



ENV 370 (GR A332 – GRB001)
Evaluation et analyse environnementale
systémique
Environmental system analysis and assessment

Jérôme Payet / jerome.payet@epfl.ch
Aristide Athanassiadis / aristide.athanassiadis@epfl.ch
Claudia R. Binder / claudia.binder@epfl.ch

2024- 2025

Organisation du cours

Objectif du cours (I)



- Découvrir les bases de la systémique environnementale
- Analyser un produit ou un service avec l'Analyse du Cycle de Vie (ACV)
- Calculer les impacts environnementaux d'un produit
- Anticiper les évolutions réglementaires en environnement
- Optimiser les performances environnementales des produits
- Critiquer une étude existante
- Elaborer des stratégies holistiques pour boucler les flux de matière
- Critiquer les stratégies et plans environnementaux des villes et pays
- Analyser les flux de ressources et de déchets

Objectif du cours (II)



- Planifier des actions et les mener à bien de façon à faire un usage optimal du temps et des ressources à disposition.
- Recevoir du feedback (une critique) et y répondre de manière appropriée.
- Ecrire un rapport scientifique ou technique.
- Utiliser les outils informatiques courants ainsi que ceux spécifiques à leur discipline.
- Être responsable des impacts environnementaux de ses actions et décisions.

Planning du cours

	Lundi 15h15-18h	Mardi 15h15-17h
Semaine 1	17-févr.-25 Introduction à la systémique environnementale ACV1 – Présentation et enjeux de la méthode ACV	18-févr.-25 Introduction au MFA
Semaine 2	24-févr.-25 ACV2 -Définition des objectifs et du système/ <i>présentation du projet</i>	25-févr.-25 Analyse de flux de matière régionaux
Semaine 3	3-mars-25 ACV3- Périmètre, données/ <i>collecte des données</i>	4-mars-25 Métabolismes urbains et régionaux
Semaine 4	10-mars-25 <i>Exercice ACV 1 : Sélection du BIPV,</i>	11-mars-25 Analyse spatiale des stocks et des flux
Semaine 5	17-mars-25 <i>initiation Simapro</i>	18-mars-25 <i>Exercice 1 MFA</i>
Semaine 6	24-mars-25 ACV4 -ICV, gestion des données <i>Exercice ACV 2 : Validation des données</i>	25-mars-25 <i>Exercice 2 MFA</i>
Semaine 7	31-mars-25 <i>et modélisation simapro</i>	1-avr.-25 <i>Exercice 3 MFA</i>
Semaine 8	7-avr.-25 ACV5- Flux et allocation	8-avr.-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>
Semaine 9	14-avr.-25 <i>Exercice ACV 3</i>	15-avr.-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>
Semaine 10	28-avr.-25 ACV6 - Bases de données et ecoinvent	29-avr.-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>
Semaine 11	5-mai-25 <i>Exercice ACV 4</i>	6-mai-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>
Semaine 12	12-mai-25 ACV7 - Impacts et normalisation	13-mai-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>
Semaine 13	19-mai-25 <i>Exercice ACV 5</i>	20-mai-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>
Semaine 14	26-mai-25 <i>Exercice ACV 6</i>	27-mai-25 <i>Exercice ACV application SIMAPRO</i>

Evaluation du cours



- Examen écrit – 60% de la note
 - Analyse des Flux de Matière: 1h
 - Analyse du Cycle de Vie : 1h – 15 à 18 questions courtes sur des points clés de l'ACV
- Evaluation projet ACV – 40% de la note

Projet à 2 ou 3 étudiants :

- Evaluation ACV d'un système photovoltaïque intégré à un bâtiment.
- Evaluation avec un rapport (15 pages maximum hors annexes)
- Date de remise du rapport Mardi 10 juin 2025

Partie Analyse du Cycle de Vie

Cours théorique et mise en application pratique

ACV d'un système photovoltaïque intégré à des bâtiments (BIPV)

- Etudiants par groupe de 2 ou 3
- Choix d'un système photovoltaïque (différents des années précédentes)
- Collecte des données
- Réaliser l'ACV simplifiée de ce système
- Rapport d'ACV (15 pages maximum hors annexes) présentant le produit BIPV, la méthode et les résultats obtenus
- Evaluation 40% note totale

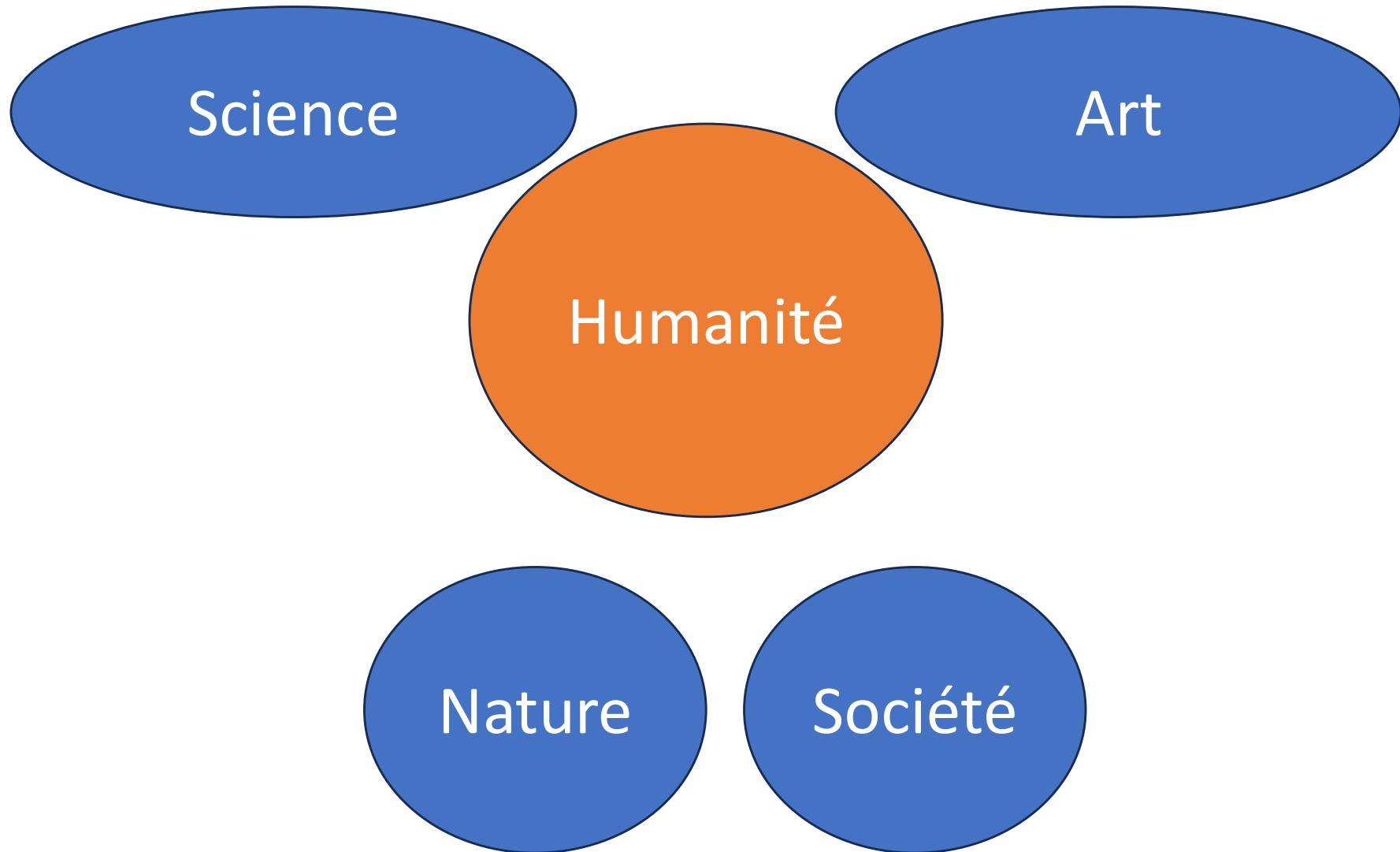
Références



- Analyse du cycle de vie - Comprendre et réaliser un écobilan O. Jolliet, M. Saadé, P. Crettaz, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2005
- Standards ISO 14040-44 (2006, 2020)
- COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations
- Brunner P. H., Rechberger, H. 2016, Practical handbook of material flow analysis, Lewis Publishers
- Baccini, P. and P. H. Brunner 2012, Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, Evaluation, Design, MIT Press
- Ferrão, P. and J. E. Fernández, 2013. Sustainable urban metabolism, Cambridge (MA): MIT Press.
- Circular Metabolism Podcast ([iTunes](#), [Youtube](#), [Spotify](#), [Stitcher](#))

Modélisation environnementale et approches systémiques

L'art et la science sont des clés de compréhension de l'humanité



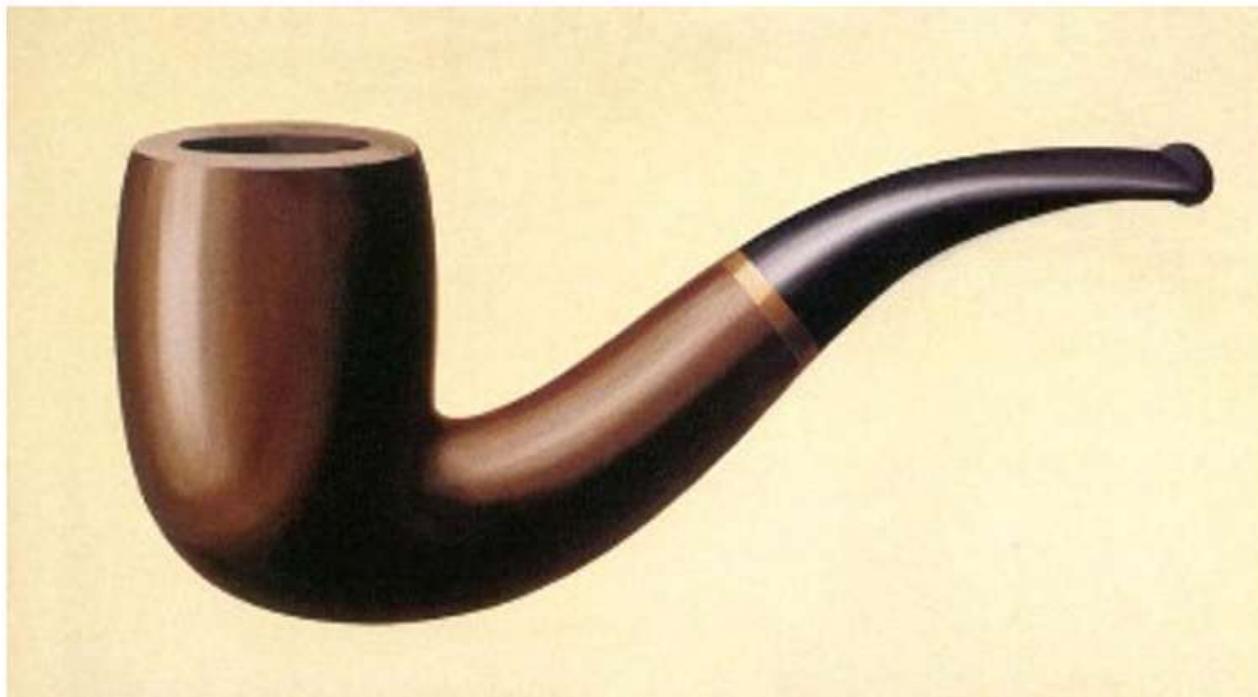
Les premières représentations



La prééminence de représentations féminines dans l'art statuaire répandu en Europe de - 31 000 à - 24 000 ans laisse penser que les femmes jouaient un rôle central dans ces sociétés préhistoriques.

La vénus de Lespugue (-28 000 ans) (Musée de l'homme à Paris)

Un monde de représentations



Que voyez vous?

Un monde de représentations



Notre perception du monde est construite sur les représentations que l'on se fait de ce monde.

“Ceci n'est pas une pipe” (1929) de René Magritte (1898- 1967) montre que notre cerveau a été trompé par deux biais. D'une part, ce qu'il voit n'est pas une pipe mais l'image d'une pipe, et d'autre part, sans s'en rendre compte il associe l'objet représenté au groupe “pipe” même s'il n'a jamais vu de pipe comme celle-ci.

