

**Université négaWatt**  
**Mèze - 2019**

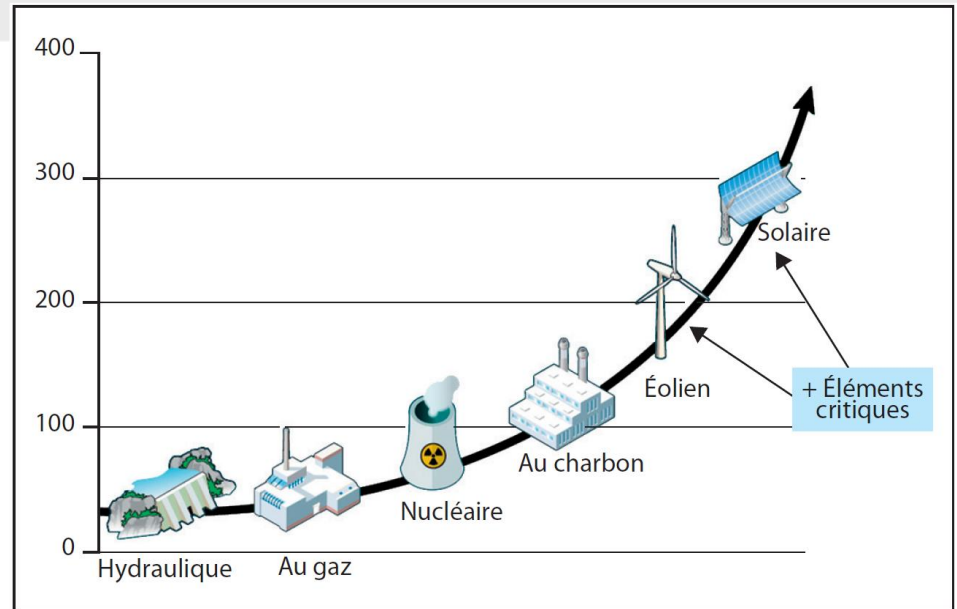
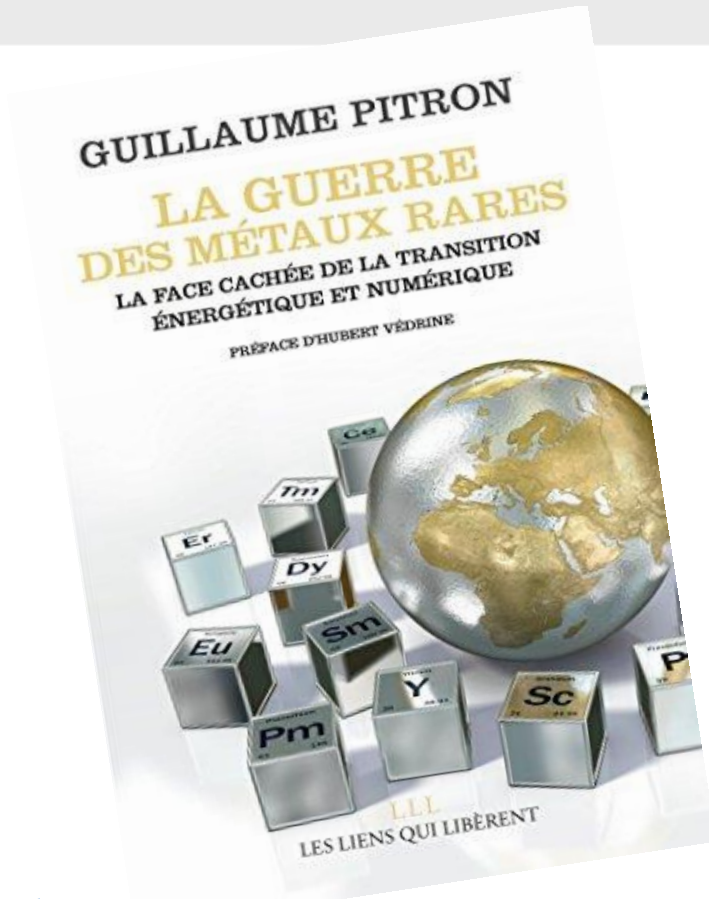
---

**Les matériaux et  
la transition énergétique**

**Emmanuel RAUZIER**

**11 octobre 2019**

# Des attaques infondées envers la TE



**Les métaux rares, le visage sale des technologies « vertes »**  
10 février 2018 / [Ernest London](#)

**Eoliennes, Terres rares et désastre environnemental : Une vérité qui dérange, même les ONG !!**  
ACE 23 mars 2018

**Un sujet à la mode auquel nous devons répondre activement**



**1. De quels matériaux parle-t-on ?**

**2. De quels usages parle-t-on ?**

**3. Scénarii pour le futur**

**4. Et la transition énergétique dans tout ça ?**

# ↘ Les métaux et assimilés



<b>Alcalins</b>		<b>Métaux</b>		<b>Metalloïdes</b>	<b>Terres rares</b>	
Bérylium	Argent	Indium	Platine	Antimoine	Cerium	Praseodyme
Calcium	Aluminium	Iridium	Plomb	Arsenic	Dyspronium	Prométhium
Lithium	Bismuth	Manganèse	Rhénium	Bore	Erbium	Samarium
Magnesium	Cadmium	Mercure	Rhodium	Germanium	Europium	Scandium,
Potassium	Chrome	Molybdène	Tantale	Graphite	Gadolinium	Terbium
Sodium	Cobalt	Nickel	Titane	Polonium	Holmium	Thylium
....	Cuivre	Niobium	Tungstène	Sillicium	Lanthane	Ytterbium
	Etain	Or	Vanadium	Tellure	Lutecium	Yttrium,
	Fer	Osmium	Zinc		Neodyme	
	Gallium	Palladium	Zirconium			
	...	...	...			

# ↘ Les métaux usuels



Alcalins		Metaux		Metalloïdes	Terres rares
Bérylium	Argent	Indium	Platine	Antimoine	Cerium Praseodyme
<b>Calcium</b>	<b>Aluminium</b>	Iridium	<b>Plomb</b>	Arsenic	Dyspronium Prométhium
Lithium	Bismuth	Manganèse	Rhénium	Bore	Erbium Samarium
<b>Magnesium</b>	Cadmium	Mercure	Rhodium	Germanium	Europium Scandium,
<b>Potassium</b>	Chrome	Molybdène	Tantale	Graphite	Gadolinium Terbium
<b>Sodium</b>	Cobalt	<b>Nickel</b>	Titane	Polonium	Holmium Thyllium
....	<b>Cuivre</b>	Niobium	Tungstène	<b>Sillicium</b>	Lanthane Ytterbium
	<b>Etain</b>	Or	Vanadium	Tellure	Lutecium Yttrium,
	<b>Fer</b>	Osmium	<b>Zinc</b>		Neodyme
	Gallium	Palladium	Zirconium		
	...	...	...		

# ↘ Les métaux précieux



Alcalins	Métaux			Metalloïdes	Terres rares	
Bérylium	<b>Argent</b>	Indium	<b>Platine</b>	Antimoine	Cerium	Praseodyme
Calcium	Aluminium	<b>Iridium</b>	Plomb	Arsenic	Dyspronium	Prométhium
Lithium	Bismuth	Manganèse	Rhénium	Bore	Erbium	Samarium
Magnesium	Cadmium	<b>Mercure</b>	<b>Rhodium</b>	Germanium	Europium	<b>Scandium,</b>
Potassium	Chrome	Molybdène	Tantale	Graphite	Gadolinium	Terbium
Sodium	Cobalt	Nickel	Titane	Polonium	Holmium	Thyllium
....	<b>Cuivre</b>	Niobium	Tungstène	Sillicium	Lanthane	Ytterbium
	Etain	<b>Or</b>	Vanadium	Tellure	Lutecium	Yttrium,
	Fer	<b>Osmium</b>	Zinc		Neodyme	
	Gallium	<b>Palladium</b>	Zirconium			
	...	...	...			

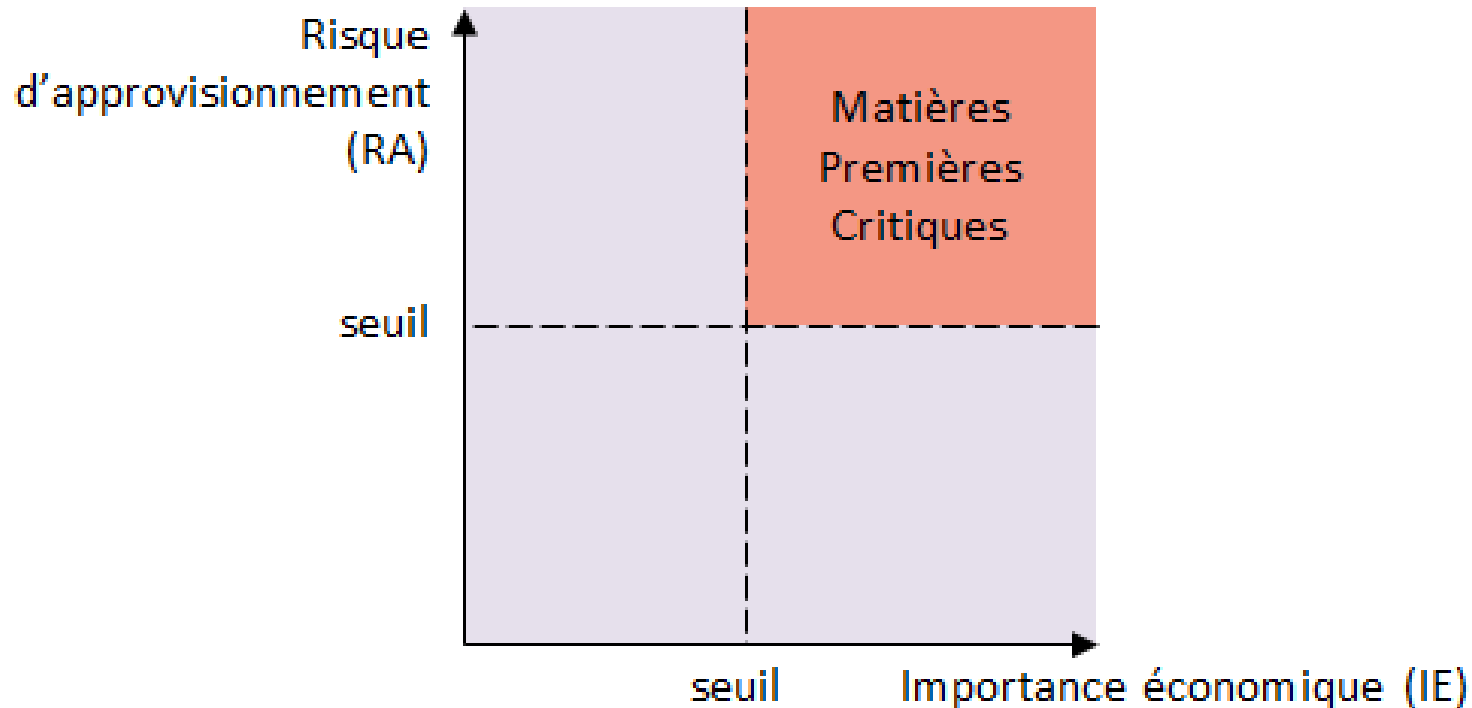
# ↳ Les métaux critiques



Alcalins		Metaux		Metalloïdes	Terres rares	
<b>Bérylium</b>	Argent	Indium	<b>Platine</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Cerium</b>	<b>Praseodyme</b>
Calcium	Aluminium	Iridium	Plomb	Arsenic	<b>Dyspronium</b>	Prométhium
<b>Lithium</b>	Bismuth	Manganèse	Rhénium	Bore	Erbium	<b>Samarium</b>
Magnesium	Cadmium,	Mercure	<b>Rhodium</b>	Germanium	Europium	Scandium,
Potassium	<b>Chrome</b>	Molybdène,	Tantale	<b>Graphite</b>	Gadolinium	<b>Terbium</b>
Sodium	<b>Cobalt</b>	Nickel	Titane	Polonium	Holmium	Thylium
...	Cuivre	<b>Niobium</b>	<b>Tungstène</b>	Silicium	<b>Lanthane</b>	Ytterbium
	Etain	Or	Vanadium	Tellure	Lutecium	<b>Yttrium,</b>
	Fer	Osmium	Zinc		<b>Neodyme</b>	
	Gallium	<b>Palladium</b>	Zirconium			
	...	...	...			
	<b>Criticité</b>	<b>Très forte</b>	<b>Forte</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>	

Les terres rares sont un groupe de la classification de Mendeleïev. Elles ne sont pas toujours plus « rares » que les autres métaux.

## ↳ Notion de « criticité »

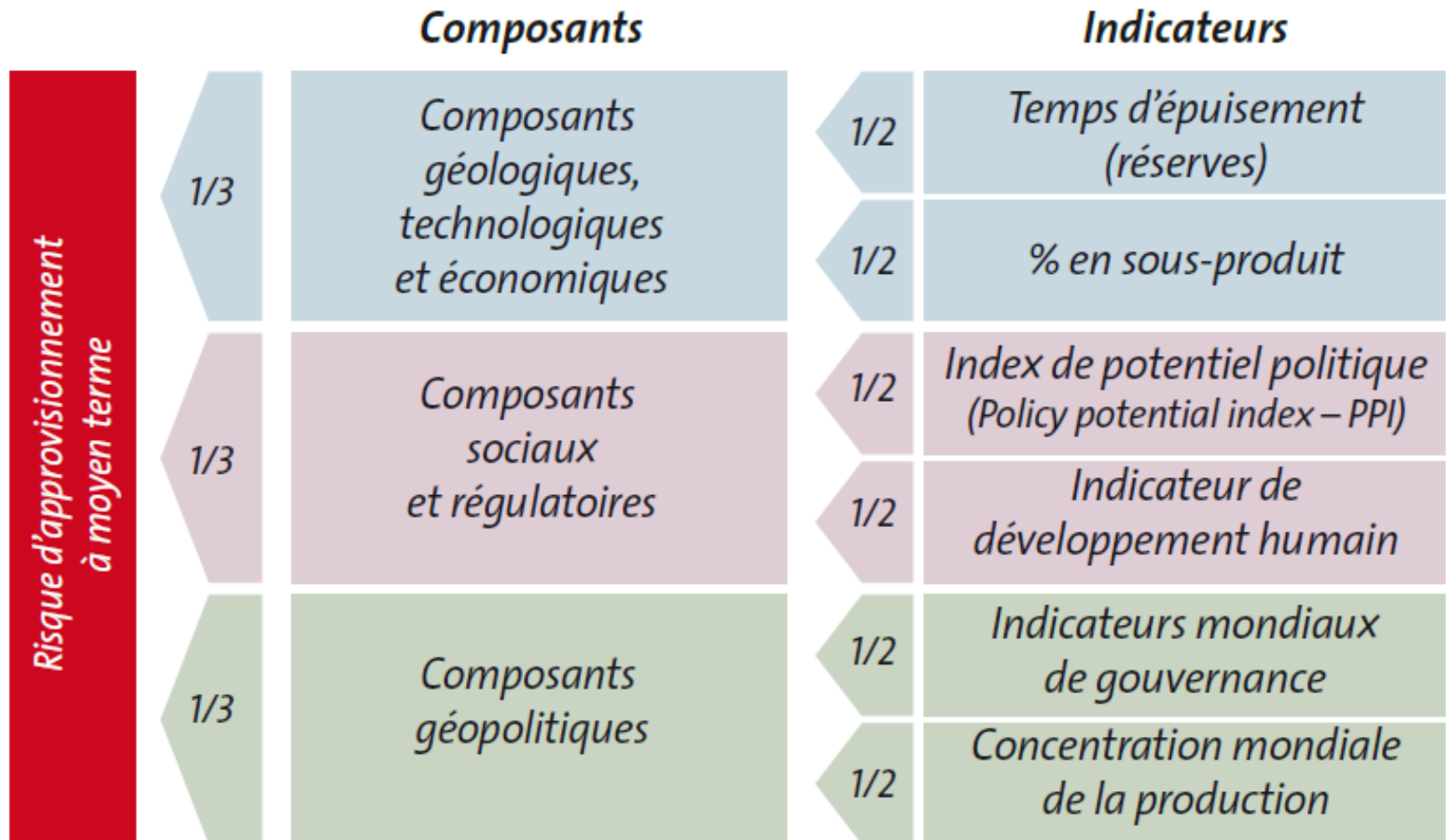


La notion de criticité est **relative** . Elle dépend :

- De la **zone géographique** concernée (Monde, Europe, France...)
- Du **seuil** fixé de façon arbitraire
- De l'année considérée. Elle varie avec le **temps**



# ↳ Le risque d'approvisionnement



Source : ,Gradel & Al 2012

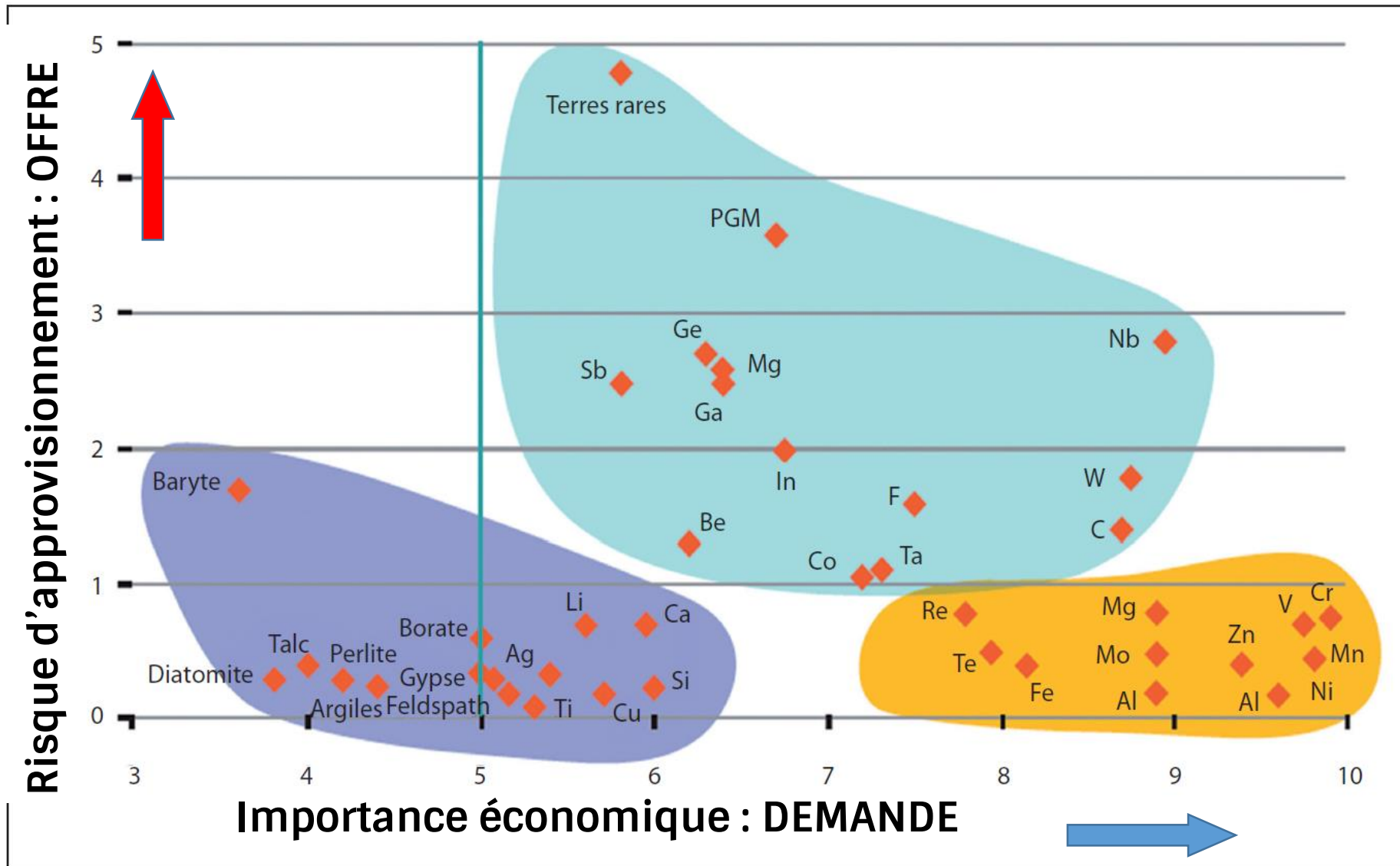
## ↳ L'importance économique



$$EI = \sum_s (A_s * Q_s) * SI_{EI}$$

Importance économique	EI
=	
Pour chaque secteur de biens de consommation	
- Quantité de Biens consommés	Qs
- Proportion de métal dans le bien	As
*	
Index de substitution du métal	SI

