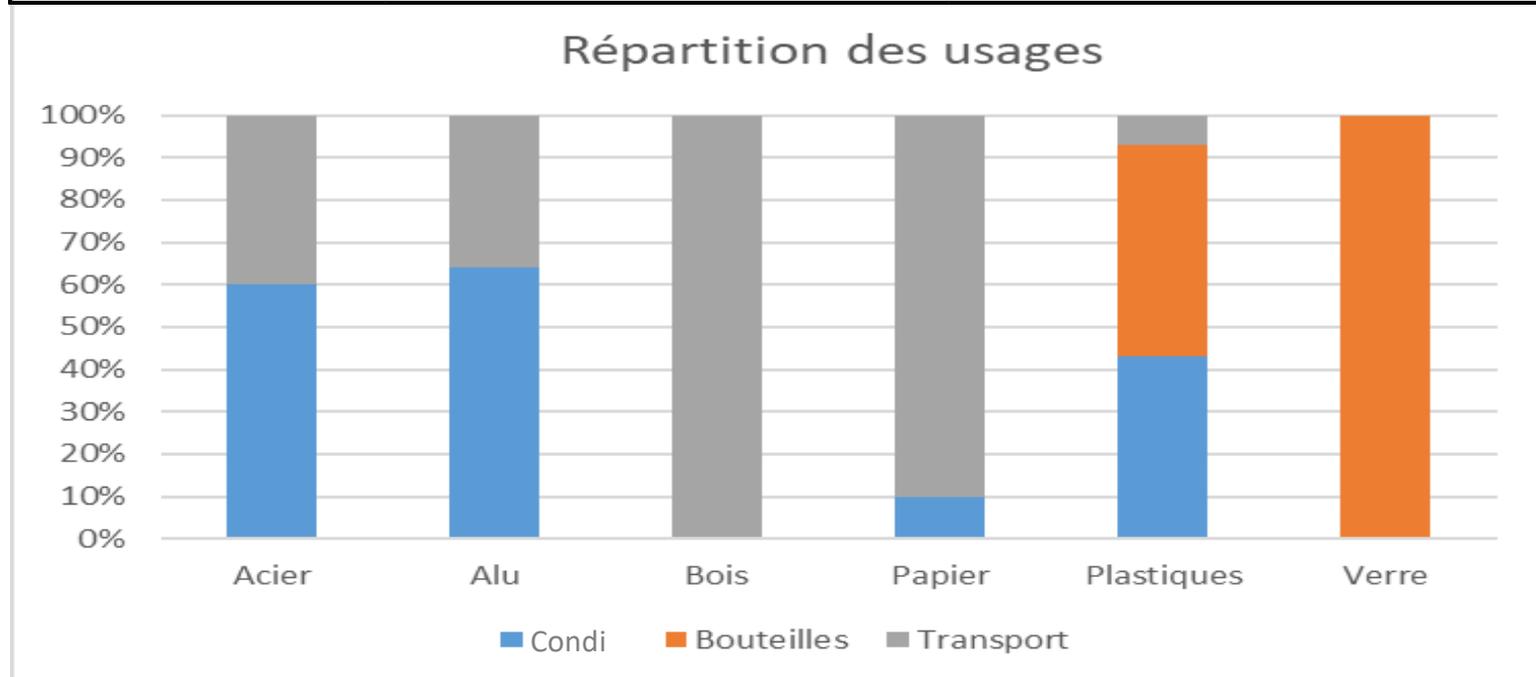


Les emballages

Usages et tendances

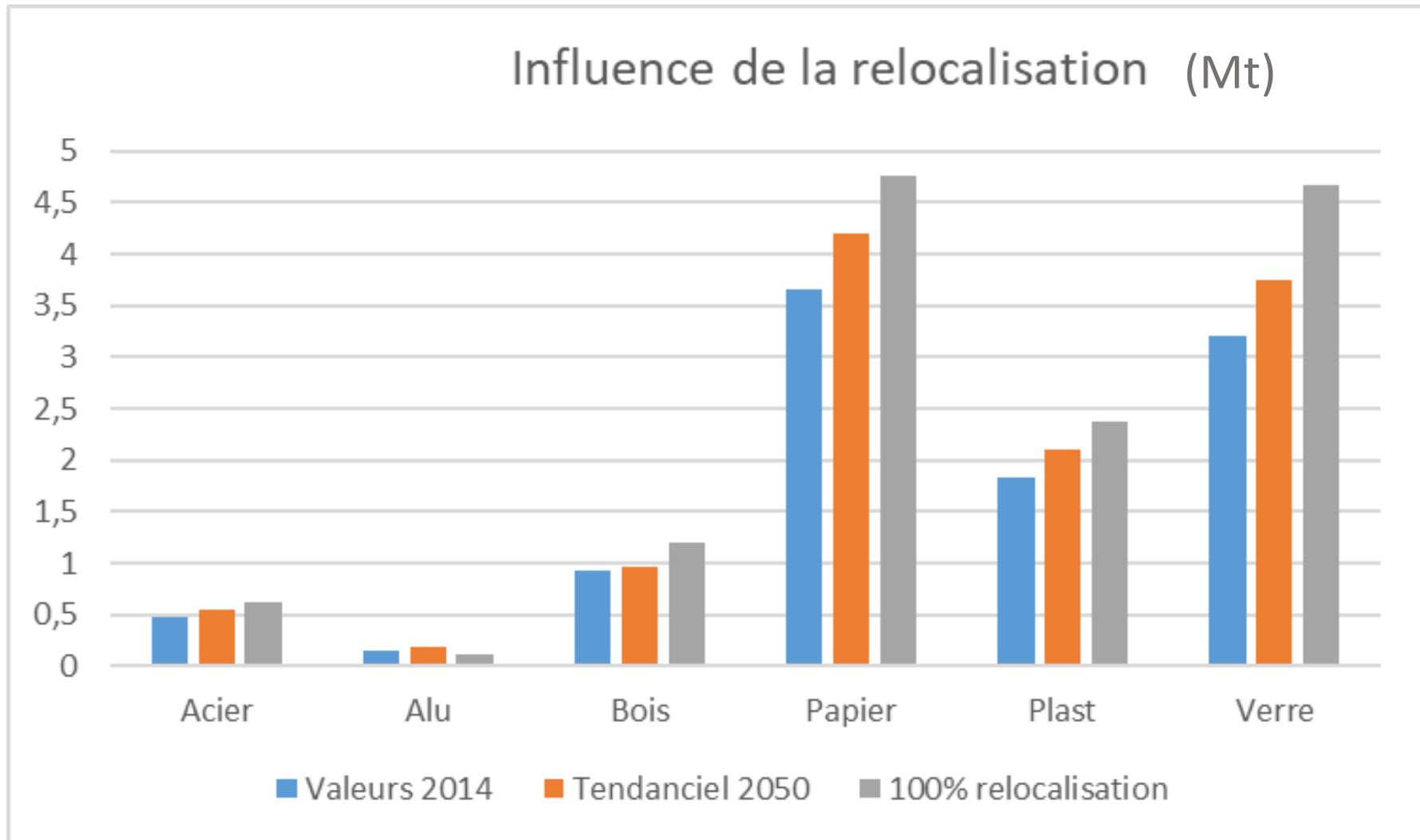


Usage	Facteur d'augmentation	Facteur de diminution
Conditionnement en boites, paquets	Augmentation du préemballé Plats préparés, restau rapide	Diminution suremballage Retour au vrac
Conditionnement en bouteilles		Diminution alcool Concentration produits lavage Consigne et réutilisation
Transport	Achats à distance	Relocalisation
+ AUGMENTATION DE LA POPULATION		