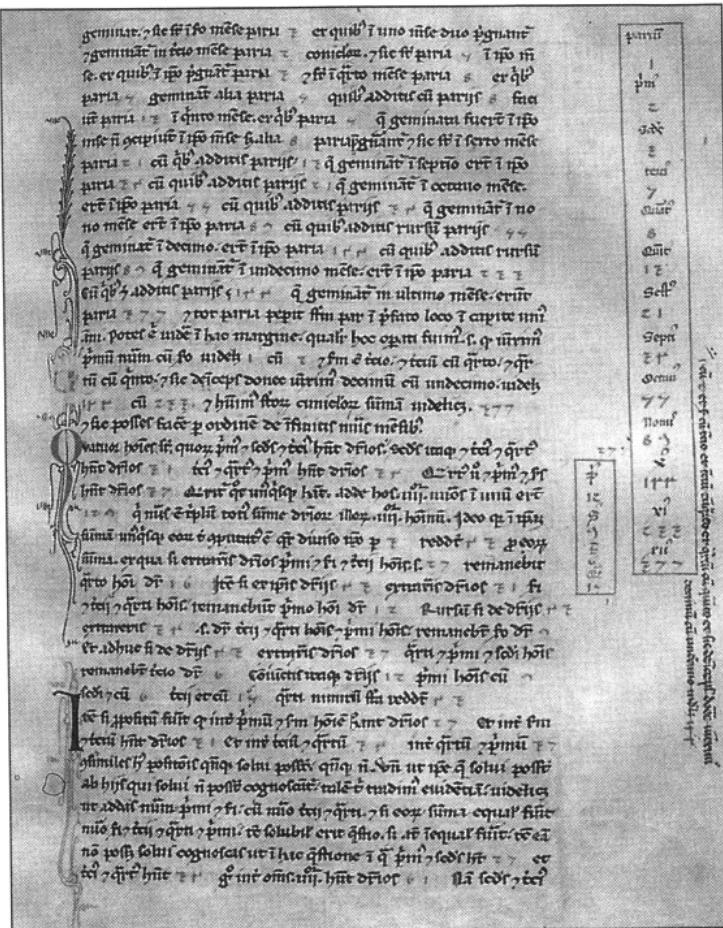
Enfin, Magritte nous rassure, il nous dit qu'il partage notre culture, il est de ceux qui savent ce qu'est une pipe, et même de ceux qui peuvent faire de l'humour avec les homonymes de “pipe”.

Platon et Aristote, première bifurcation



L'École d'Athènes (1508-1512). Fresque du peintre italien Raphaël. C'est l'une des œuvres picturales les plus importantes de la Cité du Vatican.

La suite de Fibonacci



« Un quidam a un couple (une paire) de lapin dans un enclos, et on souhaite savoir combien sont créés à partir du couple en un an quand il est dans leur nature de porter un autre couple en un seul mois, et le second mois ceux nés peuvent porter aussi. Parce que le couple précédent portèrent le premier mois, vous le doublerez ; il y aura deux couples en un mois. L'un d'eux, à savoir le premier, porte le second mois et alors, il y a le second mois 3 couples ; de ceux-là en un mois 2 sont enceints, et dans le troisième mois 2 couples de lapins sont nés, et donc il y a 5 couples dans le mois ; dans ce mois 3 paires sont enceints, et dans le quatrième mois il y a 8 couples, de ceux-là 5 couples portent 5 autres couples ; ils s'ajoutent au 8 couples faisant 13 couples dans le cinquième mois ; ces 5 couples qui sont nés pendant ce mois ne se croisent pas durant ce mois, mais 8 autres couples sont enceints, et donc il y a dans le sixième mois 21 couples ; à ceux-là sont ajoutés les 13 couples qui sont nés durant le septième mois ; il y aura alors 34 couples dans ce mois ; à cela est ajouté les 21 couples qui sont nés dans les huit mois ; il y aura 55 couples dans ce mois ; à ceux-là sont ajoutés les 34 couples qui sont nés dans le neuvième mois ; il y aura 89 couples dans ce mois ; à ceux-là sont ajoutés encore 55 couples qui sont nés dans le dixième mois ; il y aura 144 couples dans ce mois ; à ceux-là sont encore ajoutés 89 couples qui sont nés dans le onzième mois ; il y aura 233 paires dans ce mois. A ceux-là sont toujours ajoutés les 144 couples qui sont nés dans le dernier mois ; il y aura 377 et tous ces couples sont produits à partir du couple écrit ci-dessus dans le lieu mentionné à la fin d'une année. Vous pouvez en effet voir dans la marge comment nous avons opéré, à savoir nous avons ajouté le premier nombre au second, c'est-à-dire le 1 au 2, et le second au troisième, et le troisième au quatrième, et le quatrième au cinquième, et donc l'un après l'autre jusqu'à ce que nous ayons ajouté le dixième au onzième, c'est-à-dire le 144 au 233, et nous avions la somme des lapins écrite ci-dessus, c'est-à-dire 377, et donc vous pouvez dans l'ordre la trouver pour un nombre interminable de mois. »

Fac-similé de la page du *Liber abaci* de Léonard de Pise, dit Fibonacci, publié la première fois en 1202, et sa traduction à droite

Expressions modernes de ce modèle

1 - la version classique sous forme d'une suite entière :

$U_n = U_n i + U_{n-2}$ (avec comme conditions initiales : $U_0 = U_1 = 1$), et U_n représente le nombre de lapins au temps n .

2 - la version matricielle faisant apparaître deux classes

d'âges (jeunes immatures et adultes matures), implicites dans l'exposé de Fibonacci.

$$\begin{pmatrix} J \\ A \end{pmatrix}_n = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J \\ A \end{pmatrix}_{n-1} \text{ avec } \begin{pmatrix} J \\ A \end{pmatrix}_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ et } n = 1, 2, \dots$$

3 - une version « non standard » tirée de la théorie des langages de Lindenmayer.

On se donne les règles : $j \rightarrow a$ et $a \rightarrow aj$ où a représente un couple de lapins adultes, matures et pouvant se reproduire, et j un couple de jeunes lapins, immatures, ne pouvant pas se reproduire, et devenant mature à l'intervalle de temps suivant la naissance.

Temps	Population	Nombre d'adultes	Nombre de jeunes	Nombre total
0	<i>a</i>	1	0	1
1	<i>aj</i>	1	1	2
2	<i>aja</i>	2	1	3
3	<i>ajaaj</i>	3	2	5
4	<i>ajaajaja</i>	5	3	8
5	<i>ajaajajaajaaj</i>	8	5	13
6	<i>ajaajajaajaajajaajaja</i>	13	8	21
7	<i>ajaajajaajaajajaajajaajajaaj</i>	21	13	34
...

Avec Descartes (1596- 1650) la nature devient un terrain d'expérimentation

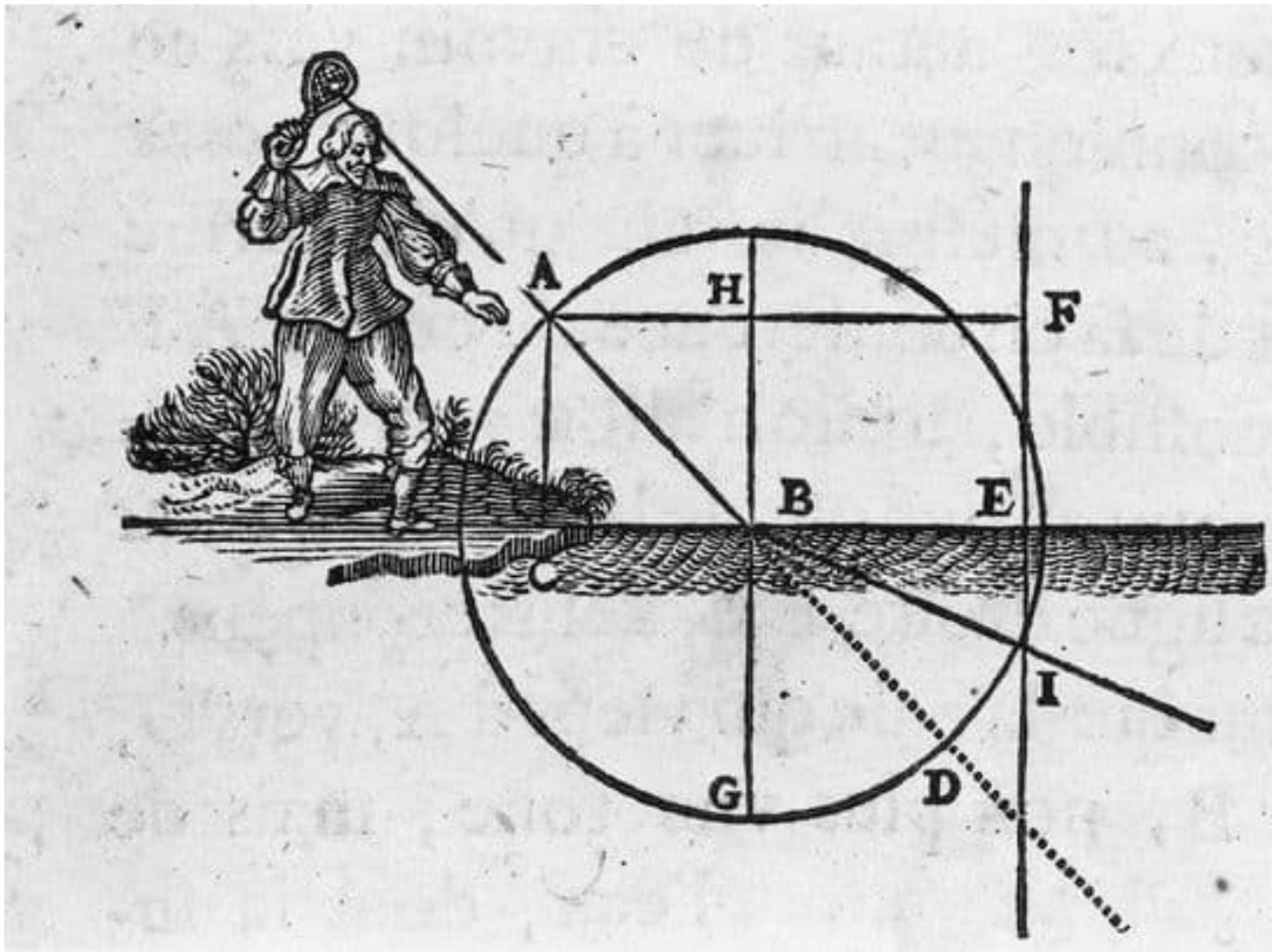


Illustration du Discours de la méthode (René Descartes) pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences de René Descartes (1637). [Bibliothèque nationale de France, Paris.]

Isaac Newton (1642, 1727) décide faire rentrer la nature toute entière dans les mathématiques



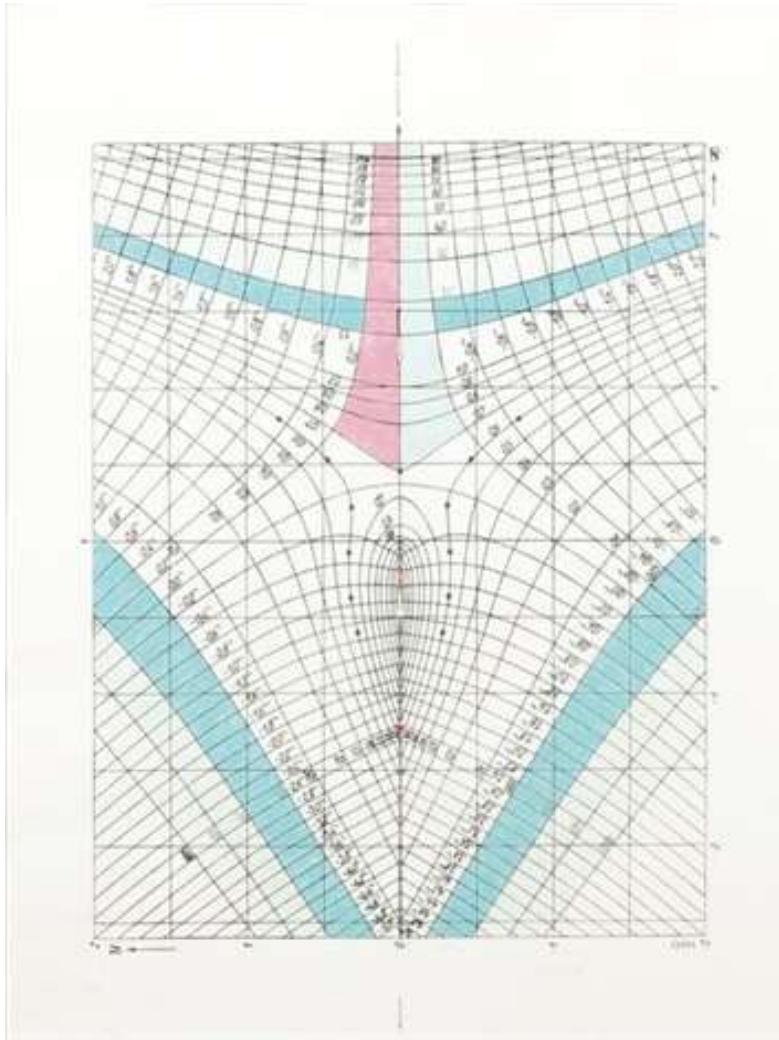
William Blake (poète, peintre et graveur anglais) a réalisé un estampe (achevée en 1795) représentant Issac Newton

La nature, de l'objectivation à l'expérimentation



Labourage nivernais, dit aussi Le Sombrage, est une peinture à l'huile sur toile réalisée en 1849 par Rosa Bonheur (1822-1899). Musée d'Orsay.