# Diagramme de criticité pour l'EU

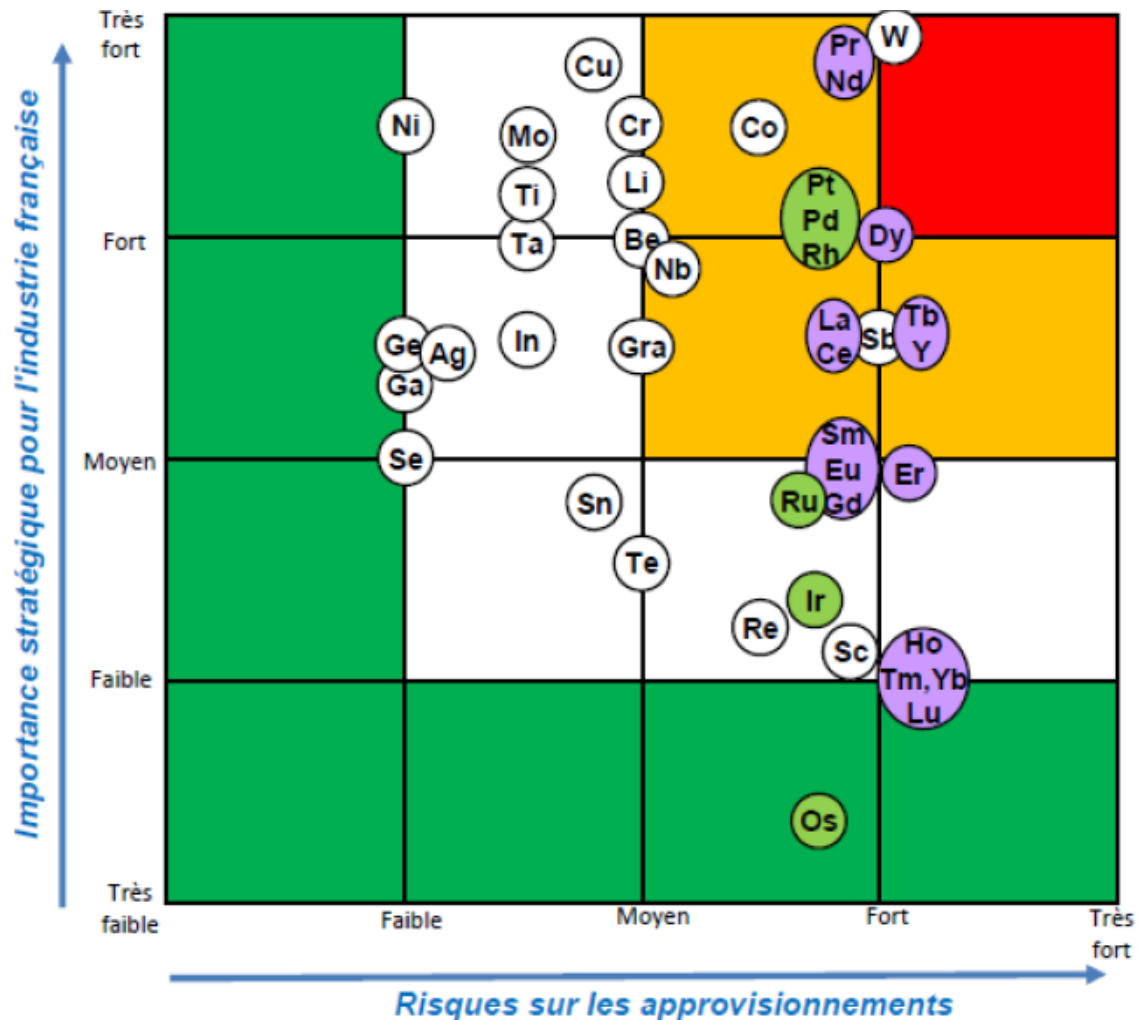




# Diagramme de criticité pour la France



EVALUATION DE LA CRITICITE DES SUBSTANCES OU GROUPES DE SUBSTANCES ETUDIEES PAR LE BRGM DEPUIS 2010  
Positionnements révisés en 2018 (à partir des "Fiches de criticité")

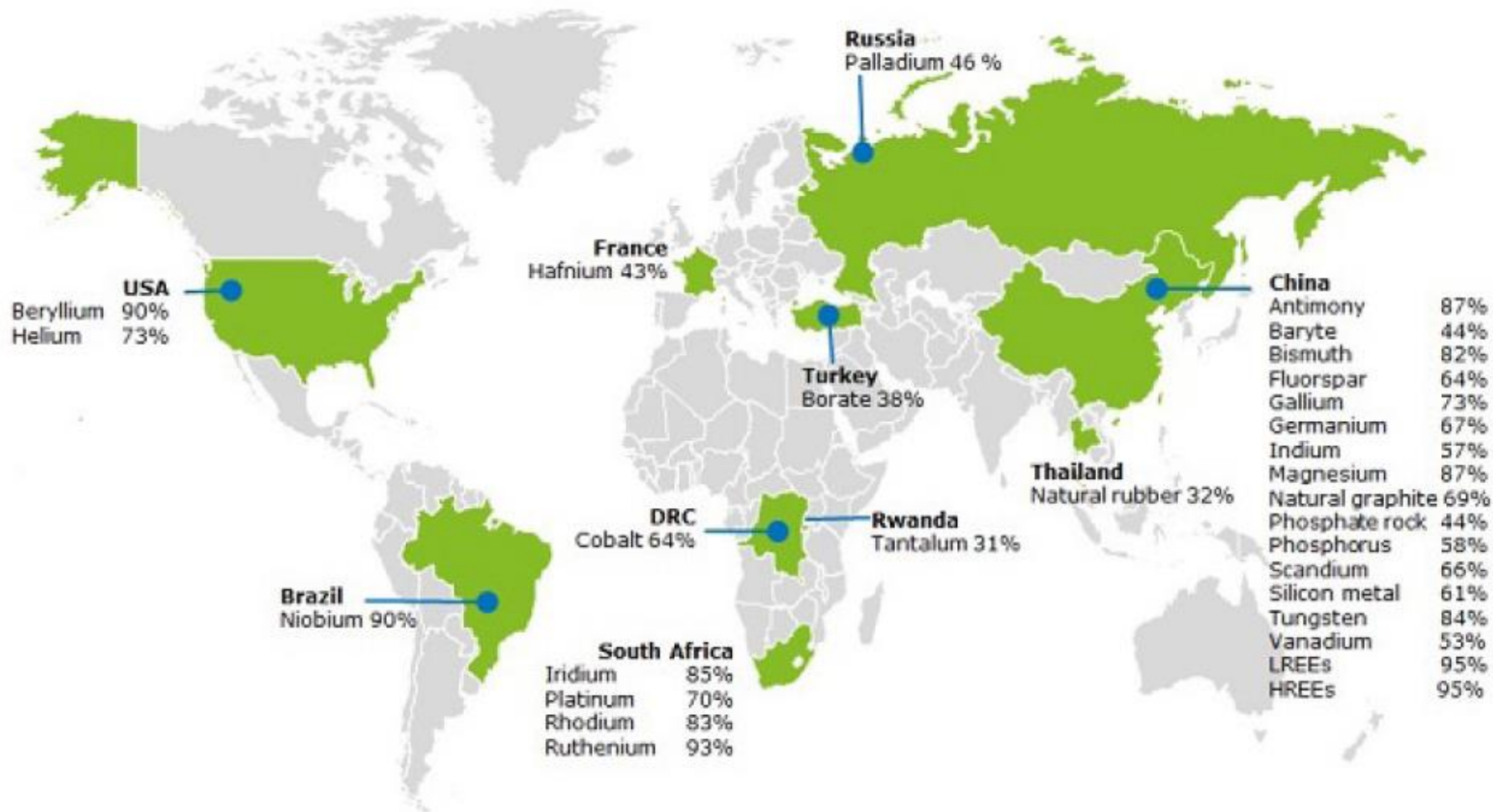


	Très Forte criticité
	Forte criticité
	Criticité moyenne
	Faible criticité
	Platinoïdes
	Terres rares

Source: COMES, BRGM 2019



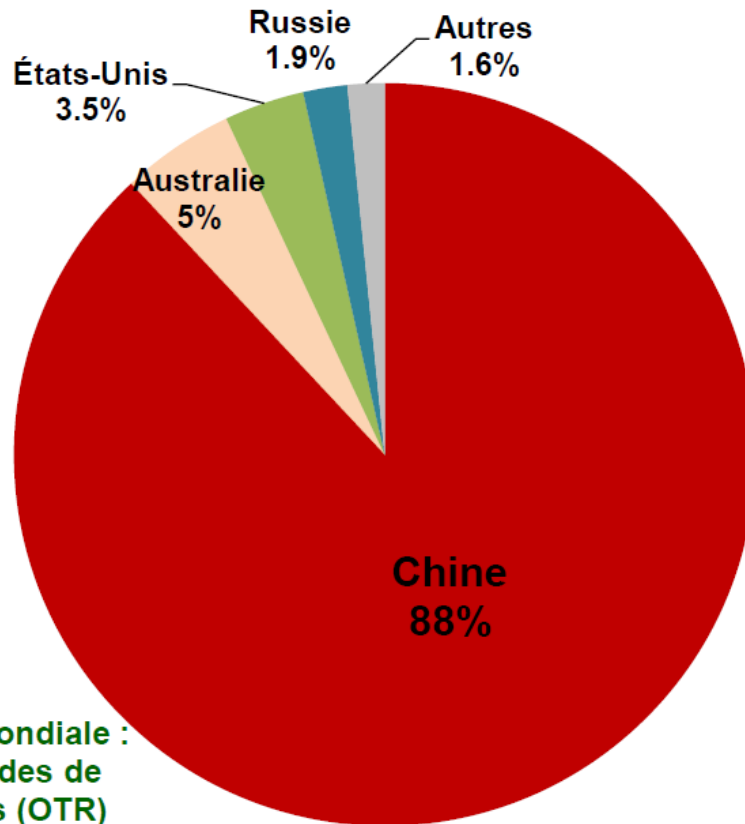
# Répartition de la production de métaux rares



# Terres rares : production et réserves

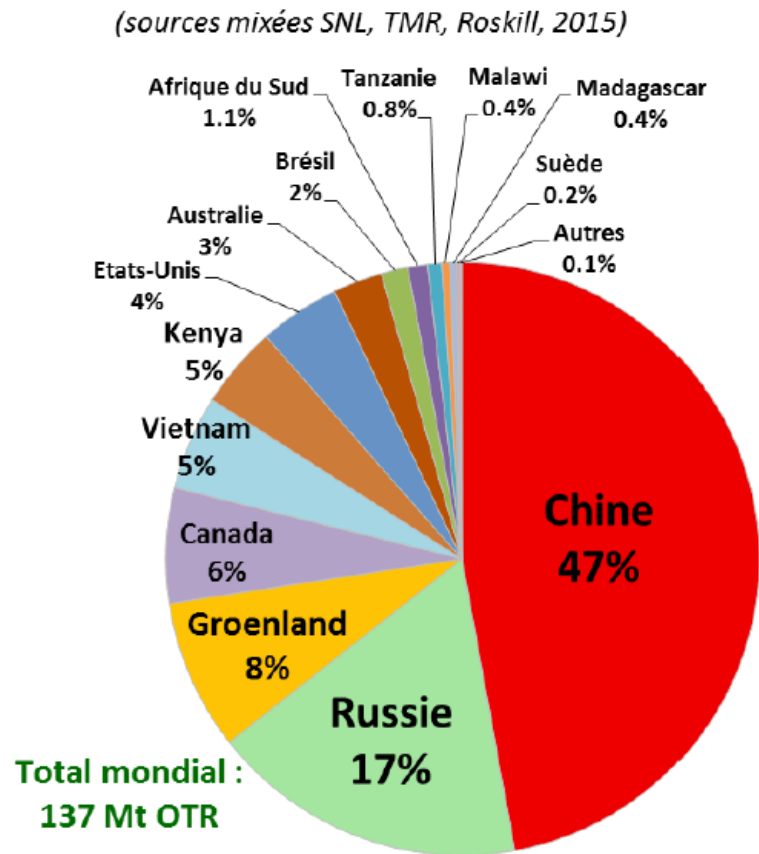


Répartition de la production minière de Terres Rares en 2014 (Source : Roskill, 2015)



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



**1. De quels matériaux parle-t-on ?**

**2. De quels usages parle-t-on ?**

**3. Scénarii pour le futur**

**4. Et la transition énergétique dans tout ça ?**

# ↘ Les grandes catégories d'usage



	MAP	Stockage	Lumino.	Circuits	Réseaux	Aliages	Pot cat	Industrie
BTP								Verre
Energie	Eolien	Electrolyse			Réseaux			Pétrole
Transport	VE	Batteries				Aérou	Auto	Verre
Electricité			Eclairage		Réseaux			
Electronique	DD Speaker	Batteries	LCD	Circuits				
Emballages								Verre
Mécanique	Moteurs					Alliages		
Autres								



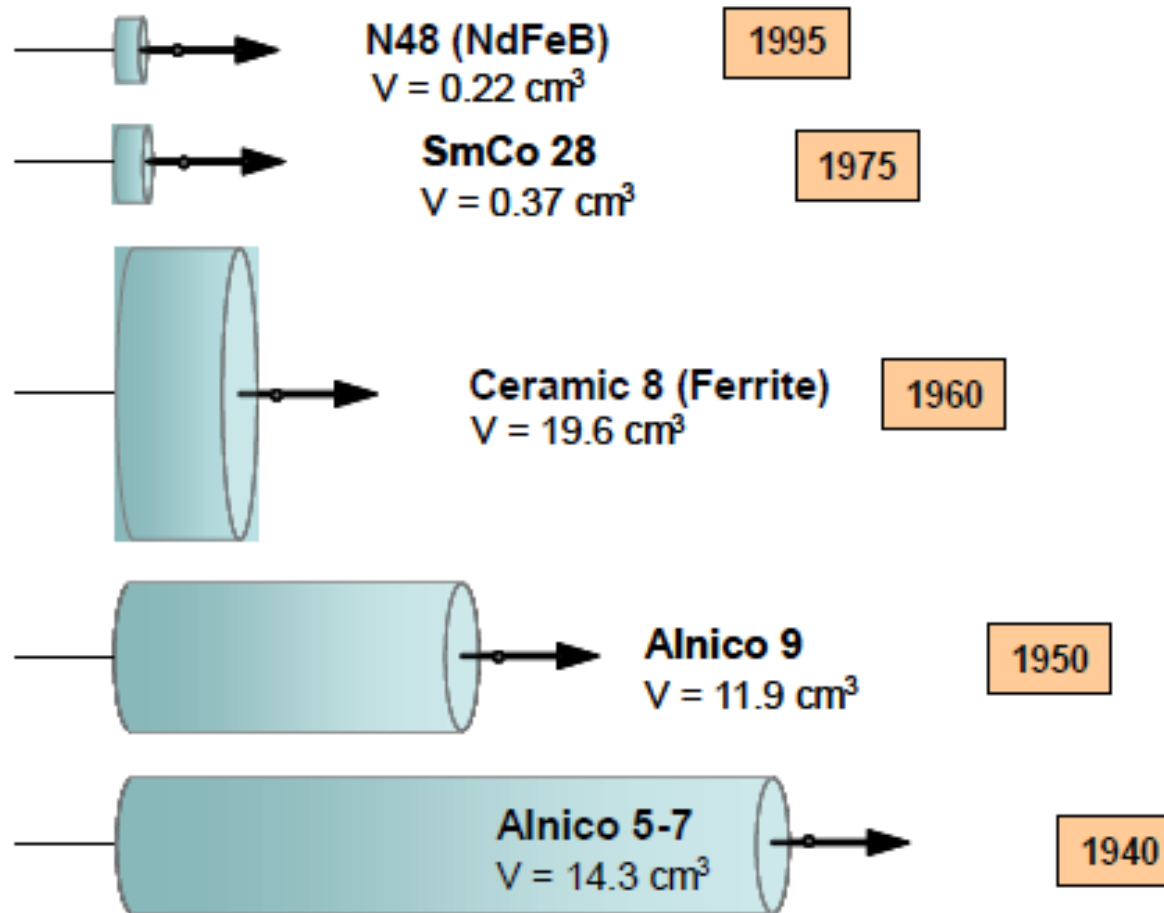
# ↳ Les moteurs à aimants permanents



Alcalins		Metaux		Metalloïdes	Terres rares	
Bérylium	Argent,	Indium	Platine,	Antimoine	Cerium	Praseodyme
Calcium	Aluminium	Iridium,	Plomb	Arsenic	Dyspronium	Prométhium
Lithium	Bismuth	Manganèse,	Rhénium,	Bore	Erbium	Samarium
Magnesium	Cadmium,	Mercure,	Rhodium	Germanium	Europium	Scandium,
Potassium	Chrome,	Molybdène,	Tantale,	Graphite	Gadolinium	Terbium
Sodium	Cobalt,	Nickel,	Titane,	Polonium	Holmium	Thulium
...	Cuivre,	Niobium,	Tungstène,	Silicium	Lanthane	Ytterbium
	Etain	Or,	Vanadium,	Tellure	Lutecium	Yttrium,
	Fer,	Osmium,	Zinc,		Neodyme	
	Gallium	Palladium,	Zirconium,			
	...	...	...			