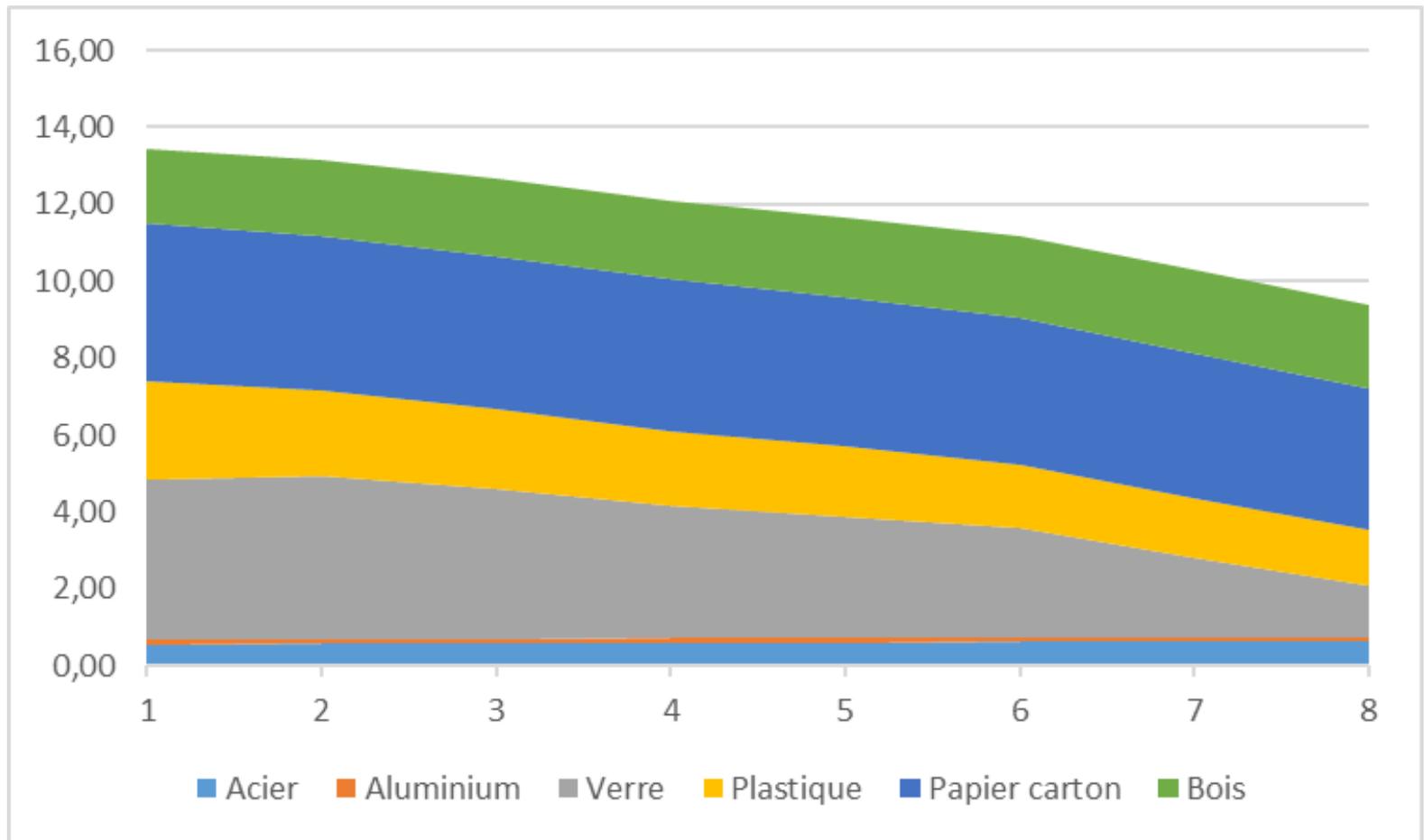




Influence de la relocalisation



↳ Les emballages dans le scénario nW



- 1 Etiquetage du contenu en EG des emballages
- 2 Réorientation vers le verre et le PET
- 3 Politique dissuasive vis-à-vis des suremballages
- 4 Favoriser la consigne du verre et du PET