Les propriétés mathématiques révèlent des modèles simplifiés de systèmes complexes



Le petit voile de la mariée (1970) de Olga Morano (1935 -1999)

Les grands domaines de l'ouverture à la systémique

Méthode systémique – une approche résolument féminine



« Soft » féminin, « Hard » masculin



Augusta Ada Byron, comtesse Lovelace (1815-1852)

Femmes développeuses

Le codage informatique ouvert par sa pionnière Ada Lovelace a été un domaine de prédilection pour les femmes. Dans la seconde moitié du XX ème siècle, en Angleterre, les femmes occupent des postes nombreux et de plus en plus élevés en informatique. Les hommes se réservent le «Hard», les machines; et laissent les femmes s'occuper du «soft», le code. Néanmoins, il faut beaucoup de code pour faire fonctionner une machine et les femmes développeuses excellent.

«Dans les années 1970, elles sont nombreuses à coder et leurs salaires sont conséquents. Alarmés, les dirigeants de l'université de Cambridge trouvent inacceptable que les salaires des femmes à l'université dépassent celui des hommes et décident de réorienter les embauche vers des hommes afin que le code ne soit plus un domaine principalement féminin. Cette démarche sera copiée par tous les grands centre de recherche. Ce «reclaim» masculin renversera la tendance et repositionnera les hommes dans ce domaine de sciences.»

Une vision systémique de la nature



« Lorsque je me retrouvais parmi les fleurs dont les visages m'étaient familiers mais les noms inconnus, je sentais que je ne tirais pas le meilleur parti de la situation. Et quand je rencontrais des plantes que je ne connaissais ni de vue ni de nom, j'étais bel et bien une étrangère parmi elles. »
dans *How to know the ferns*, F.T. Parsons, 1899.

France Théodora Parsons (1861-1952), *La joyeuse communauté des polypodes*

Femmes naturalistes

Au XIX ème siècle, le naturalisme a été initié et animé par des femmes scientifiques, parfois autodidactes, mais qui ont posées sur la nature un regard neuf et qui ont pu communiquer leurs observation avec tant de passion et de finesse qu'elles ont fait des best sellers avec des ouvrages scientifiques. Les hommes scientifiques de l'époque s'en sont inquiétés et se sont réappropriés ce domaine de sciences en mettant en doute les capacité féminines à être de grandes naturalistes.

Charles Kinglsey écrivait en 1856 : «*Notre parfait naturaliste doit avoir de la force physique, être capable de trainer un poids, de grimper, de retourner des rochers, de marcher toute la journée sans savoir quand il pourra se reposer ou manger; Il doit être prêt à affronter le soleil et la pluie, le vent et le gel, et de manger et boire avec gratitude même si la nourriture est grossière et frugale; Il doit savoir nager pour sauver sa peau, ramer, naviguer, et monter le premier cheval qui sera a sa disposition; il devra enfin être un très bon tireur et un pêcheur expérimenté; et s'il se rend à l'étranger, être capable de défendre sa vie».*

Introduction à la systémique environnementale



Procédure analytique

On peut réduire à des parties l'être étudié et donc on peut le reconstituer à partir de celles-ci. C'est le principe fondamental de la science classique.

Condition 1: Les interactions entre les parties doivent être inexistantes ou assez faibles pour être négligées.

Condition 2: les relations qui décrivent le comportement des parties doivent être linéaires afin de satisfaire l'exigence de sommativité.

Ainsi, l'équation qui décrit le comportement de l'ensemble à la même forme que celles qui décrivent le comportement des parties. (Von Bertalanffy).



Limite de l'approche analytique

L'approche analytique peine à décrire les interactions entre les éléments et à prendre en compte les flux qui les relient.

Les systèmes vivants sont animés par des flux communément décrit par des équations non linéaires différentielles ou aux dérivées partielles.

Les flux possibles entre les éléments croissent de façon exponentiels avec le nombre d'élément et rendent les systèmes complexes difficiles à expliquer avec l'approche analytique.

Origine de la systémique

Le premier traité complet décrivant une science des systèmes a été écrit entre 1913 et 1920 par Alexandre Bogdanov. Il s'agit de « *Science universelle de l'organisation, ou tectologie* », qui semble bien devoir être reconnue aujourd'hui comme le premier traité complet de systémique générale.

Bogdanov définit les *méthodes de la tectologie*:

« *La tectologie doit permettre de mettre en valeur les modes d'organisation qui peuvent être observés dans la nature et dans l'activité humaine; ensuite il faut les généraliser et les systématiser; puis les expliquer, c'est-à-dire donner les schémas abstraits de leurs tendances et de leurs régularités; enfin, en s'appuyant sur ces schémas, il faut définir les directions du développement des méthodes organisationnelles et leur rôle dans la gestion du processus du développement du monde.* »





Système et systémique

Un système est un assemblage d'éléments en interaction, entouré d'une limite, et influencé par d'autres systèmes à l'extérieur.

Au-delà des travaux de Bogdanov, La théorie des système – également appelée systémique- a été largement été explorée par von Bertalanffy dans son ouvrage « Théorie Générale des systèmes », par Wiener sous le nom de Cybernétique et plus récemment par Le Moigne dans sa « Théorie du système Général ».



Approche systémique

Un système peut être matériel ou immatériel, ouvert ou fermé

Un système est caractérisé par les éléments en interaction fortes décrit par un ensemble d'équation différentielles simultanées.

Un tout est plus (ou moins) que la somme de ses parties.

Un système possède une intégrité et des mécanismes qui régulent cette intégrité. Un système continu d'être lui-même même en cas de substitution de tous ses éléments à condition que ses interactions et ses objectifs restent intact.

Systémique environnementale



Propriétés	Actions	Limitations
Organisation	Sous-systèmes/éléments	Interactions
Fonction	Emergence	Désorganisation
Evolution	Croissance	Ressources
Résilience	Information	Régulation
Dynamique	Echanges (ouvert)	Contraintes environnementales
Robustesse	Adaptation	Seuils critiques

Le temps et l'énergie sont des **contraintes** globales qui s'appliquent à tous les systèmes environnementaux. Ils conditionnent la (les) **fonction(s)** de ces systèmes

Enjeux environnementaux de l'humanité

Nature ou environnement



La lucane d'Albrecht Dürer
(1471 - 1528)

Nettoyer les étangs
de Serguei Volkov
(1956 – 2022)



L'ours blanc de
François Pompon
(1855 - 1933)



Nature et Humanité,

humain et environnement

L'art et la sciences sont les deux seules valeurs intemporelles de l'humanité. Ils peuvent éclairer d'un regard neuf notre vision de la société, de la nature, on pourrait dire aussi des enjeux sociaux (justice sociale, répartition des richesses, égalité des sexes, etc.) et environnementaux (changement climatique, biodiversité, ressources, etc.).

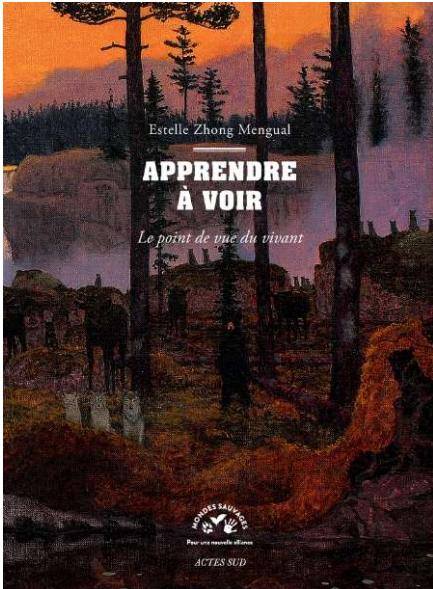
Une crise écologique? Quelle Crise ?

Que représente pour
vous un train?

Que représente pour
vous un chevreuil?

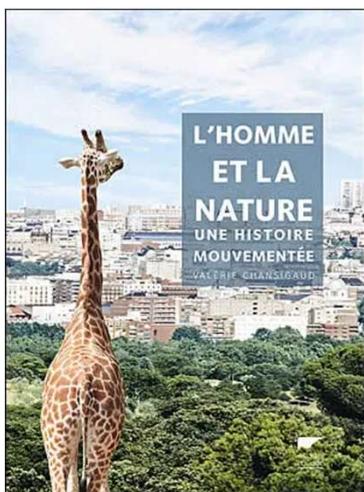
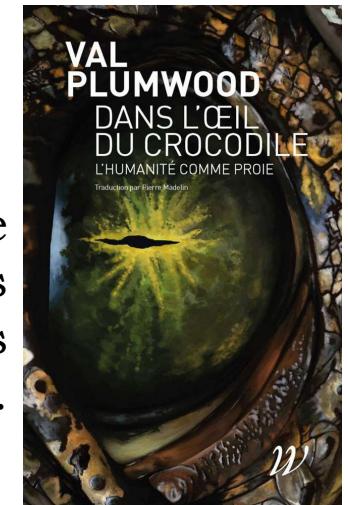
“La crise écologique que nous vivons n'est pas seulement une crise du vivant, mais une crise de notre relation au vivant” (*Estelle Zhong Mengal, Apprendre à voir*)

Nature et Humanité, trois ouvrages recommandés



“La crise écologique que nous vivons n'est pas seulement une crise du vivant, mais une crise de notre relation au vivant”
(*Estelle Zhong Mengal, Apprendre à voir*)

“L'illusion du désengagement consiste à croire que nous, humains, sommes autonomes, indépendants du monde vivant. Nous ne lui appartenons plus.” (*Val Plumwood, Dans l'œil du crocodile*).



“Il y a environ douze mille ans, l'humanité commence à transformer radicalement son environnement grâce à sa capacité à soumettre les autres espèces. L'homme n'est plus tributaire de ce qu'il glane ou de ce qu'il chasse. Il commence alors une véritable guerre contre la nature afin de la dominer.” (*Valérie Chansigaud, L'homme et la nature, un histoire mouvementée*)

L'humanité confrontée aux catastrophes environnementales

L'homme et l'environnement: des catastrophes depuis plus de trois siècles



Explosion of Delft gunpowder reserve (*Egbert van der Poel, 1654*)

Historique des catastrophes environnementales

Armement : Delft 1654

Accident de miniers : Beaujonc 1812 ... Mongolie-Intérieure 2023

Rupture de barrage : Johnstown 1889 ... Derna 2023

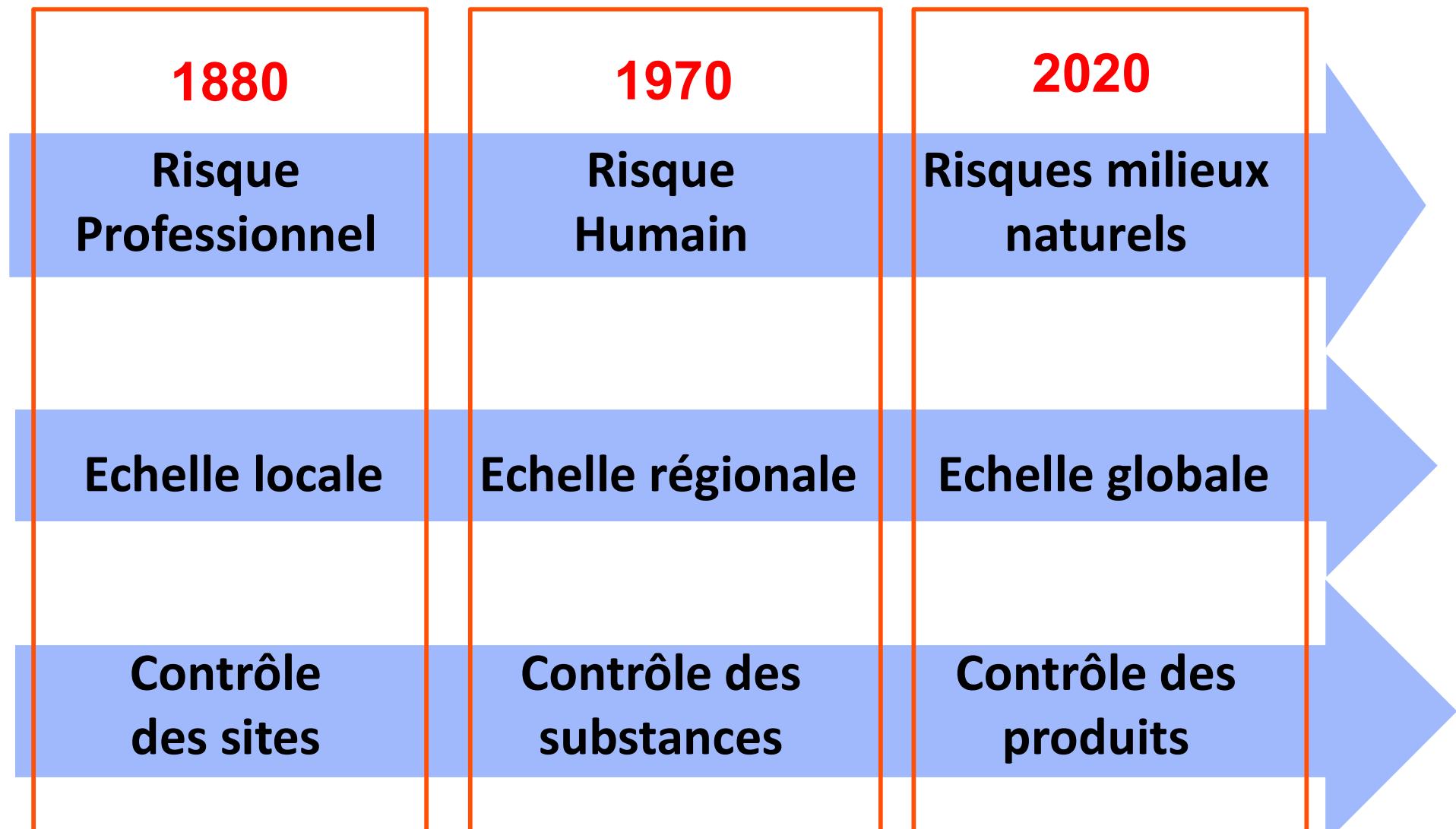
Explosions fertilisant : Oppau en 1921 ... Beyrouth 2020