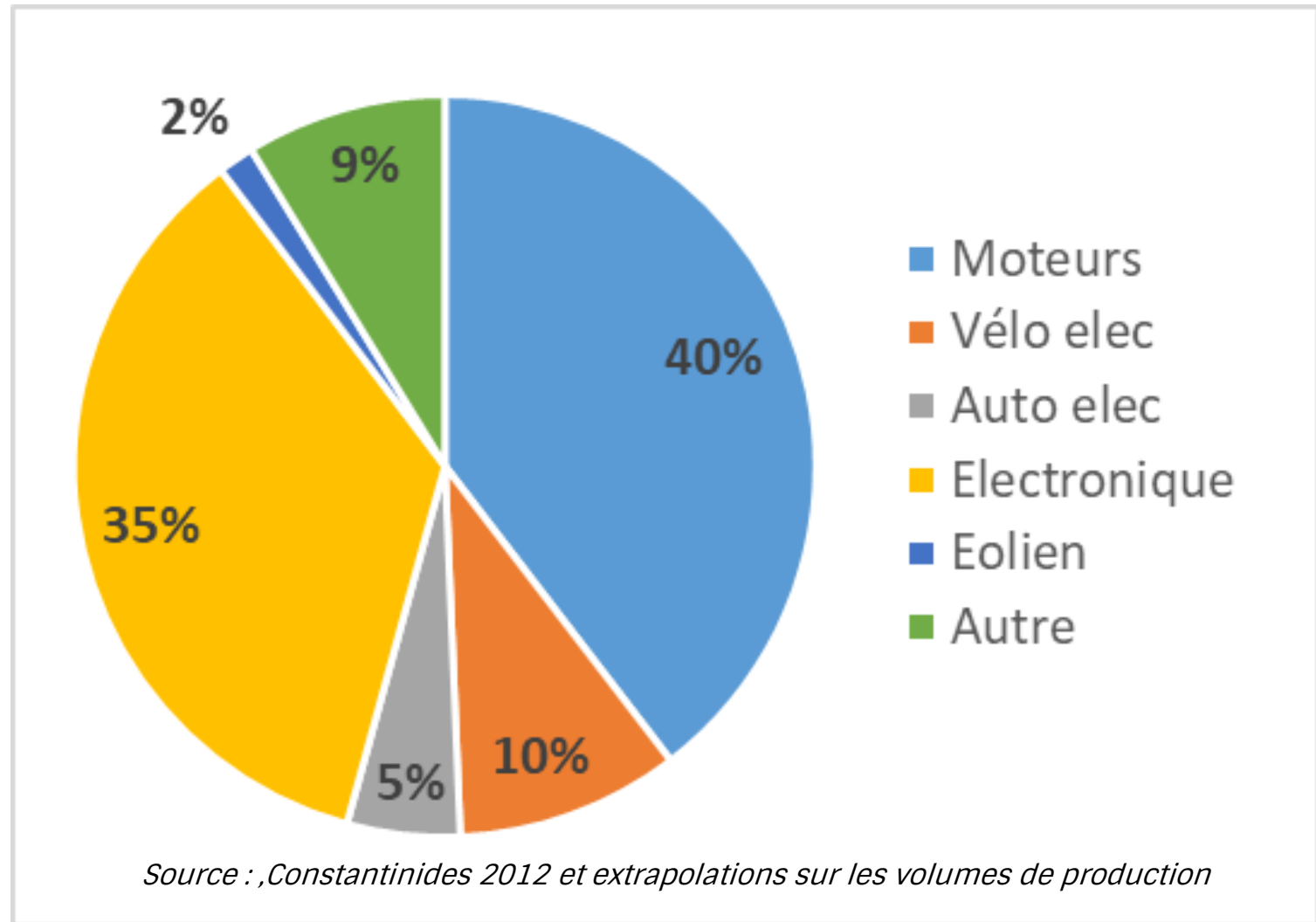
Criticité	Très forte	Forte	Moyenne	Faible
-----------	------------	-------	---------	--------

# ↘ Des moteurs toujours plus petits



Source : BRGM, Panorama des terres rares 2014

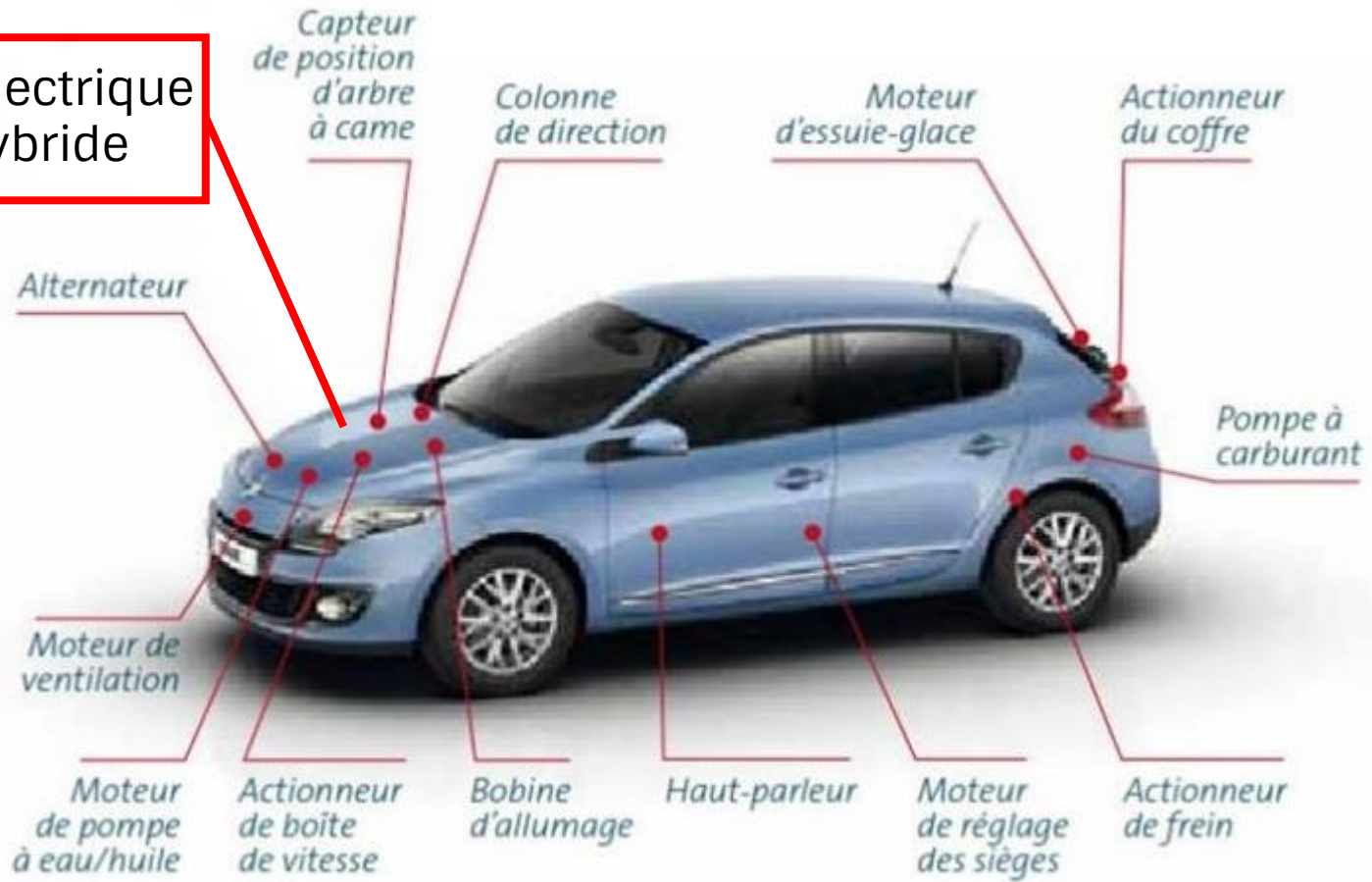
## ↳ Les usages des MAP en 2019



# ↘ Les MAP dans une voiture



Moteur électrique  
VE / Hybride



Source: P. Schulz, in Géosciences n° 15

# ↘ Les batteries

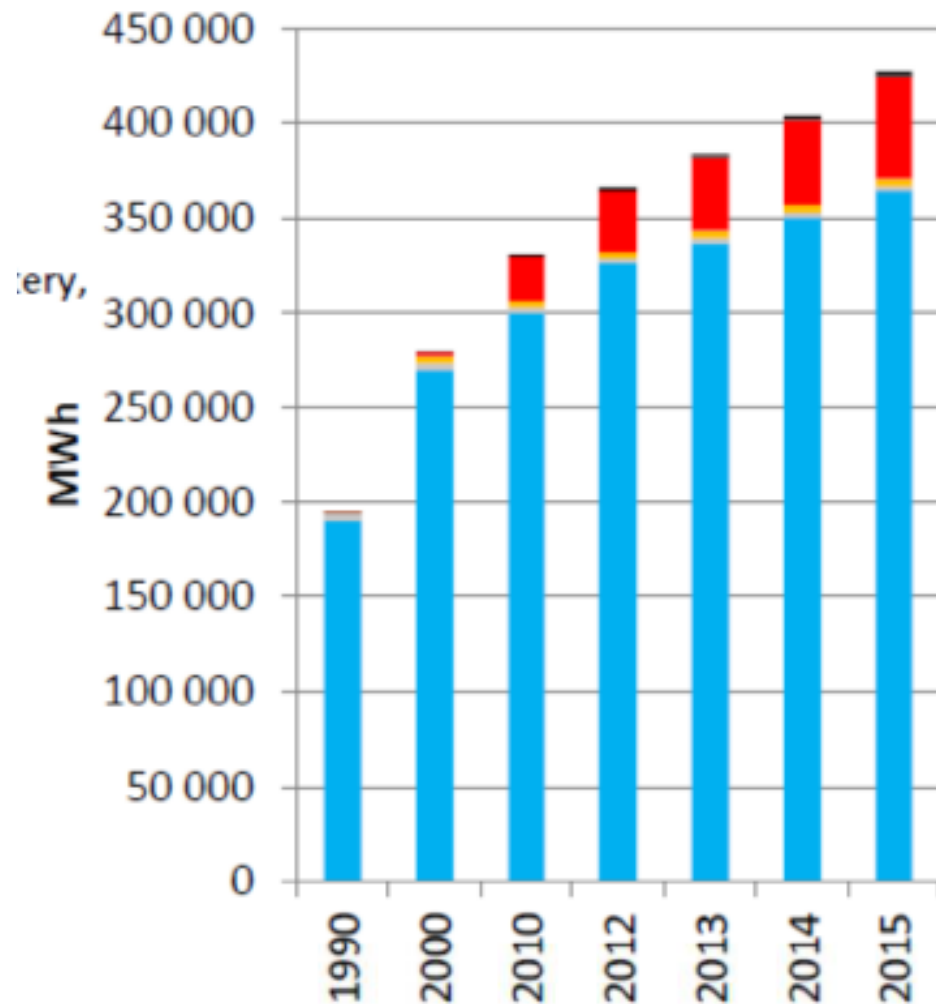


Alcalins	Metaux			Metalloïdes	Terres rares	
Bérylium	Argent,	<b>Indium</b>	Platine,	Antimoine	<b>Cerium</b>	Praseodyme
Calcium	<b>Aluminium</b>	Iridium,	<b>Plomb</b>	Arsenic	<b>Dyspronium</b>	Prométhium
<b>Lithium</b>	Bismuth	<b>Manganèse,</b>	Rhénium,	Bore	Erbium	Samarium
Magnesium	<b>Cadmium,</b>	Mercure,	<b>Rhodium</b>	Germanium	Europium	<b>Scandium,</b>
Potassium	<b>Chrome,</b>	Molybdène,	Tantale,	<b>Graphite</b>	Gadolinium	<b>Terbium</b>
Sodium	<b>Cobalt,</b>	<b>Nickel,</b>	Titane,	Polonium	Holmium	Thylium
....	<b>Cuivre,</b>	<b>Niobium,</b>	<b>Tungstène,</b>	Sillicium	<b>Lanthane</b>	Ytterbium
	Etain	Or,	Vanadium,	Tellure	Lutecium	<b>Yttrium,</b>
	<b>Fer,</b>	Osmium,	Zinc,		<b>Neodyme</b>	
	Gallium	<b>Palladium,</b>	Zirconium,			
	...	...	...			

# ↘ Typologie des batteries



- **Autres**
- **Lithium-ion** + cobalt
- **Nickel-MH** + Lanthane + Cerium
- Nickel-Cadmium
- **Plomb** + Antimoine



# ↘ Les luminophores



Alcalins	Metaux			Metalloïdes	Terres rares	
Bérylium	Argent,	<b>Indium</b>	Platine,	Antimoine	Cerium	Praseodyme
Calcium	<b>Aluminium</b>	Iridium,	Plomb	Arsenic	<b>Dyspronium</b>	Prométhium
Lithium	Bismuth	Manganèse,	Rhénium,	Bore	Erbium	Samarium
Magnesium	Cadmium,	Mercure,	<b>Rhodium</b>	Germanium	<b>Europium</b>	<b>Scandium,</b>
Potassium	<b>Chrome,</b>	Molybdène,	Tantale,	<b>Graphite</b>	Gadolinium	<b>Terbium</b>
Sodium	<b>Cobalt,</b>	Nickel,	Titane,	Polonium	Holmium	Thylium
...	<b>Cuivre,</b>	<b>Niobium,</b>	<b>Tungstène,</b>	Sillicium	<b>Lanthane</b>	Ytterbium
	Etain	Or,	Vanadium,	Tellure	Lutecium	<b>Yttrium,</b>
	Fer,	Osmium,	Zinc,		<b>Neodyme</b>	
	<b>Gallium</b>	<b>Palladium,</b>	Zirconium,			
	...	...	...			

<b>Criticité</b>	<b>Très forte</b>	<b>Forte</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>
------------------	-------------------	--------------	----------------	---------------

Projet ORCA : "Éclairage à base de LED au moyen de matériau de conversion organique appauvri en terres rares" mené par l'Université de Sarre et OSRAM GmbH, OSRAM Opto Semiconductors GmbH et BASF SE.

# ↘ Les luminophores





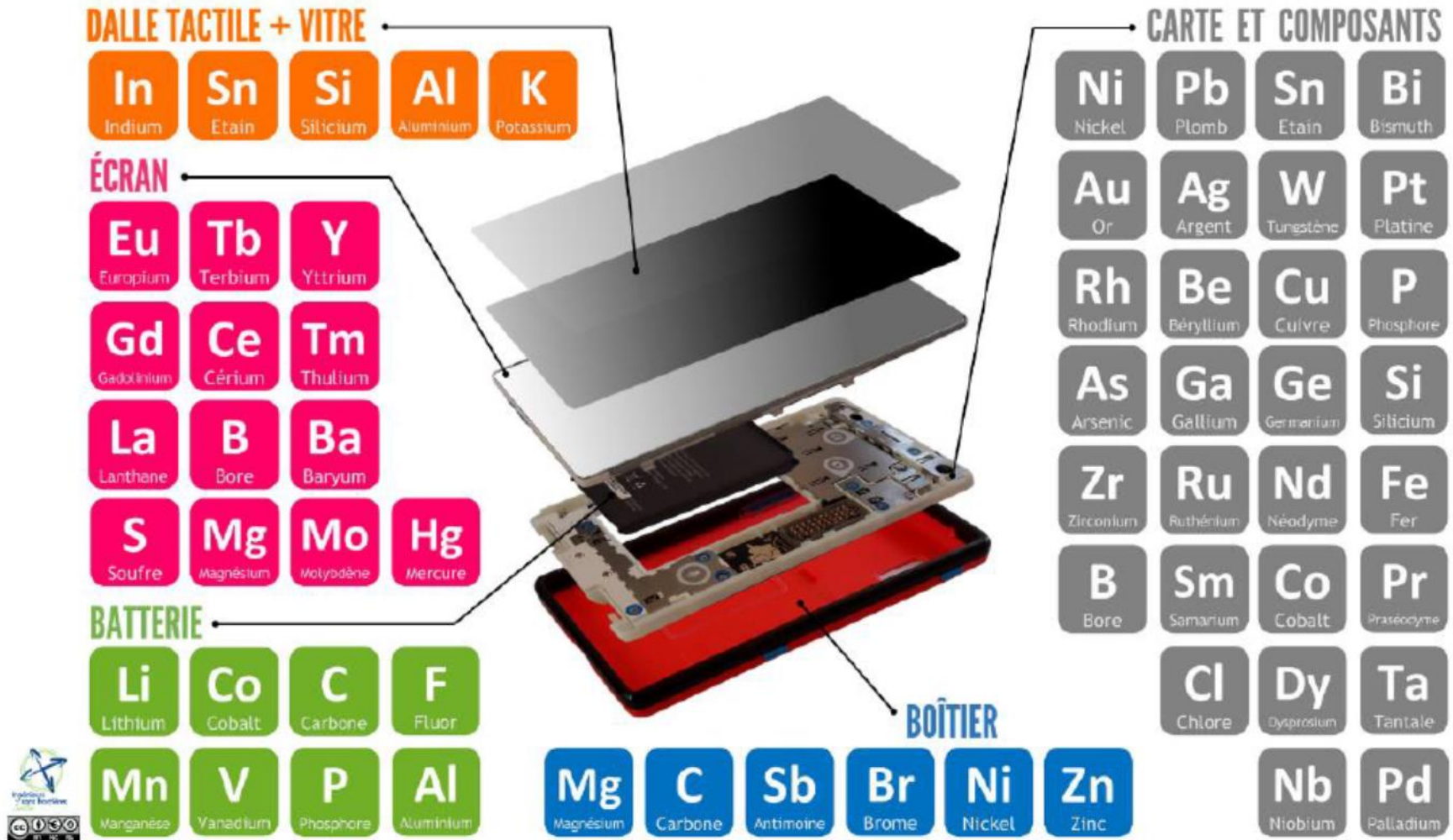
# ↳ L'électronique et le numérique



Alcalins	Metaux			Metalloïdes	Terres rares	
<b>Bérylium</b>	<b>Argent,</b>	<b>Indium</b>	<b>Platine,</b>	<b>Antimoine</b>	<b>Cerium</b>	<b>Praseodyme</b>
Calcium	Aluminium	Iridium,	Plomb	<b>Arsenic</b>	<b>Dyspronium</b>	Prométhium
<b>Lithium</b>	<b>Bismuth</b>	<b>Manganèse,</b>	Rhénium,	<b>Bore</b>	Erbium	Samarium
Magnesium	Cadmium,	Mercure,	<b>Rhodium</b>	<b>Germanium</b>	<b>Europium</b>	<b>Scandium,</b>
Potassium	<b>Chrome,</b>	Molybdène,	<b>Tantale,</b>	<b>Graphite</b>	Gadolinium	<b>Terbium</b>
Sodium	<b>Cobalt,</b>	Nickel,	Titane,	Polonium	Holmium	Thulium
...	<b>Cuivre,</b>	<b>Niobium,</b>	<b>Tungstène,</b>	<b>Silicium</b>	<b>Lanthane</b>	Ytterbium
	<b>Etain</b>	<b>Or,</b>	Vanadium,	<b>Tellure</b>	Lutecium	<b>Yttrium,</b>
	<b>Fer,</b>	Osmium,	<b>Zinc,</b>		<b>Neodyme</b>	
	<b>Gallium</b>	<b>Palladium,</b>	<b>Zirconium,</b>			
	...	...	...			