Pétrole/Gaz : Feyzin 1966 ... Mindoro 2023

Chimie : Ludwigshafen 1948 ... Bophal 1984

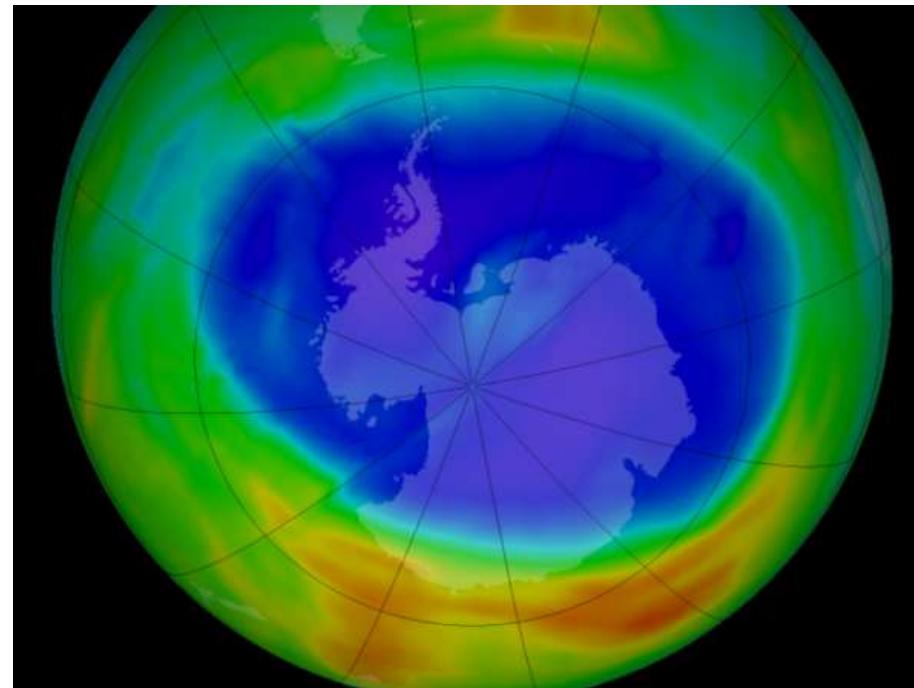
Nucléaire : Three Miles Island 1979 ... Fukushima 2011

Les échelles des actions environnementales



La dégradation de l'ozone
stratosphérique, première
illustration d'un problème
environnemental global

La dégradation de la couche
d'ozone, un enjeu environnemental
Mondial qui finit bien ...



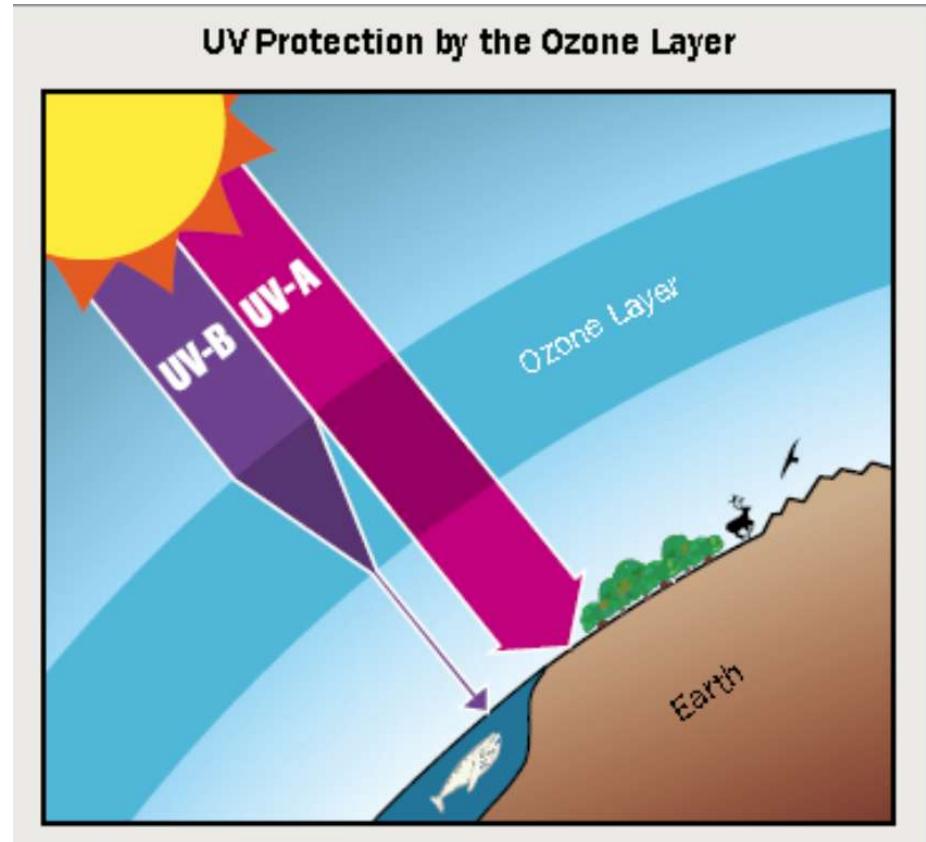
La dégradation de la couche d'ozone

Dans la stratosphère, la couche d'ozone filtre les rayonnements UV qui sont émis par le soleil. L'ozone est très réactif et a un temps de demi-vie court

Les gaz les plus dangereux pour la couche d'ozone sont les chlorofluorocarbures, des gaz qui ont été fortement utilisés à parti des années 1950. Présents dans les aérosols, les réfrigérants ou encore les mousses et solvants, leur utilisation en masse a énormément participé au perçage de la couche d'ozone.

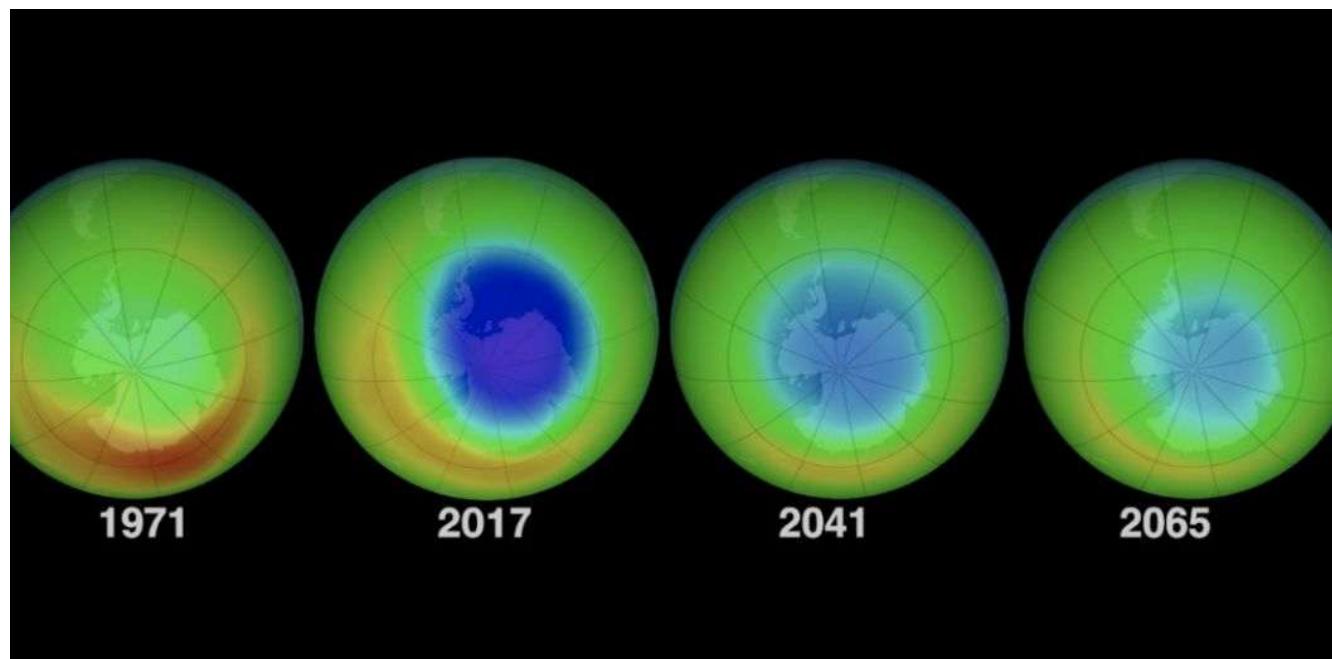
Le 9 octobre 2006, la mesure de l'ozone avait fortement diminué, chutant de 300 unités Dobson à la mi-juillet à 93 unités Dobson, et presque toute l'ozone de la couche comprise entre 12,8 km et 21 km au-dessus de la surface de la terre avait été détruite.

“It is estimated that a 10 per cent decrease in ozone levels will result in an additional 300,000 non-melanoma and 4,500 melanoma skin cancer cases.” (WHO 2017)