<b>Criticité</b>	<b>Très forte</b>	<b>Forte</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>
------------------	-------------------	--------------	----------------	---------------

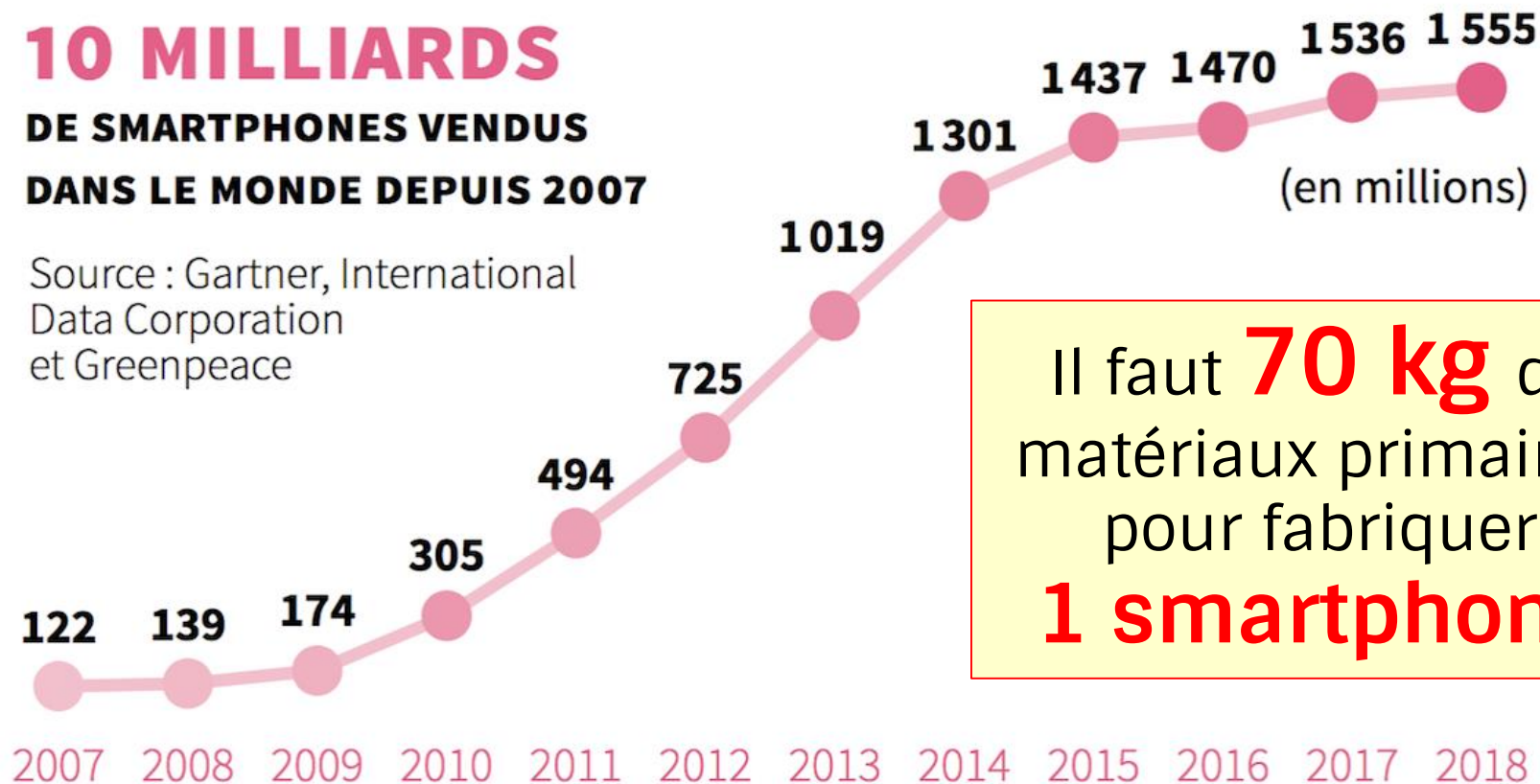
# Exemple : le smartphone



Source : Ingénieurs sans frontières SystExt 2017

## 10 MILLIARDS DE SMARTPHONES VENDUS DANS LE MONDE DEPUIS 2007

Source : Gartner, International  
Data Corporation  
et Greenpeace



Il faut **70 kg** de  
matériaux primaires  
pour fabriquer  
**1 smartphone**

Source : ADEME Impacts du smartphone 2019

# ↘ Le photovoltaïque au silicium



Alcalins		Metaux		Metalloïdes	Terres rares	
Bérylium	<b>Argent,</b>	Indium	Platine,	Antimoine	Cerium	Praseodyme
Calcium	<b>Aluminium</b>	Iridium,	Plomb	Arsenic	Dyspronium	Prométhium
Lithium	Bismuth	Manganèse,	Rhénium,	<b>Bore</b>	Erbium	Samarium
Magnesium	Cadmium,	Mercure,	Rhodium	Germanium	Europium	Scandium,
Potassium	<b>Chrome,</b>	Molybdène,	Tantale,	Graphite	Gadolinium	Terbium
Sodium	<b>Cobalt,</b>	Nickel,	Titane,	Polonium	Holmium	Thylium
....	<b>Cuivre,</b>	Niobium,	<b>Tungstène,</b>	<b>Silicium</b>	Lanthane	Ytterbium
	Etain	Or,	Vanadium,	Tellure	Lutecium	Yttrium,
	<b>Fer,</b>	Osmium,	Zinc,		Neodyme	
	Gallium	<b>Palladium,</b>	Zirconium,			
	...	...	...			

Criticité	<b>Très forte</b>	<b>Forte</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>
-----------	-------------------	--------------	----------------	---------------

D'autres procédés existent : couches minces au TeCd et AsGa  
 Ces procédés plus efficaces et plus coûteux ne représentent aujourd'hui moins de 10% du marché



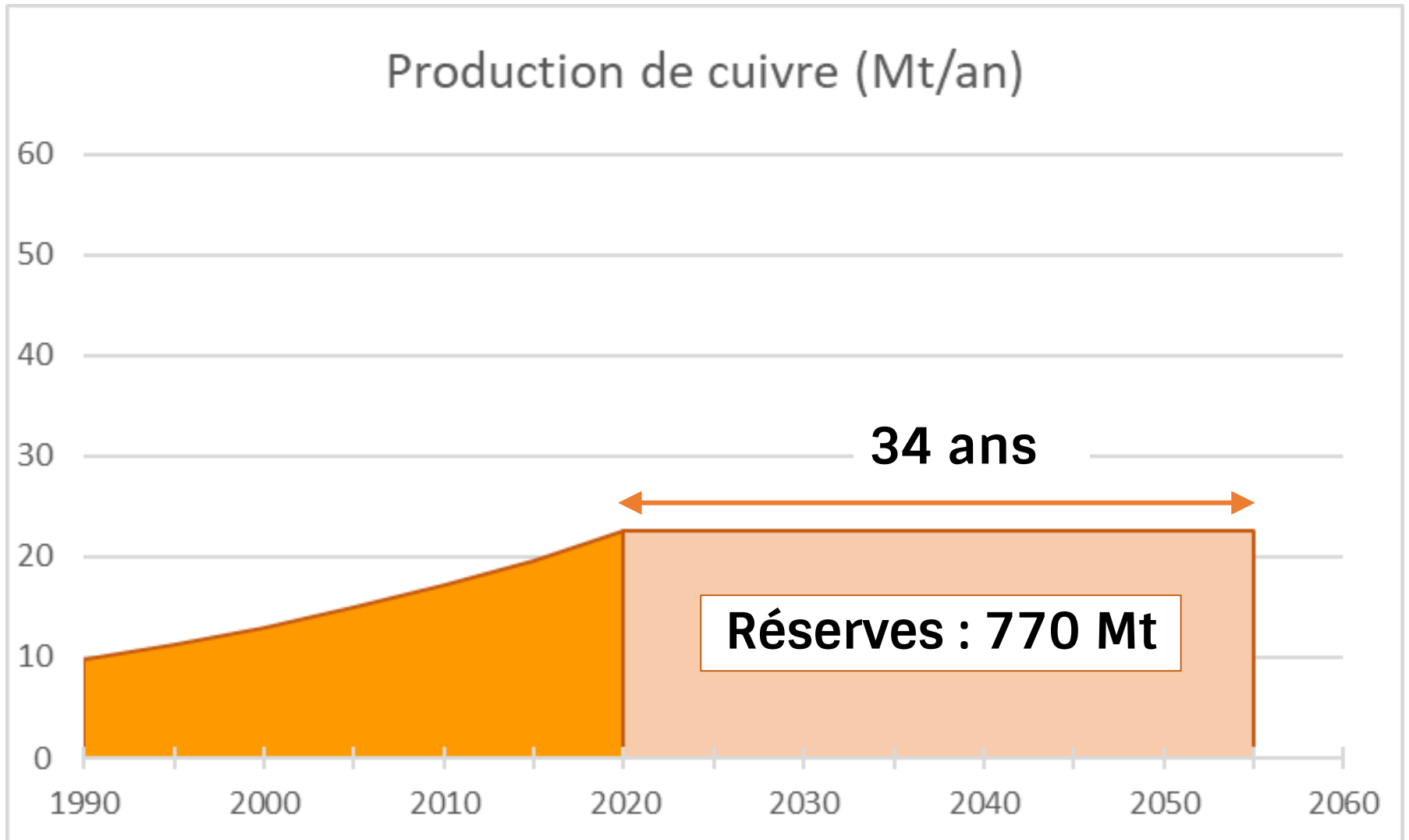
**1. De quels matériaux parle-t-on ?**

**2. De quels usages parle-t-on ?**

**3. Scénarii pour le futur**

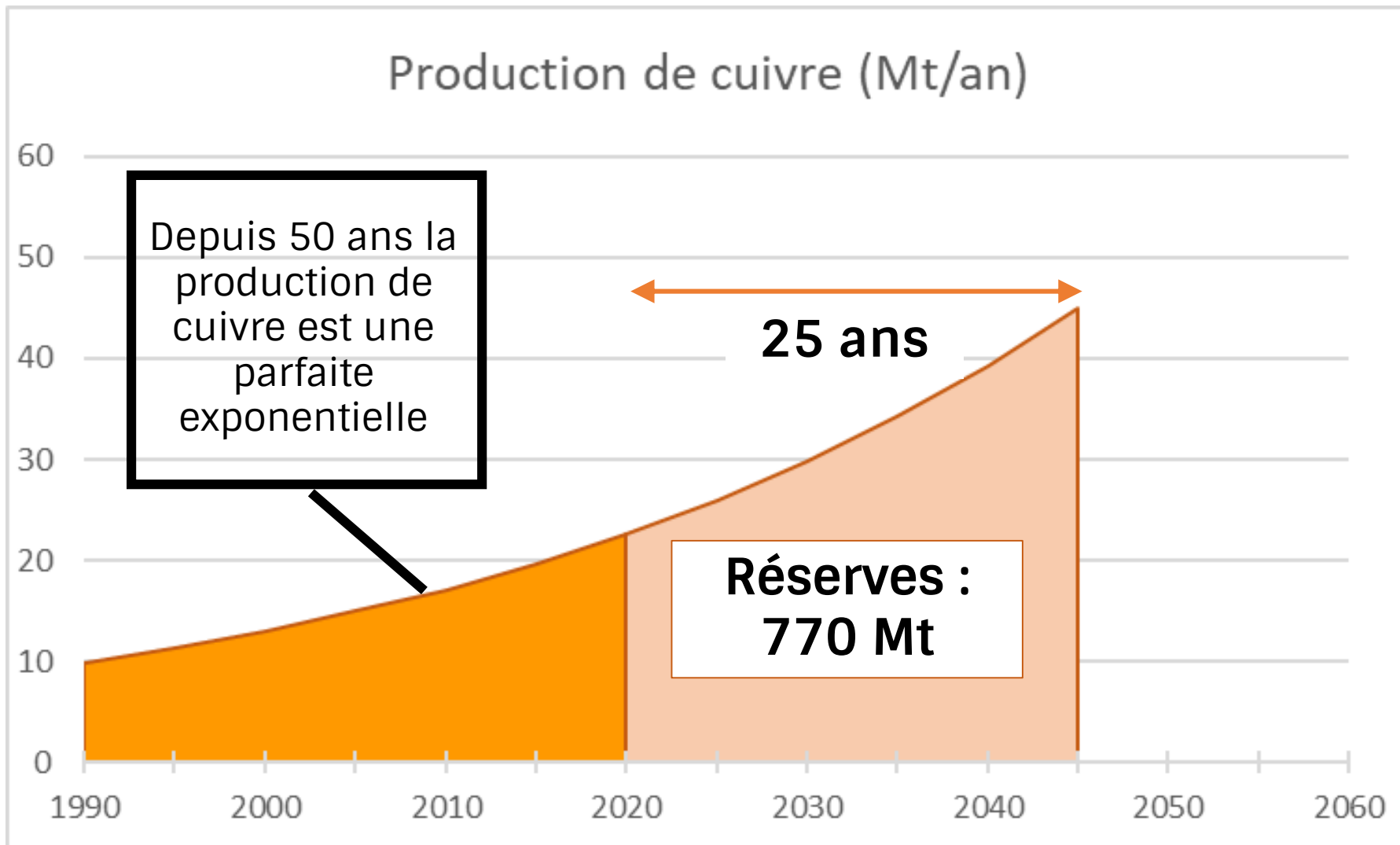
**4. Et la transition énergétique dans tout ça ?**

# Combien de temps reste-t-il ? R / P à l'année n

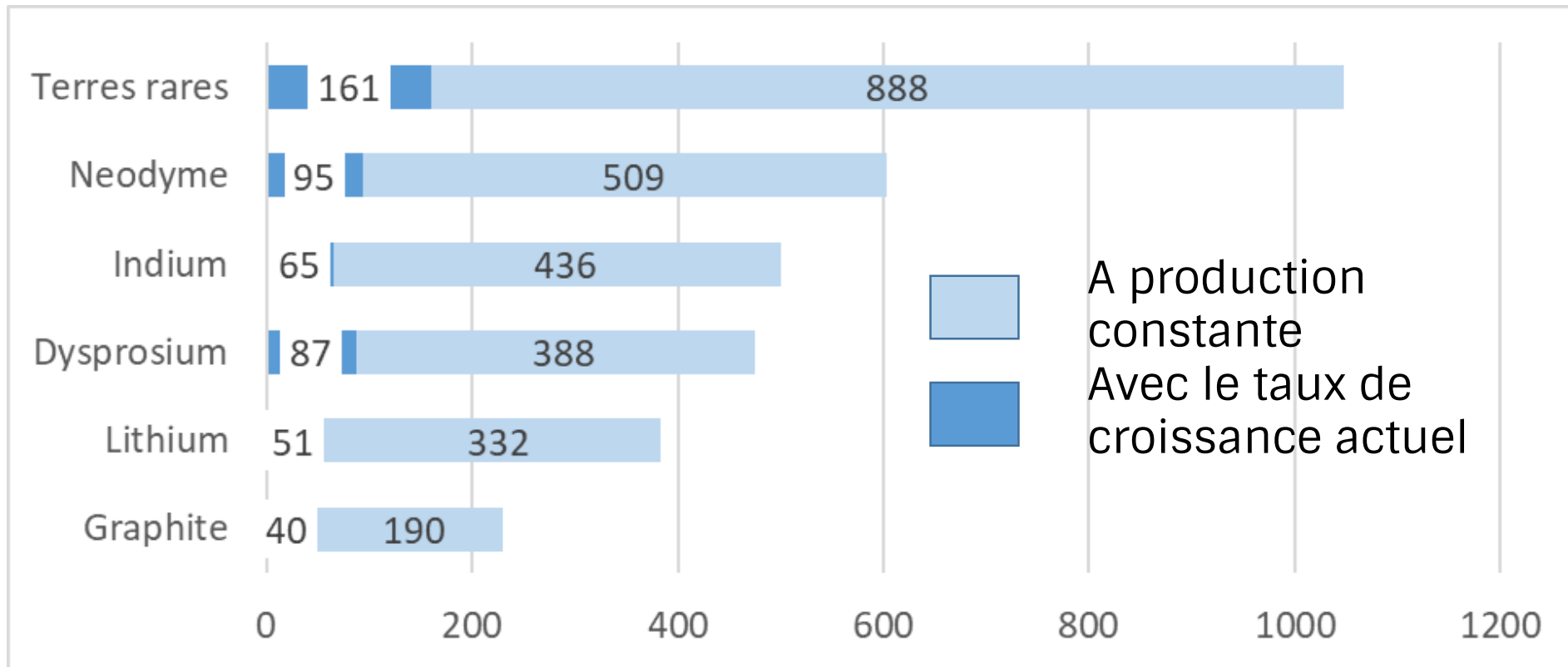




# Combien de temps reste-t-il ? Business as Usual

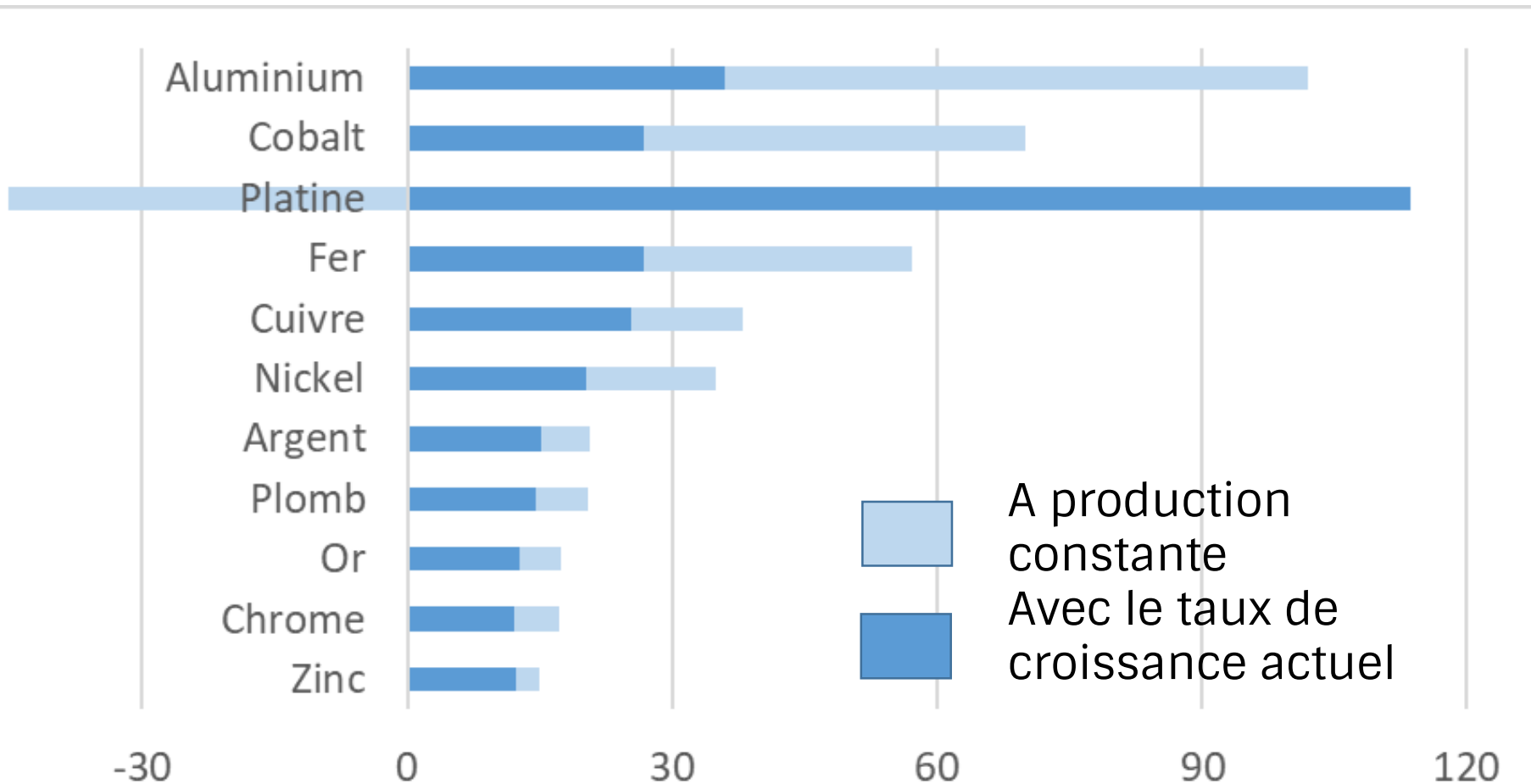


# ↘ Combien de temps reste-t-il ?





# ↘ Combien de temps reste-t-il ?



# ↳ Usages et durée des usages



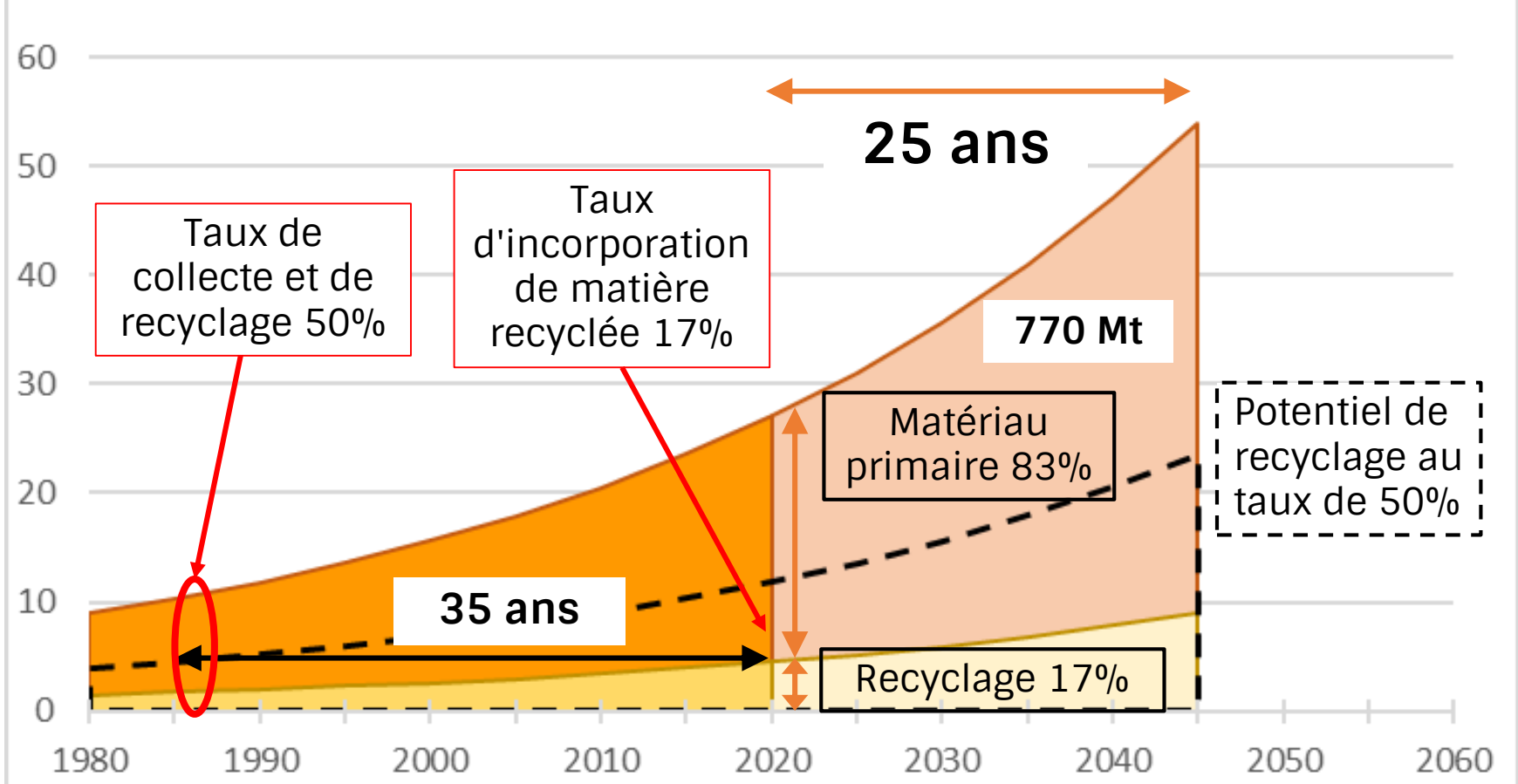
**Principaux secteurs d'usages du cuivre, avec durée moyenne de résidence du cuivre pour ces usages. D'après Graedel et al., 2010**

Catégorie	Usages	Part d'utilisation	Durée d'immobilisation
Construction, bâtiments	Fils électriques, "plomberie"	50%	25 - 40 ans
Infrastructures	Câbles électriques pour production et transport d'énergie et télécommunications	22%	50 ans
Transport	Équipement automobile, ferroviaires, constructions navale et aéronautique	5%	10 - 30 ans
Équipements grand public	Électroménager, appareils électriques et électroniques, éclairage	5%	10 ans
Équipements secteur tertiaire	Électronique et informatique, éclairage	10%	20 ans
Équipements industriels	Machines, éclairage	8%	20 ans
Produits chimiques		<1%	1 an <sup>-</sup>
Total		100%	
Moyenne pondérée			35 ans

# ↳ Taux de recyclage et d'incorporation



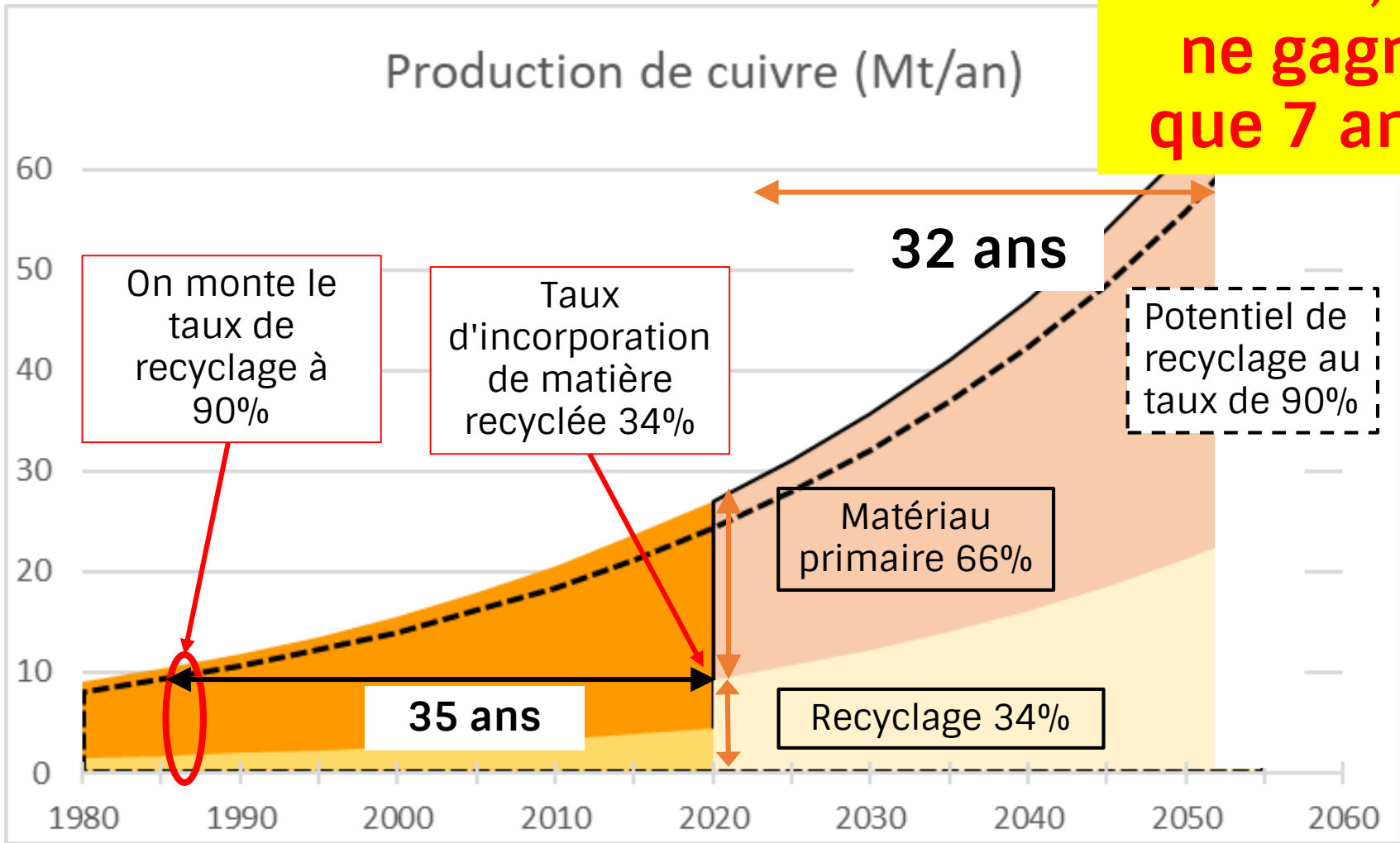
Production de cuivre (Mt/an)



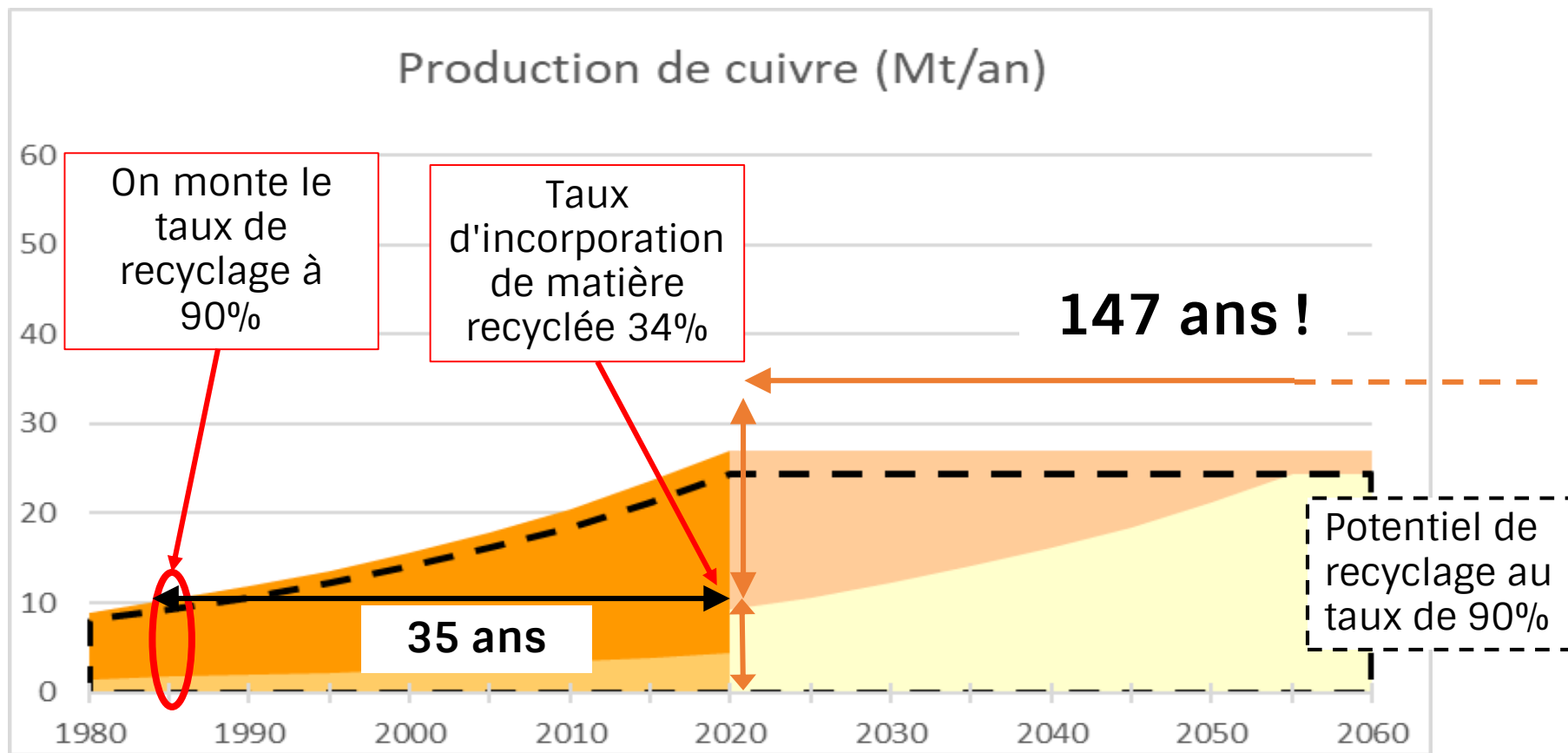
# Et si on améliore le recyclage ?



**En BAU, on ne gagne que 7 ans !**



# Si on stabilise la conso, alors oui, le recyclage vaut le coup !





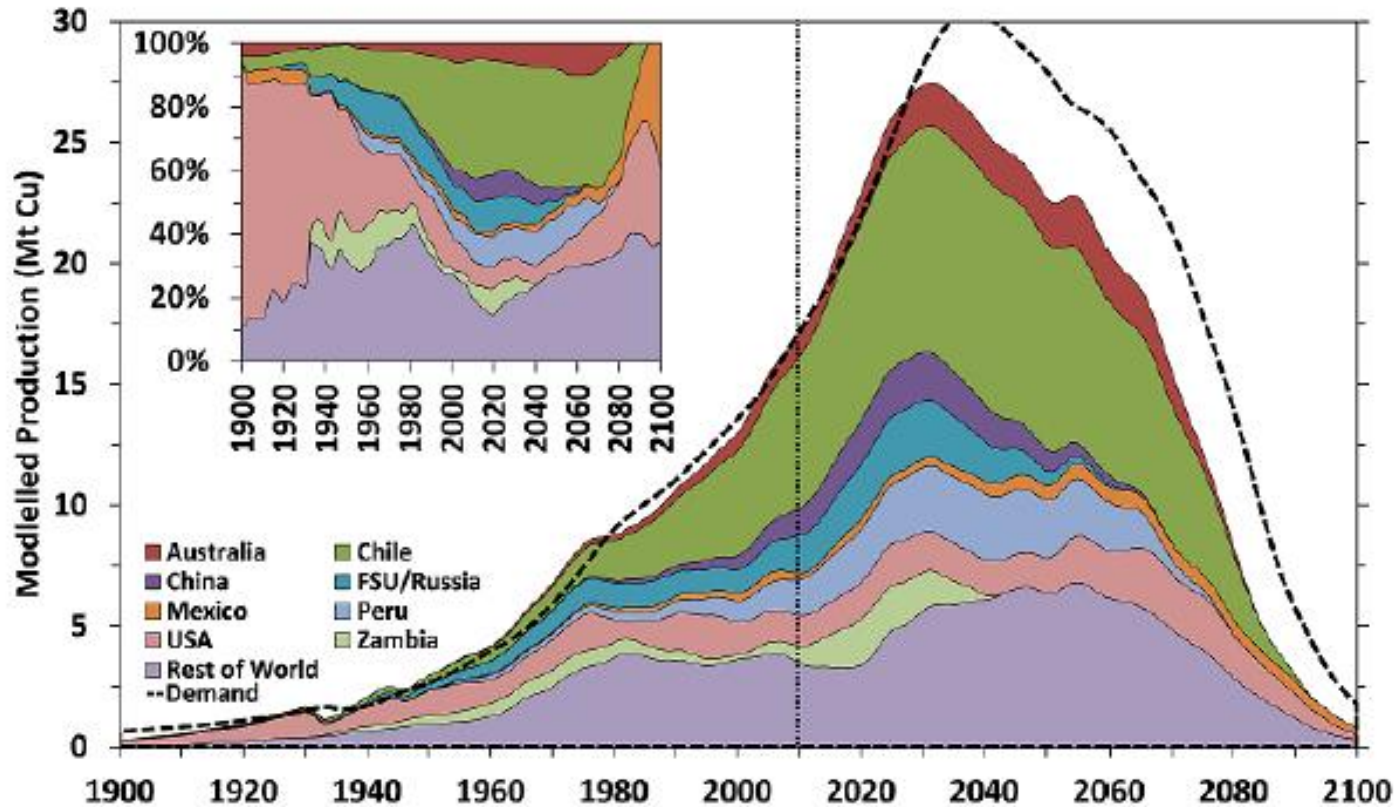
# Comment disposer de matériaux dans le futur ?