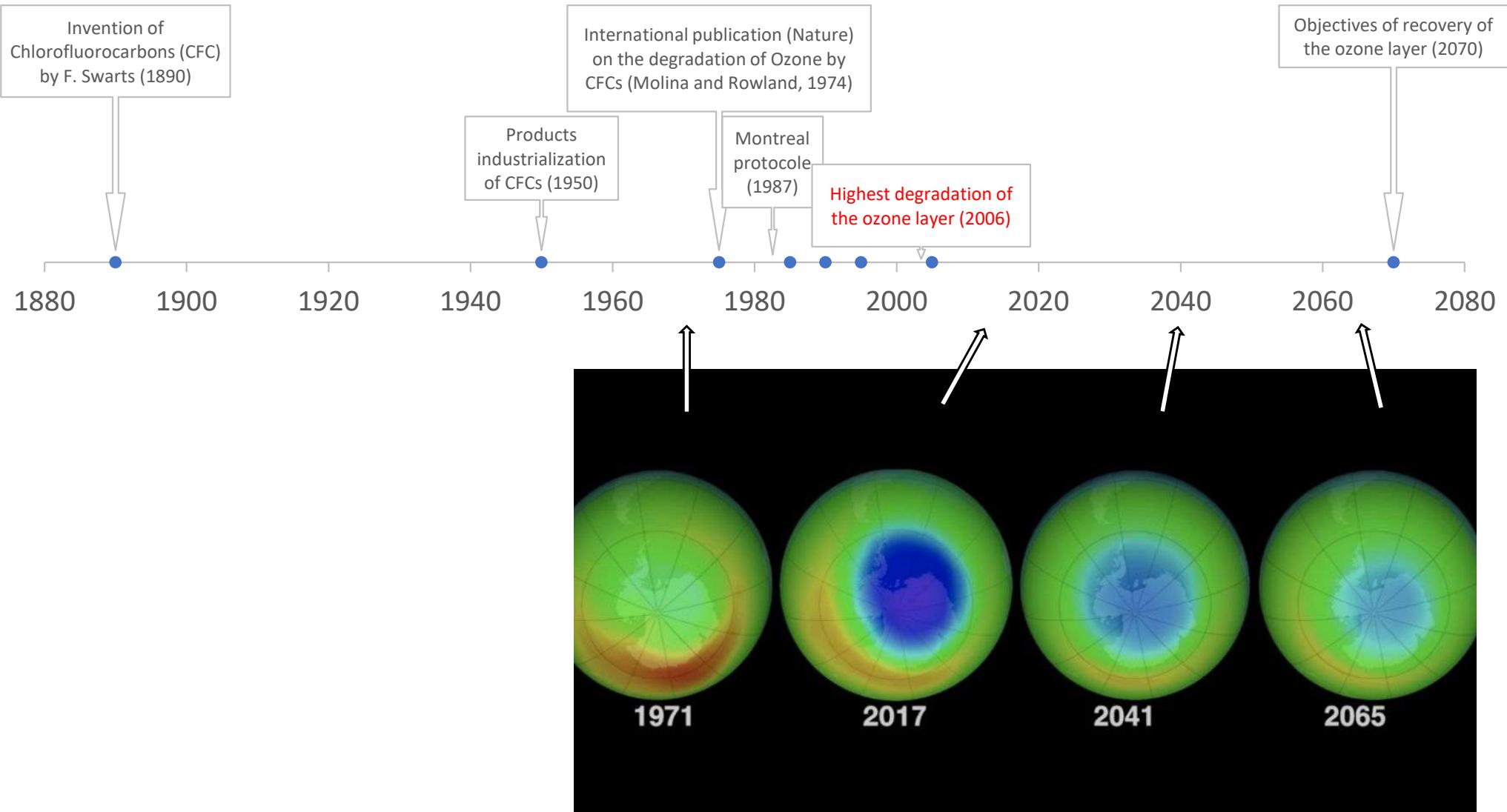


La réparation de la couche d'ozone

- En 1974, Mario Molina et Sherwood Rowland, publiaient un article dans la revue Nature exposant les menaces que faisaient peser les gaz chlorofluorocarbonés (CFC) sur la couche d'ozone. Ils seront récompensés du prix nobel de chimie en 1995.
- Le protocole de Montréal adopté en 1987 a progressivement interdit les gaz industriels chlorés et bromés (CFC) ; la couche d'ozone s'est alors stabilisée.
- La production de CFC a cessé dans les années 1990 mais les molécules de chlore produites au cours des décennies 1970 et 1980 se promènent toujours dans l'atmosphère (durée de vie qui va de 50 à 100 ans).
- Selon les scientifiques, on devrait pouvoir récupérer l'état de la couche d'ozone d'ici 2065 comme elle était en 1980 avant son endommagement.



La couche d'ozone au fil du temps



Les ressources, besoin et
contraintes à la transition
environnementale

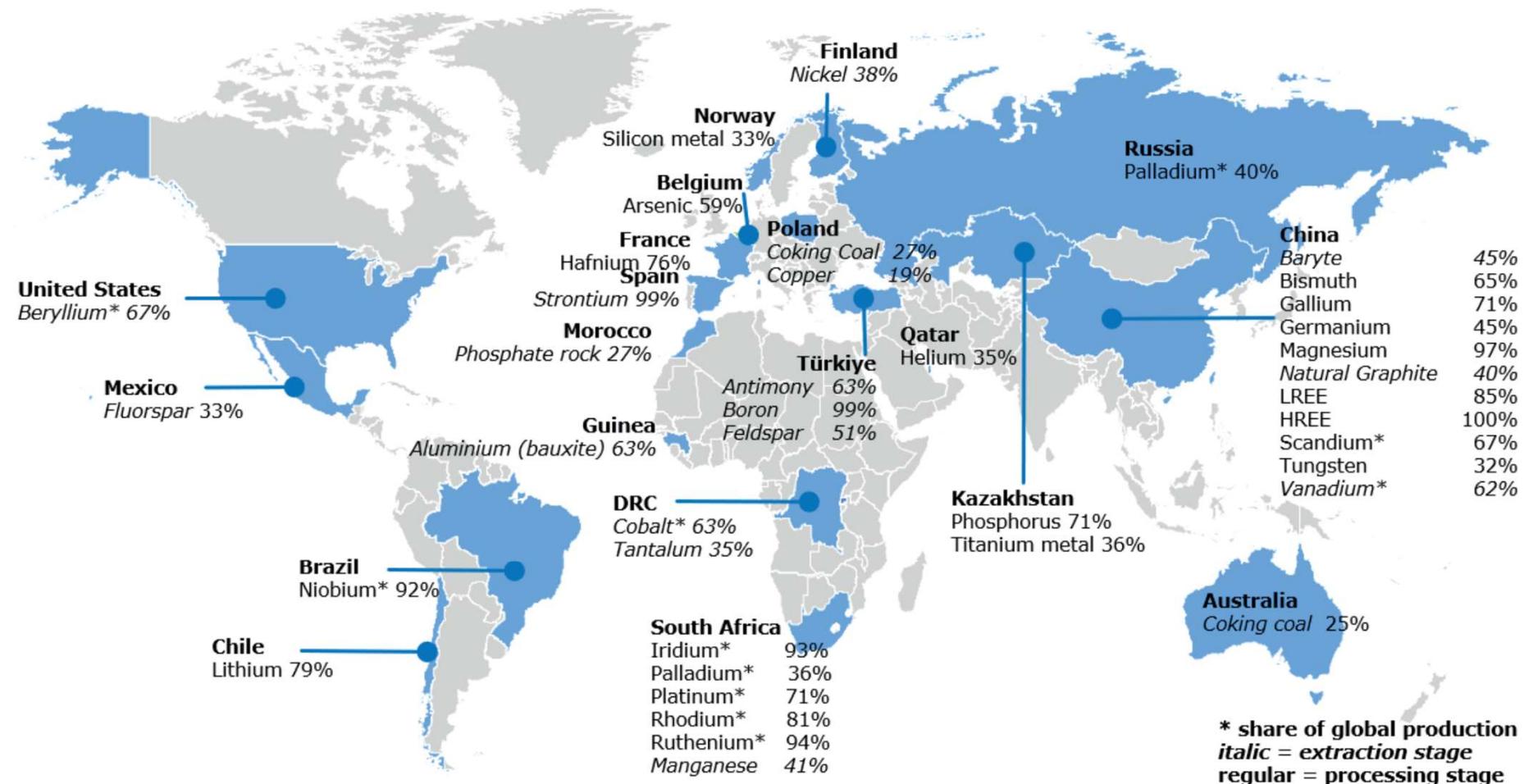
Les matériaux critiques en Europe

- La demande en matériaux va augmenter considérablement dans les prochaines décennies.
- Les matériaux sont indispensables à l'activité économique Européenne
- Les matériaux critiques sont produits en petite quantité mais ont des propriétés spécifiques qui les rendent indispensables
- Les matériaux critiques font l'objet d'un suivi tous les trois ans par la commission Européenne



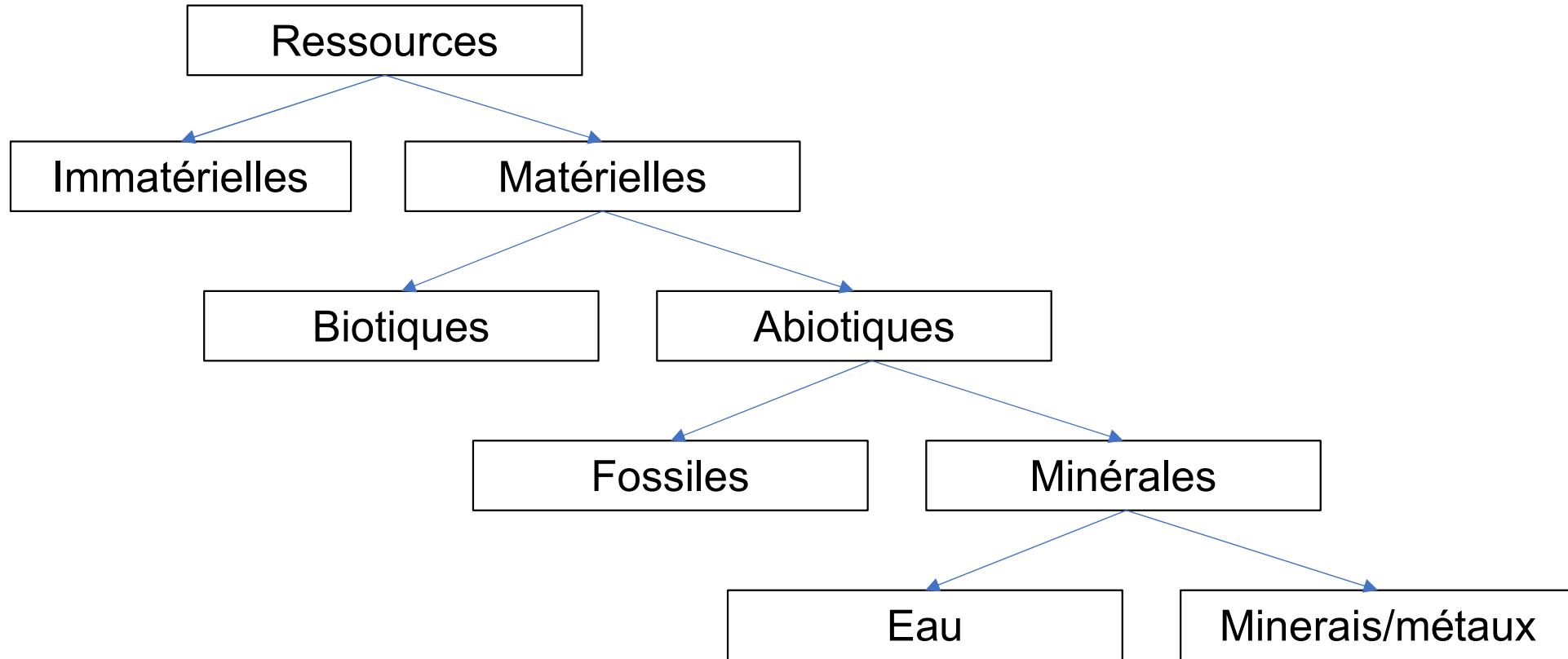
Référence : European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final report

Approvisionnement en matériaux critiques en Europe



Source: "European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023–Final Report"

L'enjeu des ressources



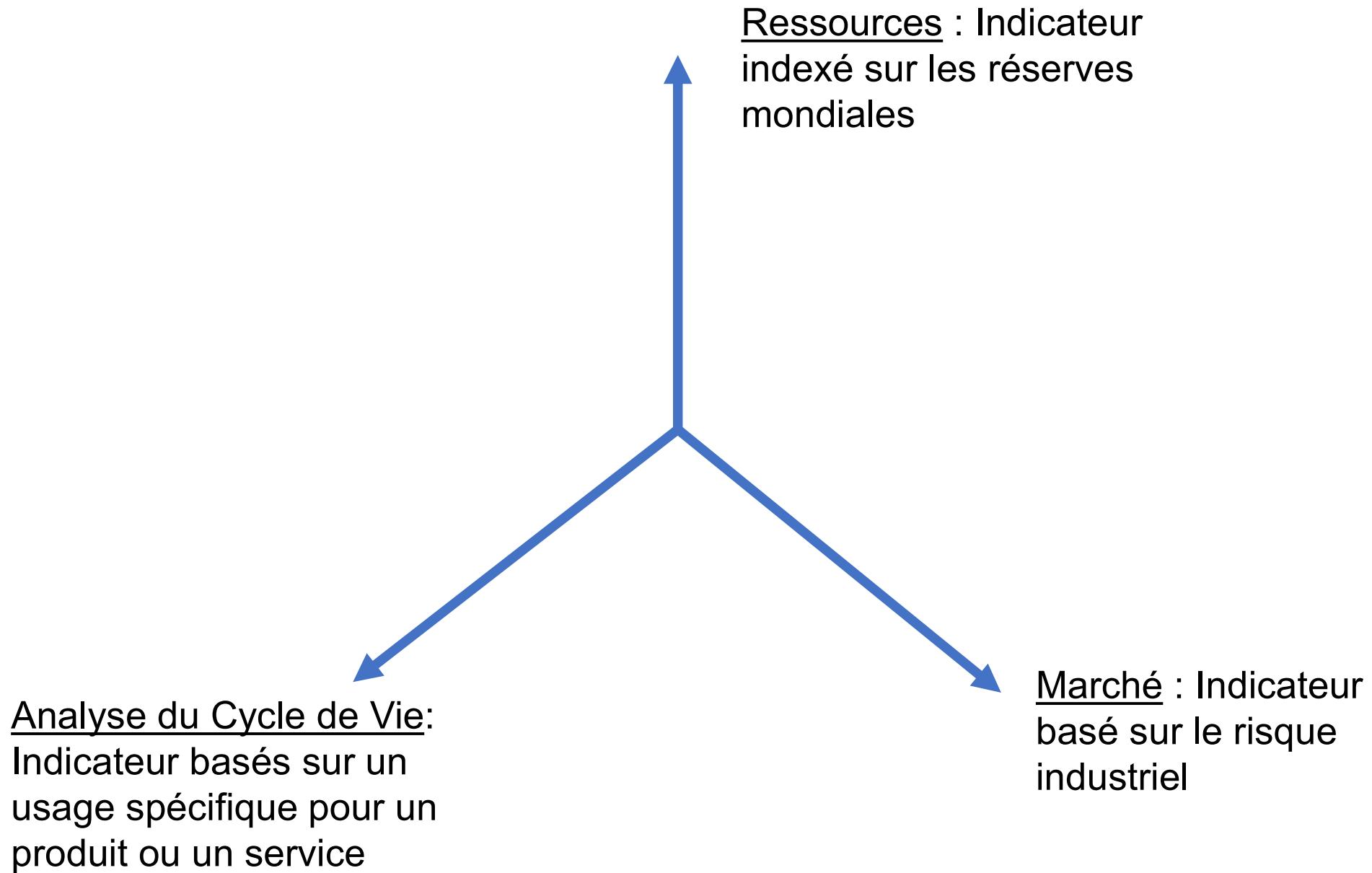
On retrouve dans les minéraux et métaux environ 80 matériaux dont les Platinoïdes (5 matières) et les terres rares (15 matières)