- R** éduire
- R** éutiliser
- R** éparer
- R** ecycler



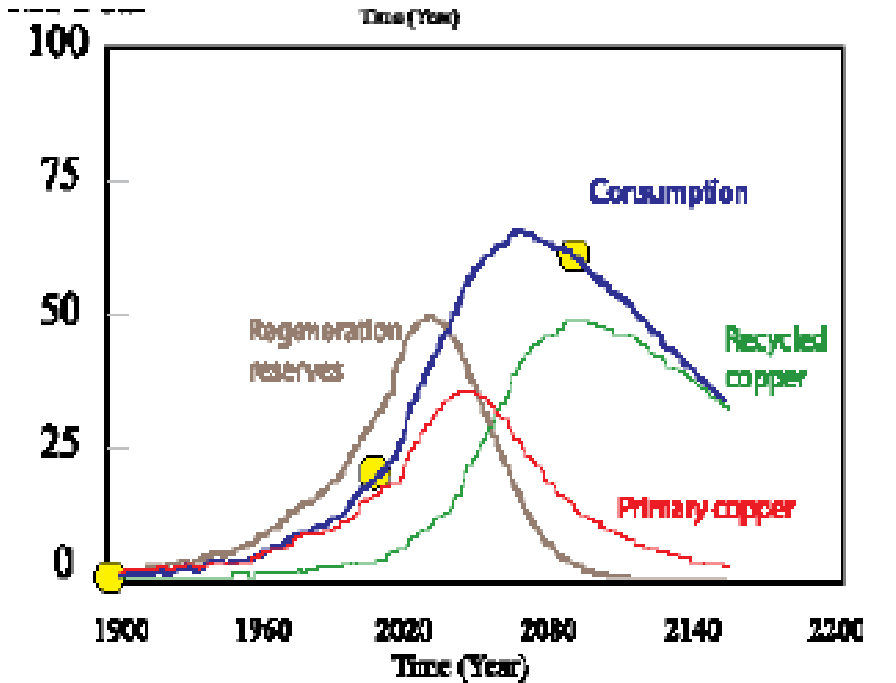
# ↘ Le pic de Hubert pour le cuivre



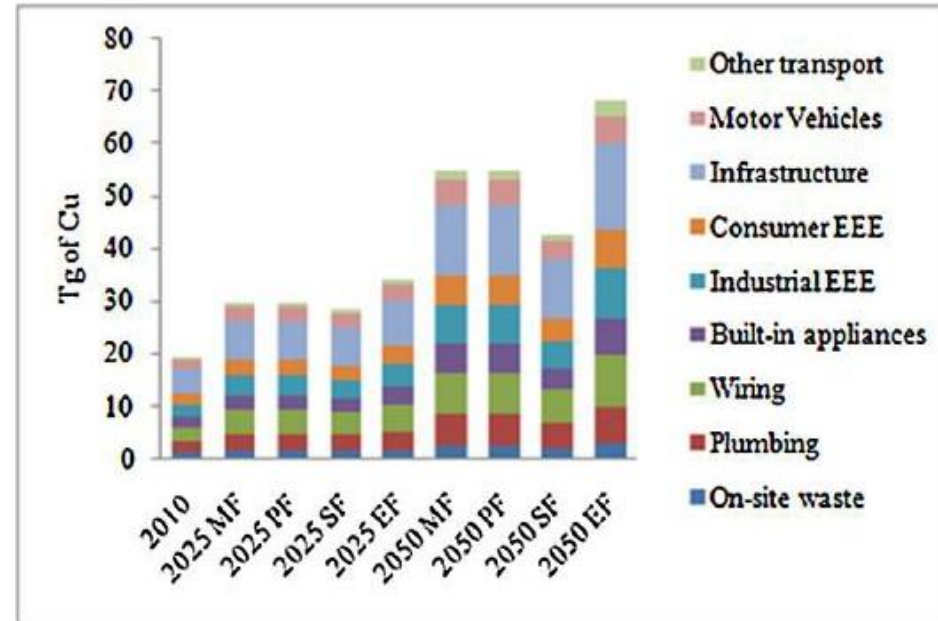
- Simulation de la production par pays et régions par le modèle GeRS-DeMo (Northey, et al., 2014)



# Scénarii dynamiques



Source : Olivier VIDAL - CNRS  
Programme SURFER  
CNRS /BRGM / ADEME



Source :  
Ayman ELSHKAKI, 2016  
Scénarii GEO-4 pour le cuivre





**1. De quels matériaux parle-t-on ?**

**2. De quels usages parle-t-on ?**

**3. Scénarii pour le futur**

**4. Et la transition énergétique dans tout ça ?**



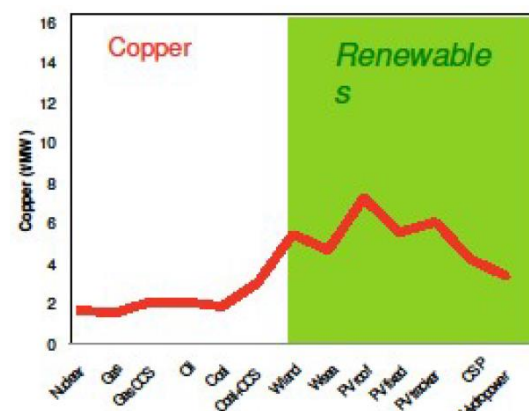
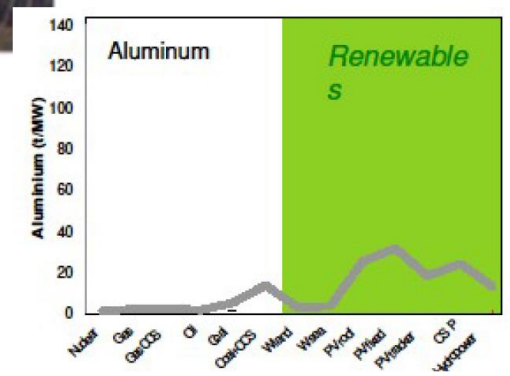
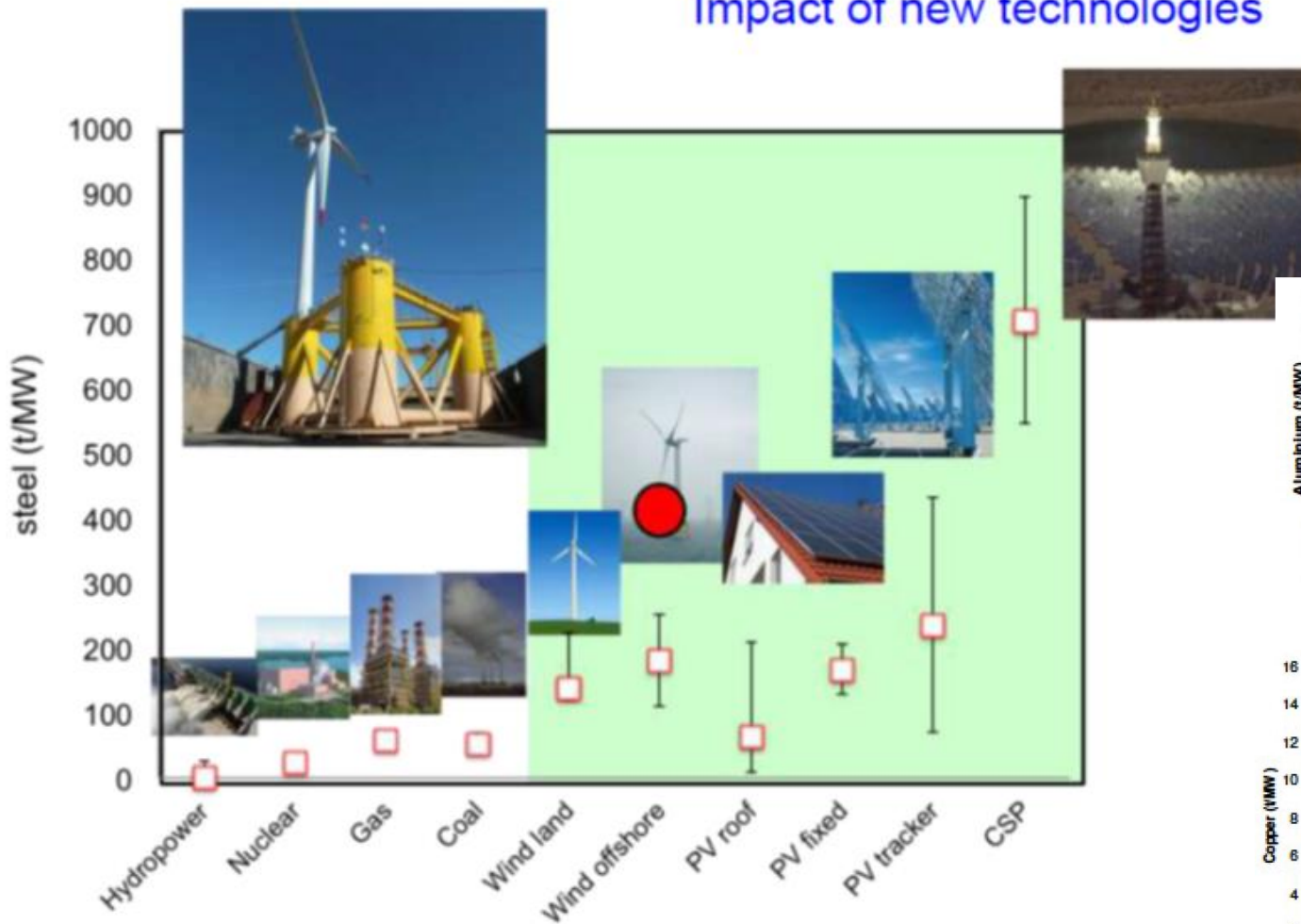
# La production d'énergie



# Les énergies renouvelables consomment plus de matériaux courants



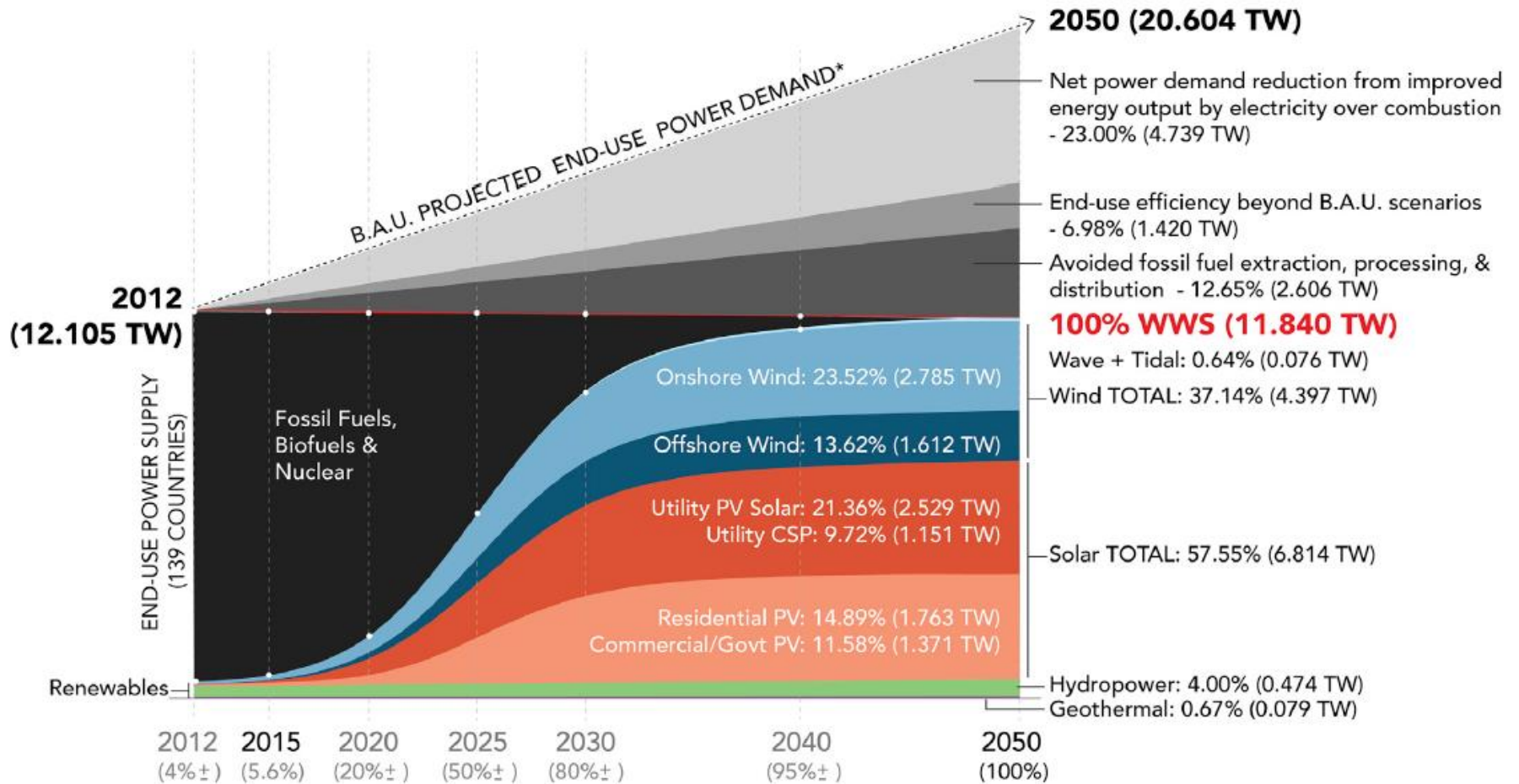
## Impact of new technologies



Source : Olivier VIDAL CNRS 2015



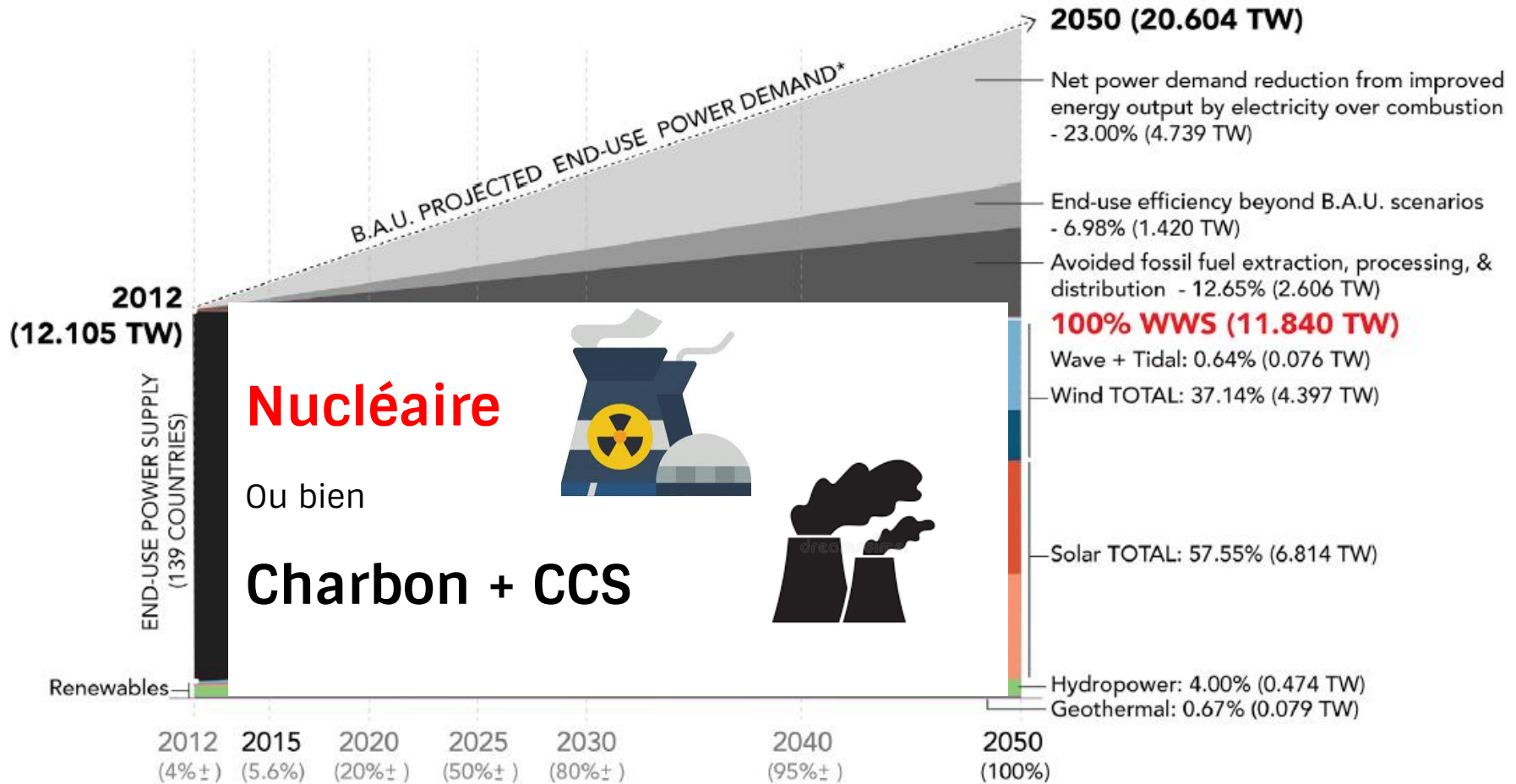
# Scénario mondial Stanford 100% ER électriques



Stanford University Joule 100% clean WWS Energy for 139 countries 2019



# Mais si on ne fait pas ce scénario, qu'est ce qu'on fait ?





# Comparatif



	100 % ER Standford			100 % Nucléaire charbon CCS		
	Mt	% Conso totale	% Reserves	Mt	% Conso totale	% Reserves
Acier	1 321	<b>2%</b>	<b>2%</b>	120	<b>0,2%</b>	<b>0,1%</b>
Béton	1 100	<b>1%</b>		448	<b>0,3%</b>	
Alu	457	<b>24%</b>	<b>8%</b>	6	<b>0,3%</b>	<b>0,1%</b>
Cuivre	45	<b>6%</b>	<b>6%</b>	0	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>

**Les ER consomment plus de matériaux que les sources conventionnelles mais la différence est peu impactante Au regard de la consommation totale**

En France : le scénario négaWatt

		ER nW	Conso TOT	% ER nW
Acier	Mt	19	356	<b>5%</b>
Béton	Mt	19	2 327	<b>1%</b>
Alu	Mt	4	27	<b>15%</b>
Cuivre	Mt	1	8	<b>8%</b>

## ↘ Et les métaux rares ?



		ER Standford	Conso TOT	% Conso TOT	Réserve	% Réserve
Argent	kt	68	960	<b>7%</b>	571	<b>12%</b>
Néodyme	kt	250	750	<b>33%</b>	10 000	<b>3%</b>
Dysprosium	kt	8	30	<b>27%</b>	700	<b>1%</b>
Praesodyme	kt	44	150	<b>29%</b>		

### **Pour le PV :**

Baisse de l'argent de 75 g à 9 g / kWc en 20 ans  
Bientôt remplacé par le cuivre

**Pas de terres rares pour la filière silicium**

### **Pour l'éolien :**

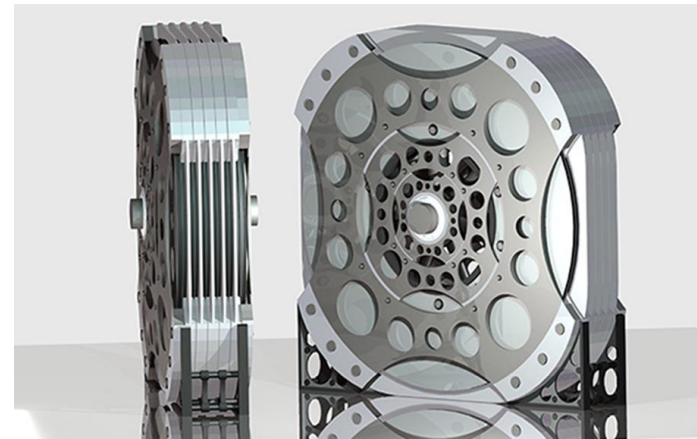
Onshore : boîtes de vitesse. **Pas de terres rares** pour ENERCON  
et SANVION (90% des turbines en France)

Offshore : de **grands progrès** pour l'avenir

## ↘ Le cas de l'éolien



Pour l'éolien offshore, de nouvelles techniques vont suppléer les aimants permanents avec terres rares



Le projet de recherche européen EcoSwing développe des génératrices avec supraconducteurs qui nécessiteront 100 fois moins de terres rares.

L'entreprise anglaise GreenSpur Renewables a développé la première génératrice synchrone à aimants permanents avec de la ferrite, en substitution aux terres rares.





# La mobilité

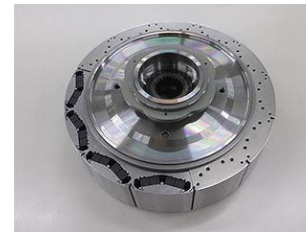


# ↘ La voiture électrique et hybride



Les premières voitures électriques contenaient du néodyme et dysprosium

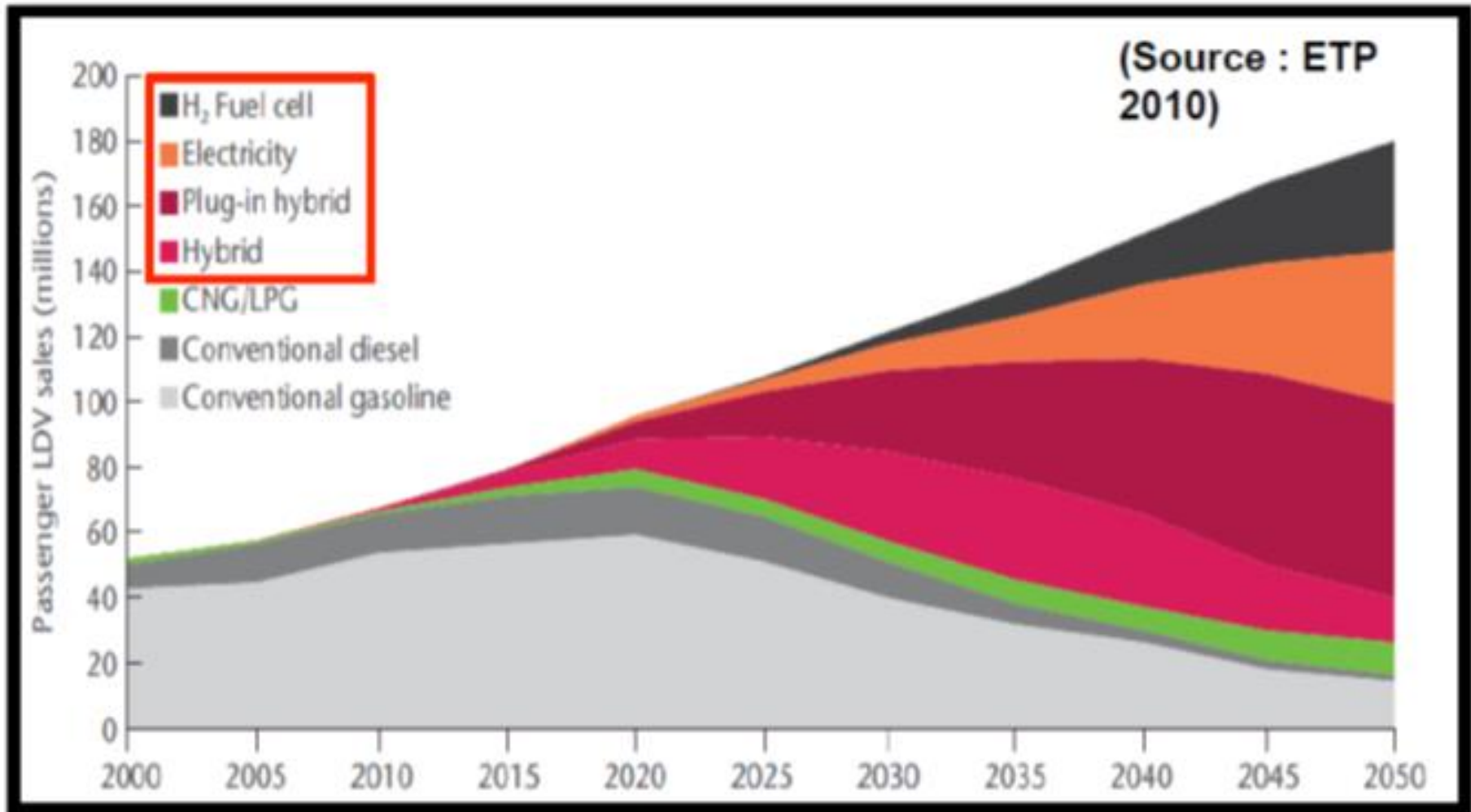
- **RENAULT** Zoé et **TESLA** : moteur à excitation sans terres rares
- **TOYOTA** : moteur allégé e terres rares
- **HITACHI** : prototype au fer amorphe sans terres rares



Bien distinguer le poids et l'usage des véhicules :

	Autonomie	Batterie	Lithium	nW or MW ?
Elec type "Twizy"	70 km	6,6 kWh	0,9 kg	NégaWatt
Elec type "Tesla"	600 km	90 kWh	8 kg	MEGAWatt
Hybride rechargeable			1,3 kg	NégaWatt
Hybride			0,25 kg	NégaWatt

## ↘ Exemple de scénario mondial



## ↘ Impact sur les matériaux



	Ventes	Masse U	Masse	Reserve	% Reserve
	Milliards	g/U	kt	kt	
<b>SCENARIO BLUE MAP</b>					
Lithium	2,7		3 225	14 000	<b>23%</b>
Cobalt	2,7		1 684	7 000	<b>24%</b>
Neodyme	2,7		770	11 400	<b>7%</b>
<b>SCENARIO TOUT ELEC</b>					
Lithium	2,7	3 000	7 965	14 000	<b>57%</b>
Cobalt	2,7	1 600	4 248	7 000	<b>61%</b>
Neodyme	2,7	290	770	11 400	<b>7%</b>

Attention ! Si on consomme  $\frac{1}{4}$  des réserves en 2050, cela veut dire qu'on consommé approximativement  $\frac{1}{4}$  des réserves tous les 15 ans après !



# ↘ Et le vélo électrique ?



	Ventes	Masse U	Masse	Reserve	% Reserve
	Milliards	g/U	kt	kt	
<b>Vélo électrique</b>					
Lithium	3,2	18	58	14 000	<b>0,4%</b>
Cobalt	Batteries LiFePO4 : Pas de Cobalt				
Neodyme	3,2	56	179	11 400	<b>1,6%</b>

Source BRGM Panorama du lithium 2014 , ADEME,





# L'éclairage performant





# Quel besoin en Yttrium pour une famille moyenne ?



10000 lumens  
Eclairage  
fluocompact :  
**3,4 g**



1 téléviseur :  
**5,4 g**



3 smartphones:  
**0,6 g**



10000 lumens  
Eclairage LED :  
**0,6 g**



2 ordinateurs:  
**4,6 g**

Résultat :

L'équipement en **LED** représente **6 %** du problème

Le **numérique** représente **94 %** du problème !



# Et si tout le monde faisait pareil dans le monde ?



9 milliards d'habitants consommeraient :

5 700 tonnes pour les **LED** cad :  
95 % de la consommation annuelle et  
**3% des réserves**

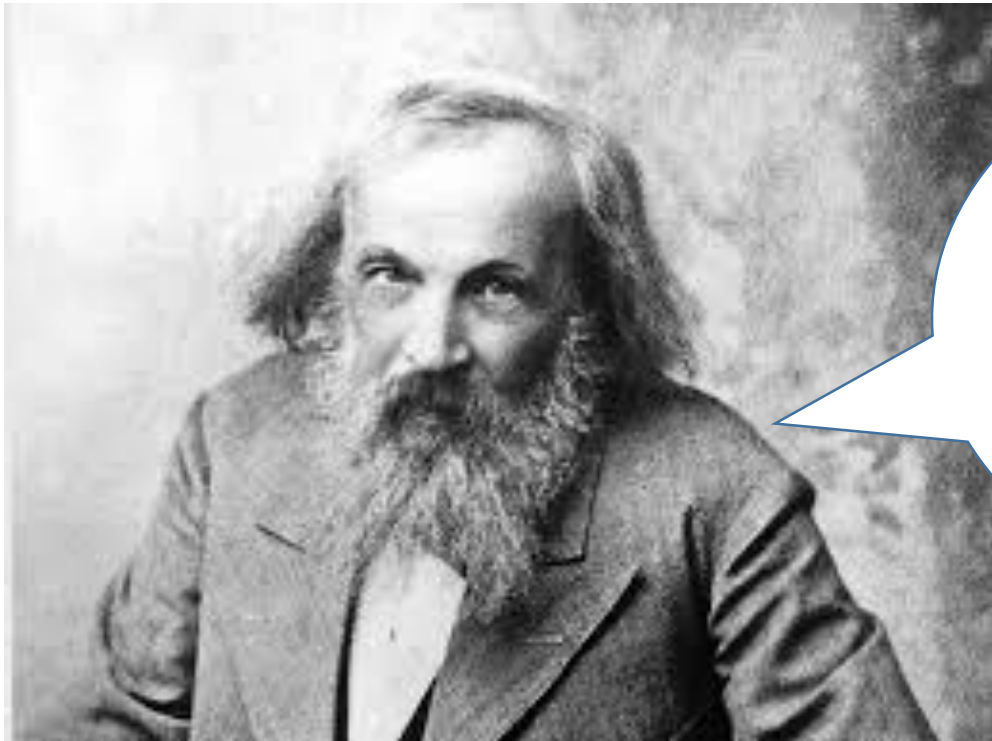
95 000 tonnes pour les **écrans**, cad :  
15 fois la consommation annuelle et  
**54 % des réserves**

**Au bout de 3 à 4 ans, tout serait épuisé !**



1. Mettre en œuvre la **sobriété** dans les pays développés et comme modèle pour le développement des pays émergents  
**R**éduire **R**éutiliser **R**éparer **R**ecycler **M**utualiser
2. **Ne pas amalgamer** la transition énergétique avec le numérique,
3. Les **énergies renouvelables** consomment peu de matériaux et à terme peuvent se passer de métaux rares

↘ Question ?



Il me semble  
que vous  
oubliez quelque  
chose...

**Dimitri MENDELEIEV**

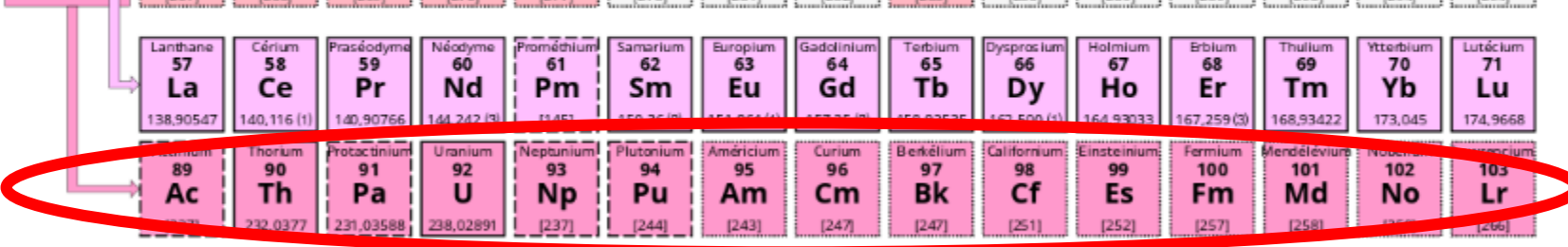


# LES ACTINIDES.....Bien sûr !



## Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe →	I A	II A											III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	
Période ↓	1	2											13	14	15	16	17	18	
1	Hydrogène 1 H 1,007975																		Hélium 2 He 4,002602
2	Lithium 3 Li 6,9395	Béryllium 4 Be 9,0121831											Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006855	Oxygène 8 O 15,99940	Fluor 9 F 18,99840316	Néon 10 Ne 20,1797 (8)	
3	Sodium 11 Na 22,98976928	Magnésium 12 Mg 24,3055											Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085 (1)	Phosphore 15 P 30,97376200	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Argon 18 Ar 39,948 (1)	
4	Potassium 19 K 39,0983 (1)	Calcium 20 Ca 40,078 (4)	Scandium 21 Sc 44,955908 (8)	Titane 22 Ti 47,867 (1)	Vanadium 23 V 50,9415 (1)	Chrome 24 Cr 51,9961 (6)	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845 (2)	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934 (4)	Cuivre 29 Cu 63,546 (3)	Zinc 30 Zn 65,38 (2)	Gallium 31 Ga 69,723 (1)	Germanium 32 Ge 72,630 (8)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971 (8)	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,798 (2)	
5	Rubidium 37 Rb 85,4678 (3)	Strontium 38 Sr 87,62 (1)	Yttrium 39 Y 88,90584	Zirconium 40 Zr 91,224 (2)	Niobium 41 Nb 92,90637	Molybdène 42 Mo 95,95 (1)	Technétium 43 Tc [98]	Ruthénium 44 Ru 101,07 (2)	Rhodium 45 Rh 102,90550	Palladium 46 Pd 106,42 (1)	Argent 47 Ag 107,8682 (2)	Cadmium 48 Cd 112,414 (4)	Indium 49 In 114,818 (1)	Étain 50 Sn 118,710 (7)	Antimoine 51 Sb 121,760 (1)	Tellure 52 Te 127,60 (3)	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,293 (8)	
6	Césium 55 Cs 132,905452	Baryum 56 Ba 137,327 (7)	Lanthanides 57-71	Hafnium 72 Hf 178,49 (2)	Tantale 73 Ta 180,94788	Tungstène 74 W 183,84 (1)	Rhénium 75 Re 186,207 (1)	Osmium 76 Os 190,23 (3)	Iridium 77 Ir 192,217 (3)	Platine 78 Pt 195,084 (8)	Or 79 Au 196,966569	Mercur 80 Hg 200,592 (3)	Thallium 81 Tl 204,3835	Plo 82 Pb 207,2 (1)	Bismuth 83 Bi 208,98040	Polonium 84 Po [209]	Astato 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]	
7	Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Actinides 89-103	Rutherfordium 104 Rf [267]	Dubnium 105 Db [268]	Seaborgium 106 Sg [269]	Bohrium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [277]	Meitnerium 109 Mt [278]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [282]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [286]	Flerovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [289]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennessee 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]	
			Lanthane 57 La 138,90547	Cérium 58 Ce 140,116 (1)	Praséodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242 (3)	Prométhium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36 (8)	Europium 63 Eu 151,964 (1)	Gadolinium 64 Gd 157,25 (3)	Terbium 65 Tb 158,925 (3)	Dysprosium 66 Dy 162,500 (1)	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259 (3)	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,045	Lutécium 71 Lu 174,9668		
			Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa 231,03588	Uranium 92 U 238,02891	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Américium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendélévium 101 Md [258]	Noébohmium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [260]		



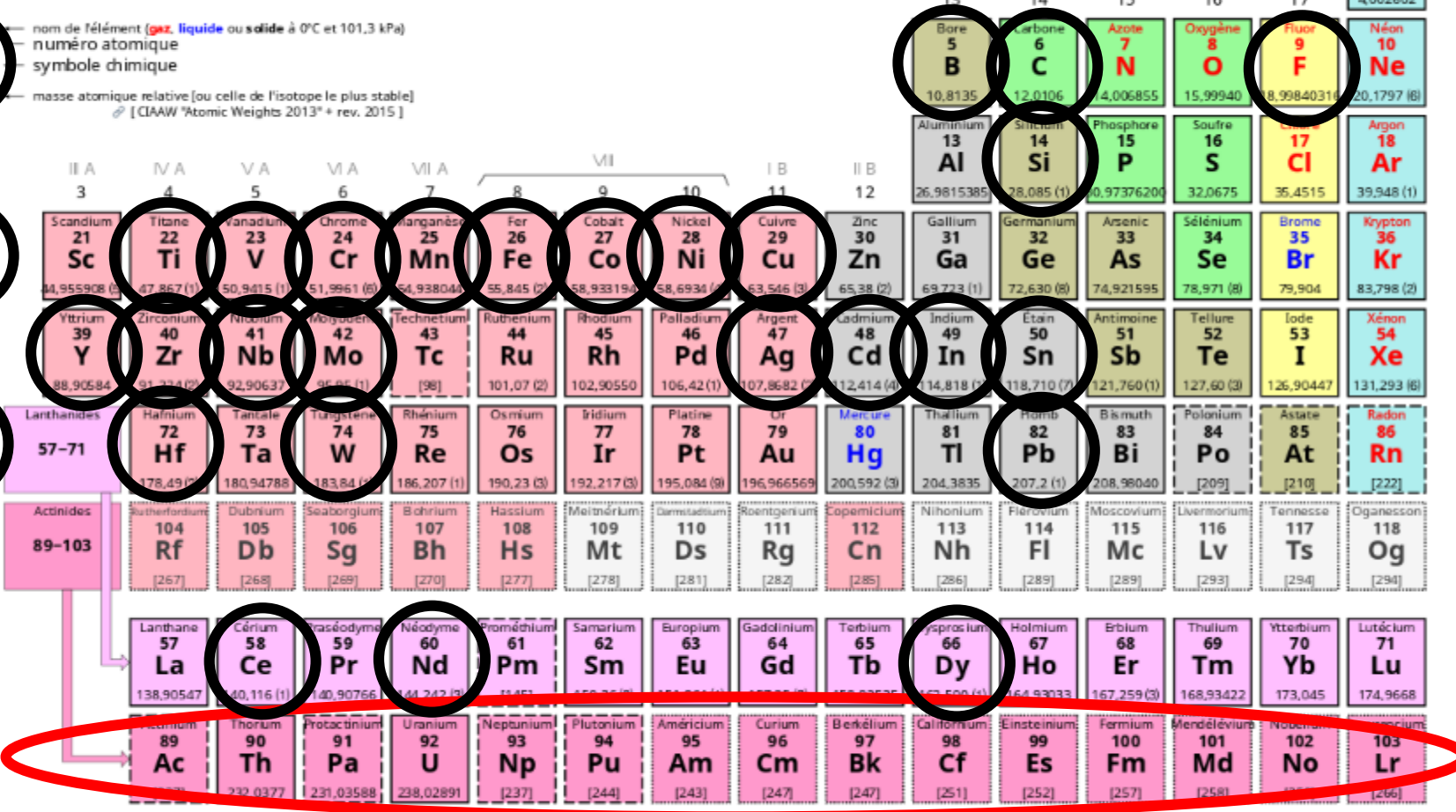
Métaux						Non métaux					Non classés		
Alcalins	Alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition	Métaux pauvres	Métalloïdes	Autres non-métaux	Halogènes	Gaz nobles	Non classés	primordial	désintégration d'autres éléments	synthétique