Principaux indicateurs reflétant la ressources ou le marché

Éléments	Réserve (An) (Source : Mineral commodity summaries 2022 - (Source : UNEP USGS))	Recyclage (%)	TCAM (%) (taux de croissance marché) (Source : fiches de synthèse sur la criticité des métaux - BRGM)	Supply risk (Source : Study on the EU's list of critical raw materials 2020, JRC)	Economic importance (Source: Study on the EU's list of critical raw materials 2020, JRC)
Etain	16	>50%	1	0,9	4,2
Cobalt	45	>50%	5,4	2,5	5,9
Gallium	3000	<1%	2,1	1,3	3,5
Tantale	64	<1%	0	1,4	4
Nickel	32	>50%	4,7	0,5	4,9
Lithium	48	<1%	6,3	1,6	3,1
Antimoine	11	1-10%	3,4	2	4,8
Chrome	14	>50%	4,2	0,9	7,3
Indium	65	<1%	5,1	1,8	3,3
Magnésium	240	25-50%	No Data	3,9	6,6
Manganèse	43	>50%	4	0,9	6,7
Neodyme	50	<1%	4	6,1	4,8
Plomb	18	>50%	No Data	0,1	4
Praséodyme	No Data	<1%	9	5,5	4,3
Strontium	19	<1%	No Data	2,6	3,5
Titane	51	>50%	2	1,3	4,7
Tungstène	36	25-50%	4,3	1,6	8,1
Vanadium	240	<1%	3,2	1,7	4,4
Zinc	18	25-50%	No Data	0,3	5,4
Dysprosium	56	<1%	3,2	6,2	7,2
Gadolinium	No Data	<1%	No Data	6,1	4,6
Lanthane	No Data	<1%	No Data	6	1,5
Cérium	No Data	<1%	No data	6,2	3,5



Trois perspectives pour évaluer les ressources

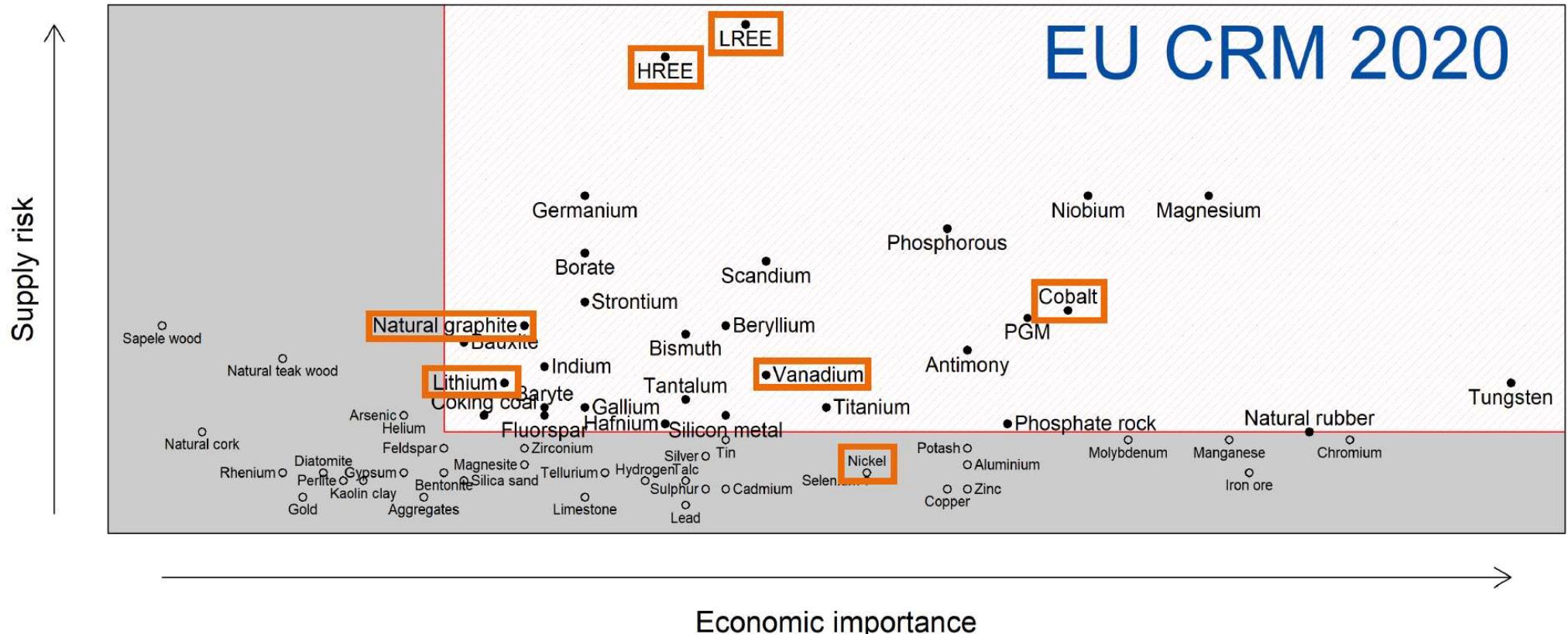


La vision marché un enjeu Européen

La liste des C(S)RM «Critical and Strategic Raw Materials inclut l'ensemble des métaux d'importance stratégiques et indispensable à l'activité économique Européenne

- La liste est mise à jour tous les trois ans par la commission Européenne
- Elle comprend en 2023 un total de 52 matières y compris les terres rares et les platinoïdes
- A la liste de matériaux critiques est venu s'ajouter 2 matériaux stratégiques, le cuivre et le nickel
- Elle concerne soit des matériaux bruts soit des matériaux transformés

Matériaux critiques et transition environnementale

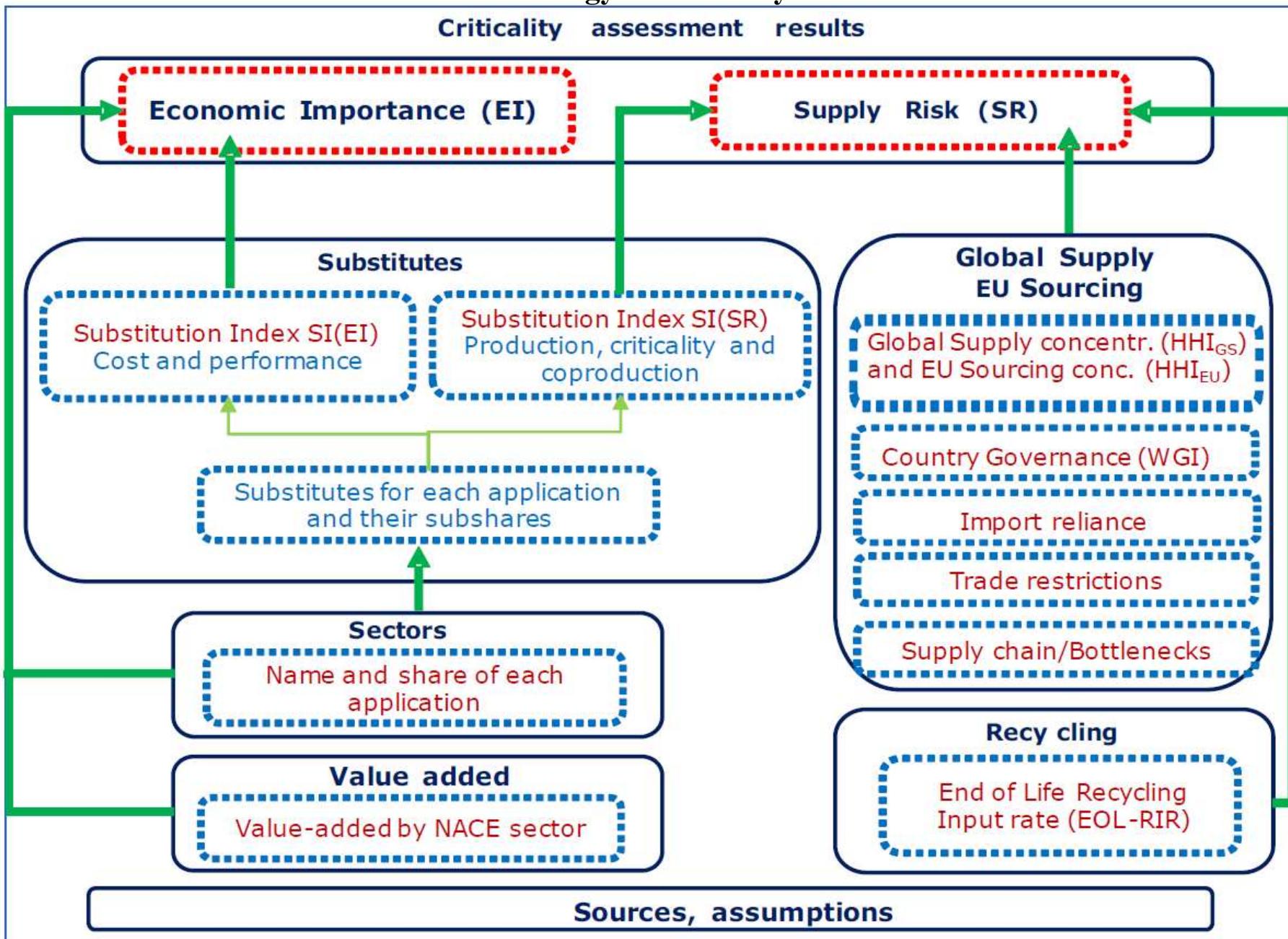


Data from EU (2020): Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Final Report.