# Les matériaux du nucléaire



## Tableau périodique des éléments chimiques

Groupes	I A	II A											III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	IX	X	XI	XII	0								
Période	1	2																			13	14	15	16	17	18					
1	<b>Hydrogène</b> 1 <b>H</b> 1,007975																														<b>Hélium</b> 2 <b>He</b> 4,002602
2	<b>Lithium</b> 3 <b>Li</b> 6,9395	<b>Béryllium</b> 4 <b>Be</b> 9,0121831																			<b>Bore</b> 5 <b>B</b> 10,8135	<b>Carbone</b> 6 <b>C</b> 12,0106	<b>Azote</b> 7 <b>N</b> 14,006855	<b>Oxygène</b> 8 <b>O</b> 15,99940	<b>Fluor</b> 9 <b>F</b> 18,99840316	<b>Néon</b> 10 <b>Ne</b> 20,1797(8)					
3	<b>Sodium</b> 11 <b>Na</b> 22,98976928	<b>Magnésium</b> 12 <b>Mg</b> 24,3055											<b>Aluminium</b> 13 <b>Al</b> 26,9815385	<b>Silicium</b> 14 <b>Si</b> 28,085(1)	<b>Phosphore</b> 15 <b>P</b> 30,97376200	<b>Soufre</b> 16 <b>S</b> 32,0675	<b>Chlore</b> 17 <b>Cl</b> 35,4515	<b>Argon</b> 18 <b>Ar</b> 39,948(1)													
4	<b>Potassium</b> 19 <b>K</b> 39,0983(1)	<b>Calcium</b> 20 <b>Ca</b> 40,078(4)	<b>Scandium</b> 21 <b>Sc</b> 44,955908(6)	<b>Titane</b> 22 <b>Ti</b> 47,867(1)	<b>Vanadium</b> 23 <b>V</b> 50,9415(1)	<b>Chrome</b> 24 <b>Cr</b> 51,9961(6)	<b>Manganèse</b> 25 <b>Mn</b> 54,938044(1)	<b>Fer</b> 26 <b>Fe</b> 55,845(2)	<b>Cobalt</b> 27 <b>Co</b> 58,933194(8)	<b>Nickel</b> 28 <b>Ni</b> 58,6934(4)	<b>Cuivre</b> 29 <b>Cu</b> 63,546(3)	<b>Zinc</b> 30 <b>Zn</b> 65,38(2)	<b>Gallium</b> 31 <b>Ga</b> 69,723(1)	<b>Germanium</b> 32 <b>Ge</b> 72,630(8)	<b>Arsenic</b> 33 <b>As</b> 74,921595	<b>Sélénium</b> 34 <b>Se</b> 78,971(8)	<b>Brome</b> 35 <b>Br</b> 79,904	<b>Krypton</b> 36 <b>Kr</b> 83,798(2)													
5	<b>Rubidium</b> 37 <b>Rb</b> 85,4678(3)	<b>Strontium</b> 38 <b>Sr</b> 87,62(1)	<b>Yttrium</b> 39 <b>Y</b> 88,90584(2)	<b>Zirconium</b> 40 <b>Zr</b> 91,224(2)	<b>Niobium</b> 41 <b>Nb</b> 92,90637(2)	<b>Molybdène</b> 42 <b>Mo</b> 95,94(1)	<b>Technetium</b> 43 <b>Tc</b> [98]	<b>Ruthénium</b> 44 <b>Ru</b> 101,07(2)	<b>Rhodium</b> 45 <b>Rh</b> 102,90550	<b>Palladium</b> 46 <b>Pd</b> 106,42(1)	<b>Argent</b> 47 <b>Ag</b> 107,8682(1)	<b>Cadmium</b> 48 <b>Cd</b> 112,414(4)	<b>Indium</b> 49 <b>In</b> 114,818(1)	<b>Étain</b> 50 <b>Sn</b> 118,710(7)	<b>Antimoine</b> 51 <b>Sb</b> 121,760(1)	<b>Tellure</b> 52 <b>Te</b> 127,60(3)	<b>Iode</b> 53 <b>I</b> 126,90447	<b>Xénon</b> 54 <b>Xe</b> 131,293(6)													
6	<b>Césium</b> 55 <b>Cs</b> 132,90545196	<b>Baryum</b> 56 <b>Ba</b> 137,327(2)	<b>Lanthanides</b> 57-71		<b>Hafnium</b> 72 <b>Hf</b> 178,49(2)	<b>Tantale</b> 73 <b>Ta</b> 180,94788	<b>Tungstène</b> 74 <b>W</b> 183,84(1)	<b>Rhénium</b> 75 <b>Re</b> 186,207(1)	<b>Osmium</b> 76 <b>Os</b> 190,23(3)	<b>Iridium</b> 77 <b>Ir</b> 192,217(3)	<b>Platine</b> 78 <b>Pt</b> 195,084(8)	<b>Or</b> 79 <b>Au</b> 196,966569	<b> Mercure</b> 80 <b>Hg</b> 200,592(3)	<b>Thallium</b> 81 <b>Tl</b> 204,3835	<b>Plomb</b> 82 <b>Pb</b> 207,2(1)	<b>Bismuth</b> 83 <b>Bi</b> 208,98040	<b>Polonium</b> 84 <b>Po</b> [209]	<b>Astato</b> 85 <b>At</b> [210]	<b>Radon</b> 86 <b>Rn</b> [222]												
7	<b>Francium</b> 87 <b>Fr</b> [223]	<b>Radium</b> 88 <b>Ra</b> [226]	<b>Actinides</b> 89-103			<b>Rutherfordium</b> 104 <b>Rf</b> [267]	<b>Dubnium</b> 105 <b>Db</b> [268]	<b>Seaborgium</b> 106 <b>Sg</b> [269]	<b>Bohrium</b> 107 <b>Bh</b> [270]	<b>Hassium</b> 108 <b>Hs</b> [277]	<b>Meitnerium</b> 109 <b>Mt</b> [278]	<b>Darmstadtium</b> 110 <b>Ds</b> [281]	<b>Roentgenium</b> 111 <b>Rg</b> [282]	<b>Copernicium</b> 112 <b>Cn</b> [285]	<b>Nihonium</b> 113 <b>Nh</b> [286]	<b>Flerovium</b> 114 <b>Fl</b> [289]	<b>Moscovium</b> 115 <b>Mc</b> [289]	<b>Livermorium</b> 116 <b>Lv</b> [293]	<b>Tennessee</b> 117 <b>Ts</b> [294]	<b>Oganesson</b> 118 <b>Og</b> [294]											
			<b>Lanthane</b> 57 <b>La</b> 138,90547	<b>Cérium</b> 58 <b>Ce</b> 140,116(1)	<b>Praséodyme</b> 59 <b>Pr</b> 140,90766(2)	<b>Néodyme</b> 60 <b>Nd</b> 144,242(3)	<b>Prométhium</b> 61 <b>Pm</b> [145]	<b>Samarium</b> 62 <b>Sm</b> 150,36(2)	<b>Europium</b> 63 <b>Eu</b> 151,964(1)	<b>Gadolinium</b> 64 <b>Gd</b> 157,25(3)	<b>Terbium</b> 65 <b>Tb</b> 158,925(2)	<b>Ytterbium</b> 66 <b>Yb</b> 173,054(7)	<b>Thulium</b> 67 <b>Tm</b> 168,93033	<b>Erbium</b> 68 <b>Er</b> 167,259(3)	<b>Thulium</b> 69 <b>Tm</b> 168,93422	<b>Ytterbium</b> 70 <b>Yb</b> 173,045	<b>Lutécium</b> 71 <b>Lu</b> 174,9668														
			<b>Actinium</b> 89 <b>Ac</b> [227]	<b>Thorium</b> 90 <b>Th</b> 232,0377	<b>Protactinium</b> 91 <b>Pa</b> 231,03588	<b>Uranium</b> 92 <b>U</b> 238,02891	<b>Neptunium</b> 93 <b>Np</b> [237]	<b>Plutonium</b> 94 <b>Pu</b> [244]	<b>Americium</b> 95 <b>Am</b> [243]	<b>Curium</b> 96 <b>Cm</b> [247]	<b>Berkélium</b> 97 <b>Bk</b> [247]	<b>Californium</b> 98 <b>Cf</b> [251]	<b>Einsteinium</b> 99 <b>Es</b> [252]	<b>Fermium</b> 100 <b>Fm</b> [257]	<b>Mendéliévium</b> 101 <b>Md</b> [258]	<b>Nobelium</b> 102 <b>No</b> [259]	<b>Lr</b> 103 <b>Lr</b> [260]														



Métaux						Non métaux				Autres			
Alcalins	Alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition	Métaux pauvres	Métalloïdes	Autres non-métaux	Halogènes	Gaz nobles	Non classés	primordial	désintégration d'autres éléments	synthétique

# .... Et les produits de fission




Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe →	I A	II A											III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	IX	X	XI	XII	O							
Période	1	2											3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	<b>Hydrogène</b> 1 <b>H</b> 1,007975																													<b>Hélium</b> 2 <b>He</b> 4,002602
2	<b>Lithium</b> 3 <b>Li</b> 6,9395	<b>Béryllium</b> 4 <b>Be</b> 9,0121831	nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa) numéro atomique symbole chimique masse atomique relative [ou celle de l'isotope le plus stable] [ CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015 ]										<b>Bore</b> 5 <b>B</b> 10,8135	<b>Carbone</b> 6 <b>C</b> 12,0106	<b>Azote</b> 7 <b>N</b> 14,006455	<b>Oxygène</b> 8 <b>O</b> 15,9994	<b>Fluor</b> 9 <b>F</b> 18,9984031	<b>Néon</b> 10 <b>Ne</b> 20,1797 (6)												
3	<b>Sodium</b> 11 <b>Na</b> 22,98976928	<b>Magnésium</b> 12 <b>Mg</b> 24,3055	<b>Scandium</b> 21 <b>Sc</b> 44,955908 (6)	<b>Titane</b> 22 <b>Ti</b> 47,867 (1)	<b>Vanadium</b> 23 <b>V</b> 50,9415 (1)	<b>Chrome</b> 24 <b>Cr</b> 51,9961 (6)	<b>Manganèse</b> 25 <b>Mn</b> 54,938044	<b>Fer</b> 26 <b>Fe</b> 55,845 (2)	<b>Cobalt</b> 27 <b>Co</b> 58,933194	<b>Nickel</b> 28 <b>Ni</b> 58,6934 (4)	<b>Cuivre</b> 29 <b>Cu</b> 63,546 (3)	<b>Zinc</b> 30 <b>Zn</b> 65,38 (2)	<b>Gallium</b> 31 <b>Ga</b> 69,723 (1)	<b>Germanium</b> 32 <b>Ge</b> 72,630 (8)	<b>Argent</b> 33 <b>As</b> 74,921595	<b>Soufre</b> 16 <b>S</b> 32,0675	<b>Chlore</b> 17 <b>Cl</b> 35,4515	<b>Argon</b> 18 <b>Ar</b> 39,948 (1)												
4	<b>Potassium</b> 19 <b>K</b> 39,0983 (1)	<b>Calcium</b> 20 <b>Ca</b> 40,078 (4)	<b>Yttrium</b> 39 <b>Y</b> 88,90584 (2)	<b>Zirconium</b> 40 <b>Zr</b> 91,224 (2)	<b>Niobium</b> 41 <b>Nb</b> 92,90637 (2)	<b>Molybdène</b> 42 <b>Mo</b> 95,94 (1)	<b>Technetium</b> 43 <b>Tc</b> [98]	<b>Ruthénium</b> 44 <b>Ru</b> 101,07 (2)	<b>Rhodium</b> 45 <b>Rh</b> 102,90550	<b>Palladium</b> 46 <b>Pd</b> 106,42 (1)	<b>Argent</b> 47 <b>Ag</b> 107,8682 (2)	<b>Cadmium</b> 48 <b>Cd</b> 112,414 (4)	<b>Indium</b> 49 <b>In</b> 114,818 (1)	<b>Étain</b> 50 <b>Sn</b> 118,710 (7)	<b>Antimoine</b> 51 <b>Sb</b> 121,760 (1)	<b>Sélénium</b> 34 <b>Se</b> 78,971 (8)	<b>Brome</b> 35 <b>Br</b> 79,904	<b>Krypton</b> 36 <b>Kr</b> 83,798 (2)												
5	<b>Rubidium</b> 37 <b>Rb</b> 85,4678 (3)	<b>Strontium</b> 38 <b>Sr</b> 87,62 (2)	<b>Lanthanides</b> 57-71	<b>Hafnium</b> 72 <b>Hf</b> 178,49 (6)	<b>Tantale</b> 73 <b>Ta</b> 180,94788	<b>Tungstène</b> 74 <b>W</b> 183,84 (1)	<b>Rhenium</b> 75 <b>Re</b> 186,207 (1)	<b>Osmium</b> 76 <b>Os</b> 190,23 (3)	<b>Iridium</b> 77 <b>Ir</b> 192,217 (3)	<b>Platine</b> 78 <b>Pt</b> 195,084 (9)	<b>Or</b> 79 <b>Au</b> 196,966569	<b>Mercur</b> 80 <b>Hg</b> 200,592 (3)	<b>Thallium</b> 81 <b>Tl</b> 204,3835	<b>Plomb</b> 82 <b>Pb</b> 207,2 (1)	<b>Bismuth</b> 83 <b>Bi</b> 208,98040	<b>Tellure</b> 52 <b>Te</b> 127,60 (3)	<b>Iode</b> 53 <b>I</b> 126,90447	<b>Xénon</b> 54 <b>Xe</b> 131,293 (8)												
6	<b>Césium</b> 55 <b>Cs</b> 132,90545196	<b>Baryum</b> 56 <b>Ba</b> 137,327 (2)	<b>Actinides</b> 89-103	<b>Rutherfordium</b> 104 <b>Rf</b> [267]	<b>Dubnium</b> 105 <b>Db</b> [268]	<b>Seaborgium</b> 106 <b>Sg</b> [269]	<b>Bohrium</b> 107 <b>Bh</b> [270]	<b>Hassium</b> 108 <b>Hs</b> [277]	<b>Meitnerium</b> 109 <b>Mt</b> [278]	<b>Darmstadtium</b> 110 <b>Ds</b> [281]	<b>Roentgenium</b> 111 <b>Rg</b> [282]	<b>Copernicium</b> 112 <b>Cn</b> [285]	<b>Nihonium</b> 113 <b>Nh</b> [286]	<b>Flerovium</b> 114 <b>Fl</b> [289]	<b>Moscovium</b> 115 <b>Mc</b> [289]	<b>Polonium</b> 84 <b>Po</b> [209]	<b>Astato</b> 85 <b>At</b> [210]	<b>Radon</b> 86 <b>Rn</b> [222]												
7	<b>Francium</b> 87 <b>Fr</b> [223]	<b>Radium</b> 88 <b>Ra</b> [226]	<b>Lanthane</b> 57 <b>La</b> 138,90547	<b>Cérium</b> 58 <b>Ce</b> 140,116 (1)	<b>Praséodyme</b> 59 <b>Pr</b> 140,90766 (2)	<b>Néodyme</b> 60 <b>Nd</b> 144,242 (1)	<b>Prométhium</b> 61 <b>Pm</b> [145]	<b>Samarium</b> 62 <b>Sm</b> 150,36 (1)	<b>Europium</b> 63 <b>Eu</b> 151,964 (1)	<b>Gadolinium</b> 64 <b>Gd</b> 157,25 (1)	<b>Terbium</b> 65 <b>Tb</b> 158,925 (1)	<b>Dysprosium</b> 66 <b>Dy</b> 162,500 (1)	<b>Ho</b> 67 <b>Ho</b> 164,93032 (2)	<b>Erbium</b> 68 <b>Er</b> 167,259 (3)	<b>Thulium</b> 69 <b>Tm</b> 168,93422	<b>Ytterbium</b> 70 <b>Yb</b> 173,045	<b>Lutécium</b> 71 <b>Lu</b> 174,9668													
			<b>Actinium</b> 89 <b>Ac</b> [227]	<b>Thorium</b> 90 <b>Th</b> 232,0377 (1)	<b>Protactinium</b> 91 <b>Pa</b> 231,03688	<b>Uranium</b> 92 <b>U</b> 238,02891	<b>Neptunium</b> 93 <b>Np</b> [237]	<b>Plutonium</b> 94 <b>Pu</b> [244]	<b>Americium</b> 95 <b>Am</b> [243]	<b>Curium</b> 96 <b>Cm</b> [247]	<b>Berkélium</b> 97 <b>Bk</b> [247]	<b>Californium</b> 98 <b>Cf</b> [251]	<b>Einsteinium</b> 99 <b>Es</b> [252]	<b>Fermium</b> 100 <b>Fm</b> [257]	<b>Mendélévium</b> 101 <b>Md</b> [261]	<b>Nobelium</b> 102 <b>No</b> [265]	<b>Livermorium</b> 103 <b>Lr</b> [266]													

Métaux						Non métaux					Autres		
Alcalins	Alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition	Métaux pauvres	Métalloïdes	Autres non-métaux	Halogènes	Gaz nobles	Non classés	primordial	résintégration d'autres éléments	synthétique

- 2019 Antoine Bonduelle : réponse au livre de Guillaume Pitron <http://ovh.to/xNQnywi>
- 2018 Cedric Philibert AI E <https://www.youtube.com/watch?v=CWZEVXD7jm8>
- 2014 WWF Critical materials for the transition to a 100% sustainable energy future
- 2018 C. HAVEAUX L'énergie durable se développera sans « terres rares »
- 2014 BRGM Panorama des terres rares



An aerial photograph of Earth from space, showing the Mediterranean Sea and surrounding landmasses. The sea is a deep blue, and the land is a mix of brown and green, with some white clouds scattered across the landscape. The curvature of the Earth is visible at the top of the frame.

**Nous n'avons  
qu'une planète :  
Protégeons la ...**

**Je vous remercie de votre attention...**