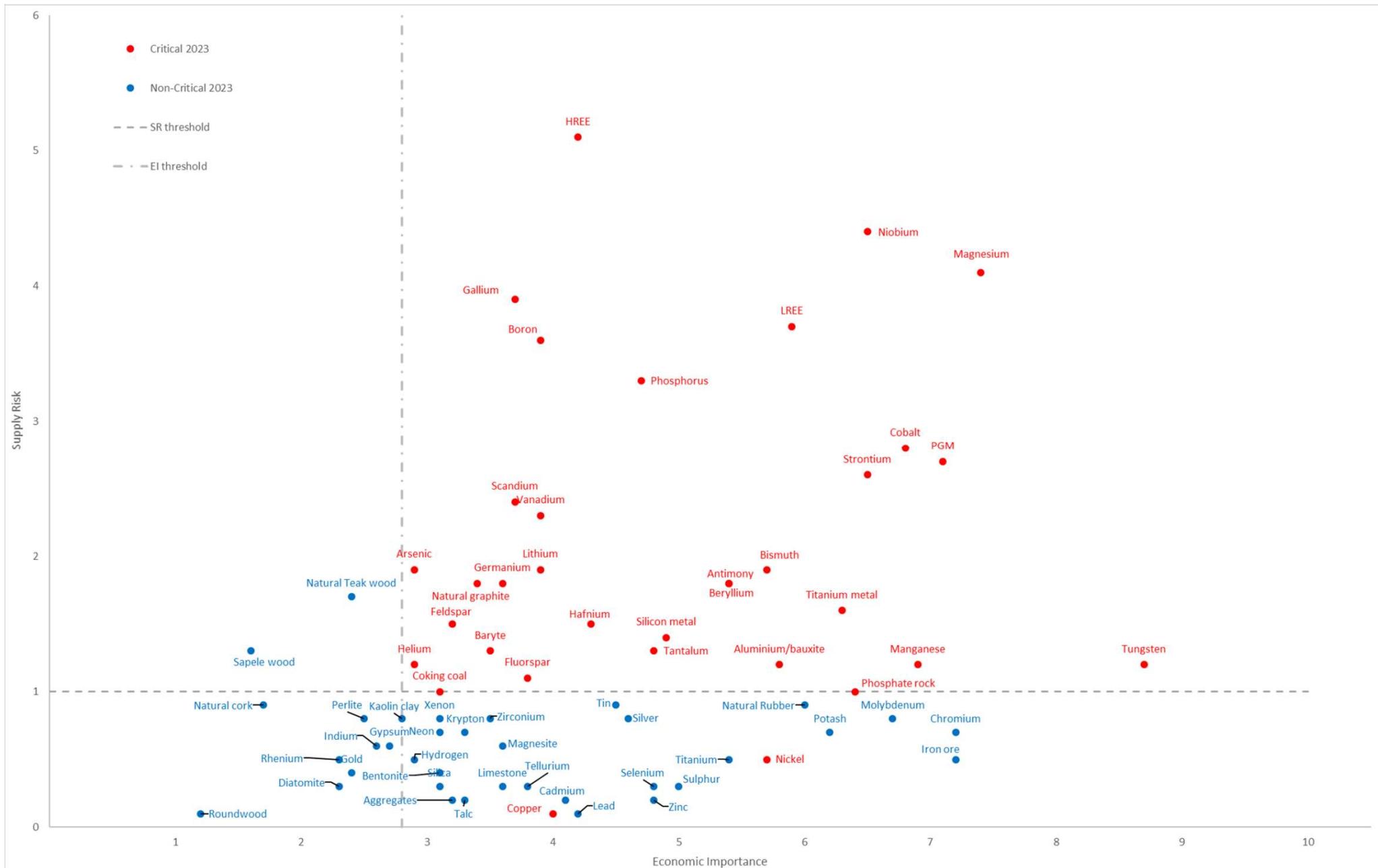
Les CRM entourés en orange sont ceux qui seront indispensables à la transition environnementale



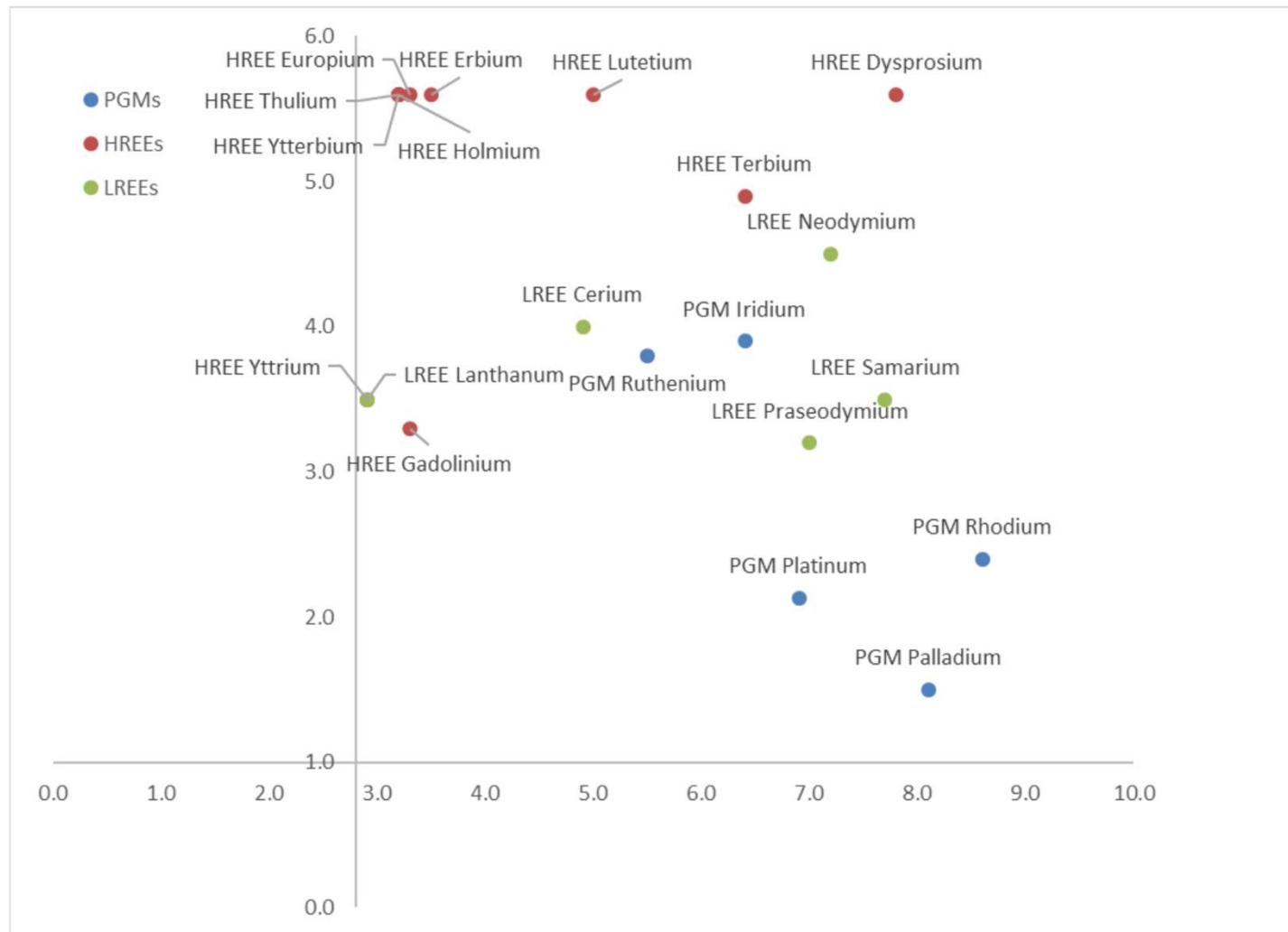
Overall methodology of criticality assessment



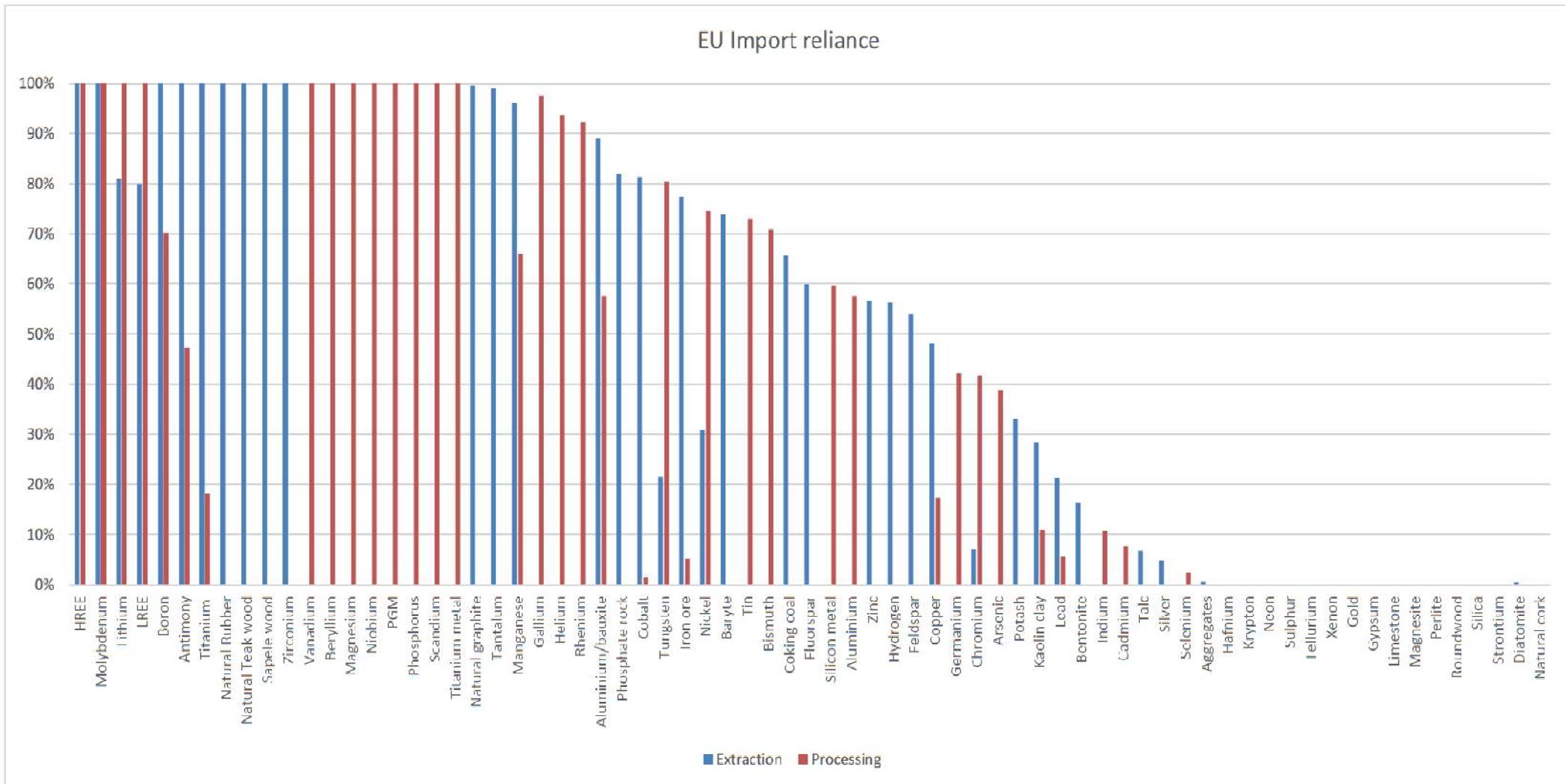
Liste 2023 des matériaux critiques



Criticité des Platinoïdes et des terres rares

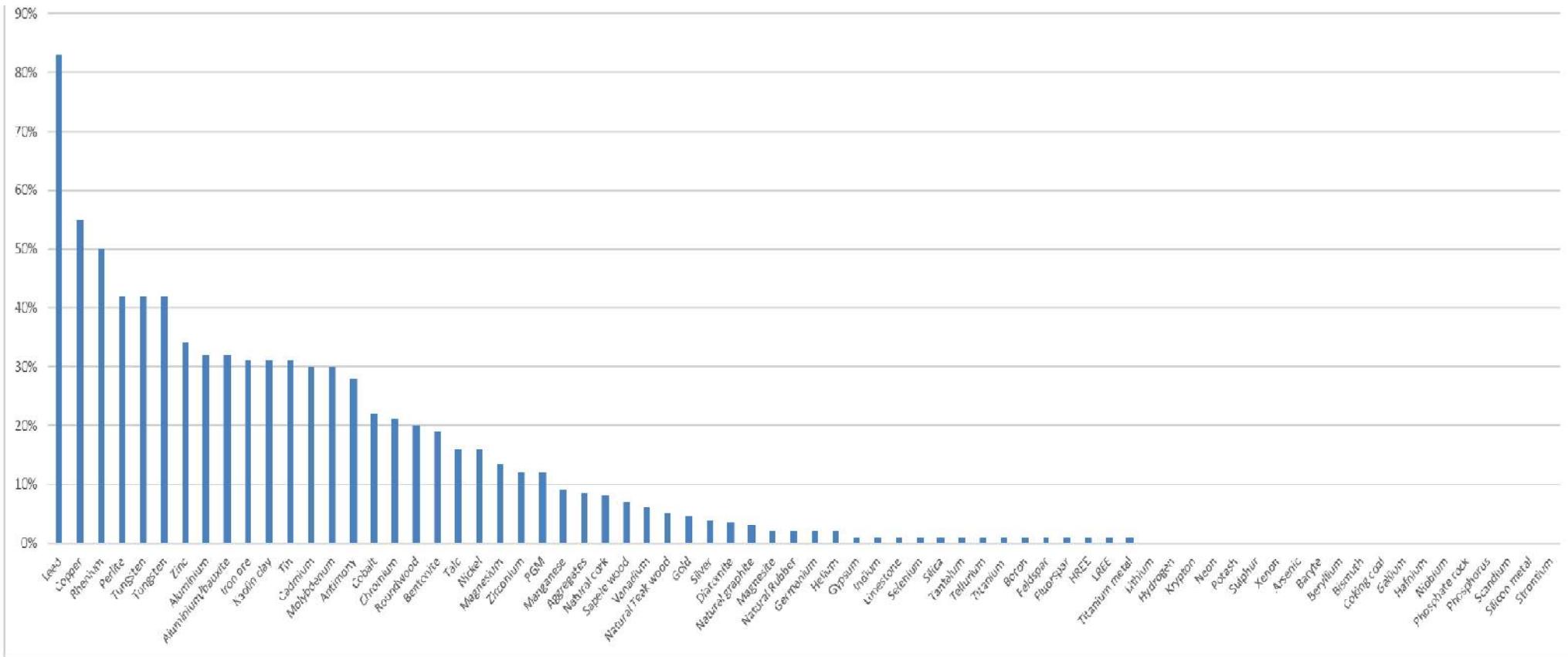


L'indicateur «EU import reliance»



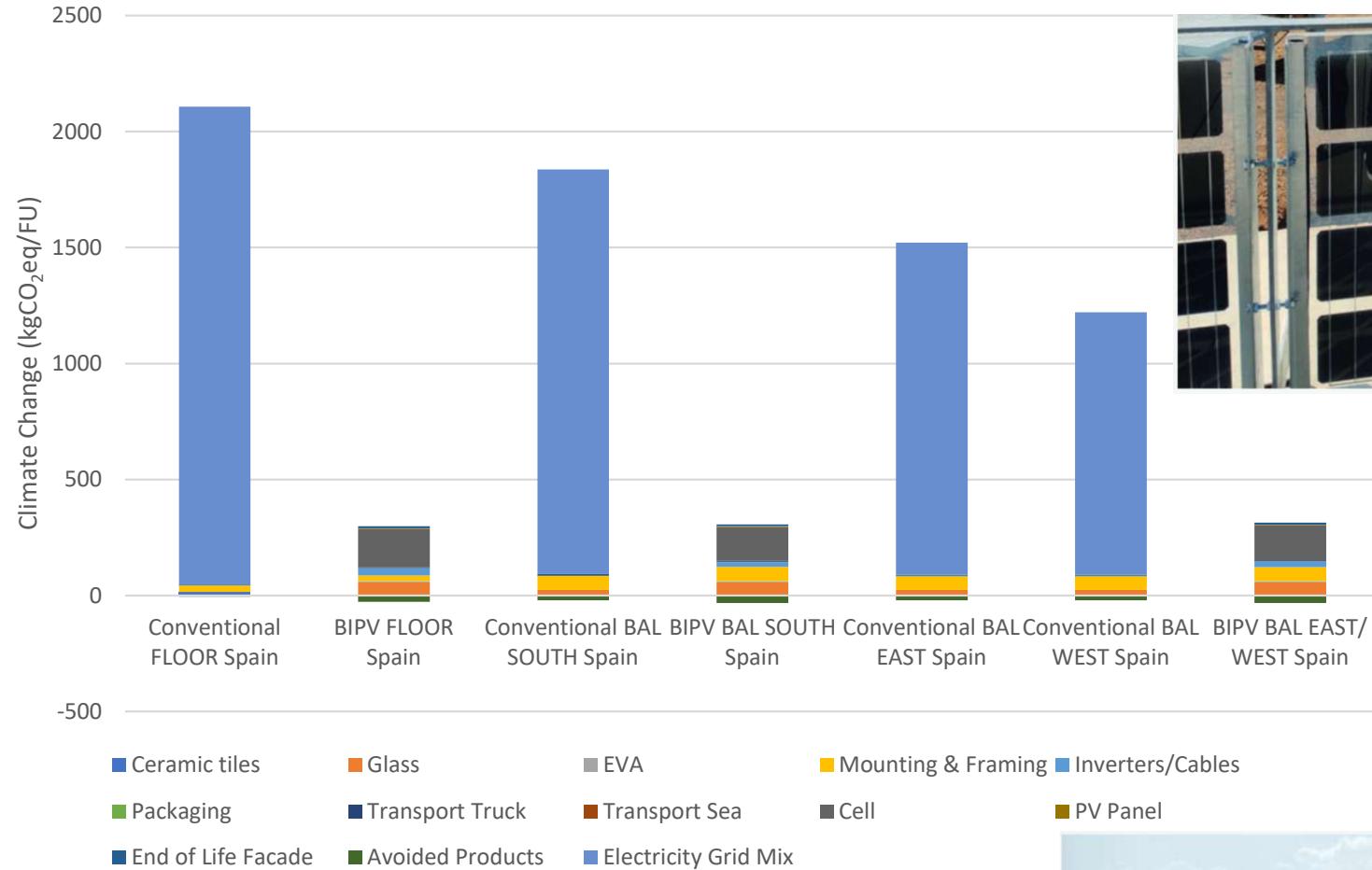
Overview of the material flows into and out of the European economy. Import reliance is calculated as the ratio of net imports (imports minus exports) divided by domestic material consumption

Recyclage en fin de vie (EU) 2023



Le recyclage en fin de vie en Europe est dominé par quelques matières clés

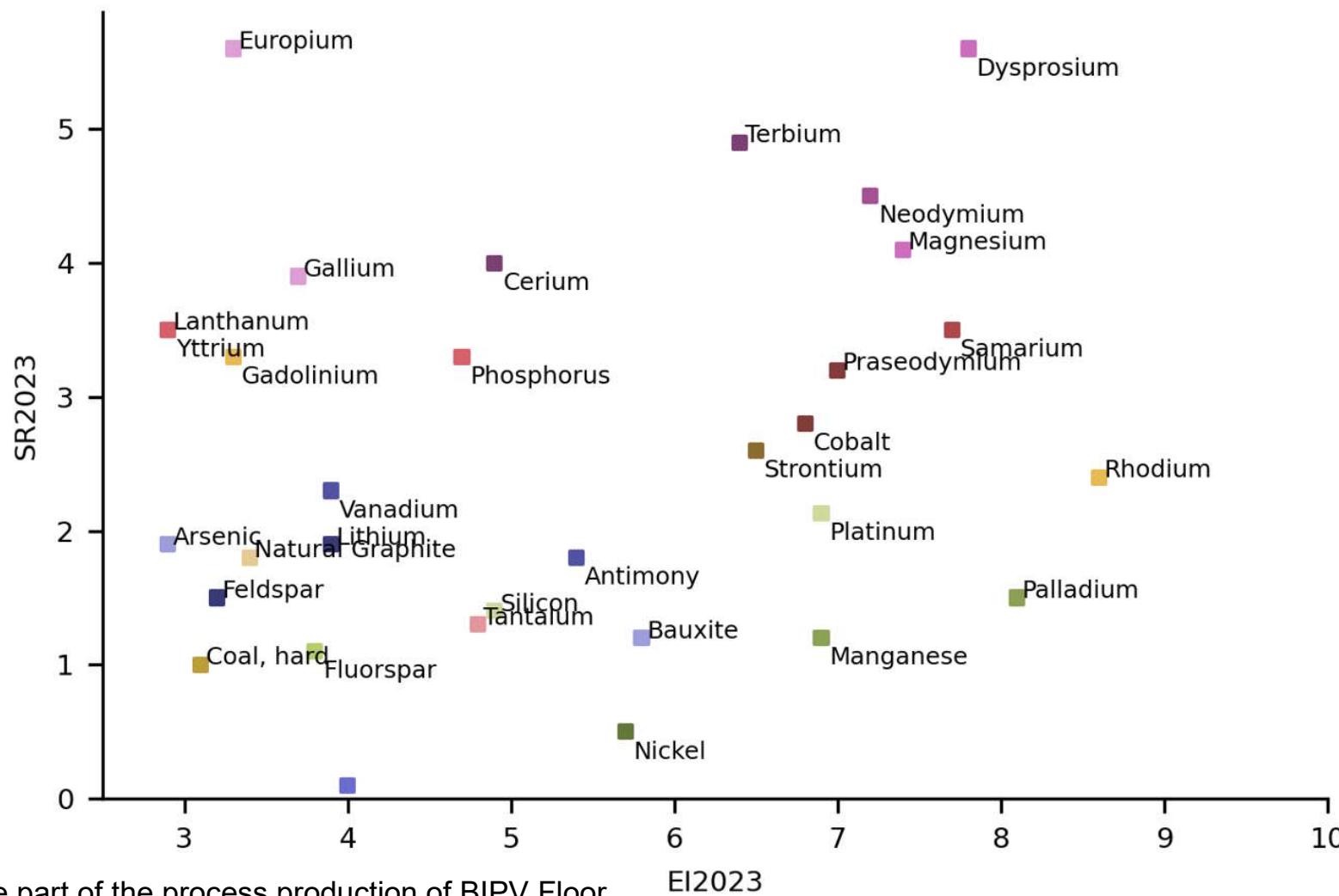
LIFE CYCLE ASSESSMENT BIPVBOOST (EU PROJECT)



- BIPV enables GHG mitigation by a factor 3 to 5
- Cells are dominating the impacts of BIPV
- Bifacial solar cells are very efficient and allow high electricity production especially on east balustrade



PHOTOVOLTAIC SYSTEM CRM IDENTIFIED IN THE BIPV FLOOR SYSTEM

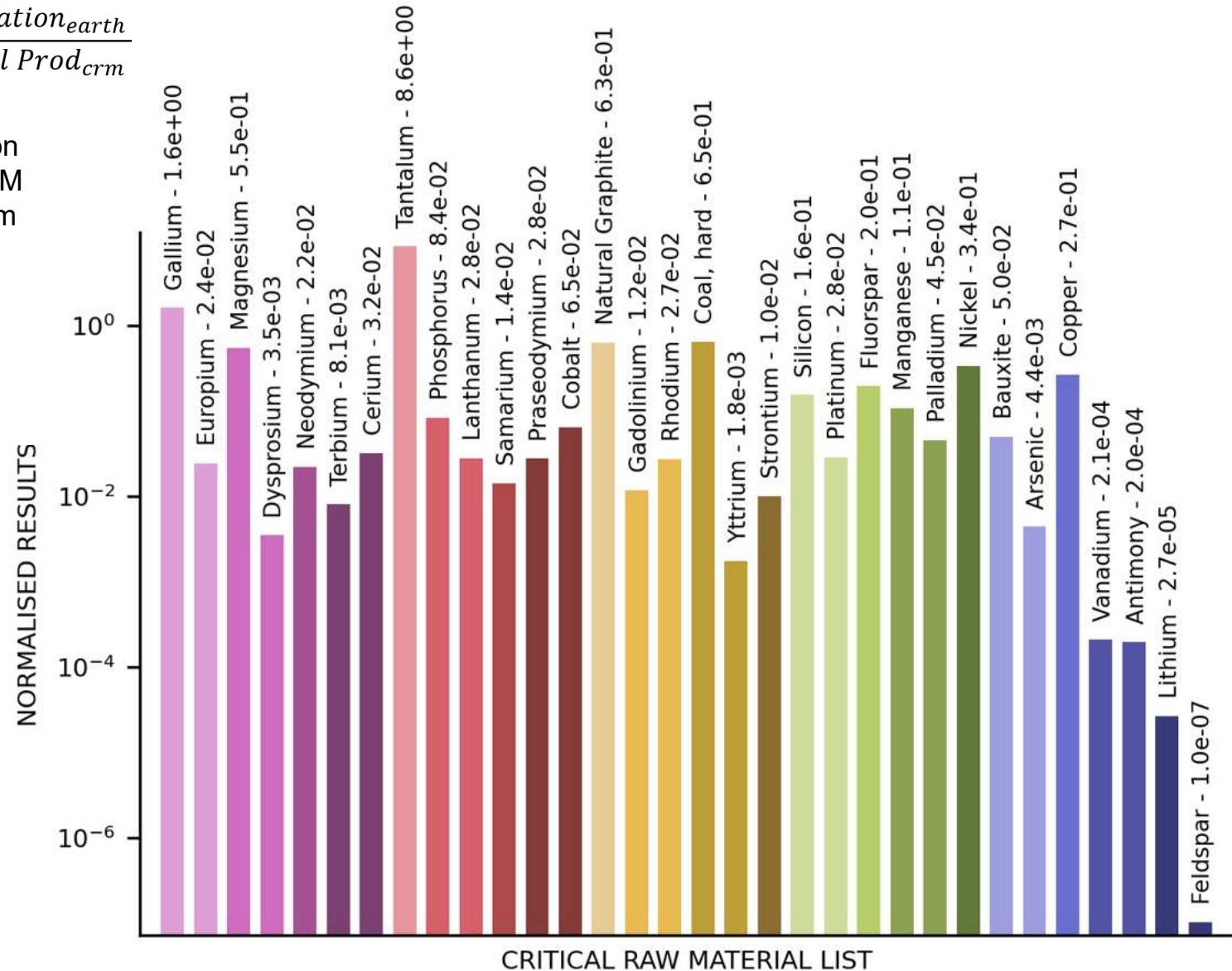


33 CRM are part of the process production of BIPV Floor
in demosite 1

MARKET PRESSURE FOR CRM IN THE FLOOR SYSTEM

$$\text{Normalised}_{\text{crm}} = Q_{\text{crm}} \times \frac{\text{Population}_{\text{earth}}}{\text{Annual Prod}_{\text{crm}}}$$

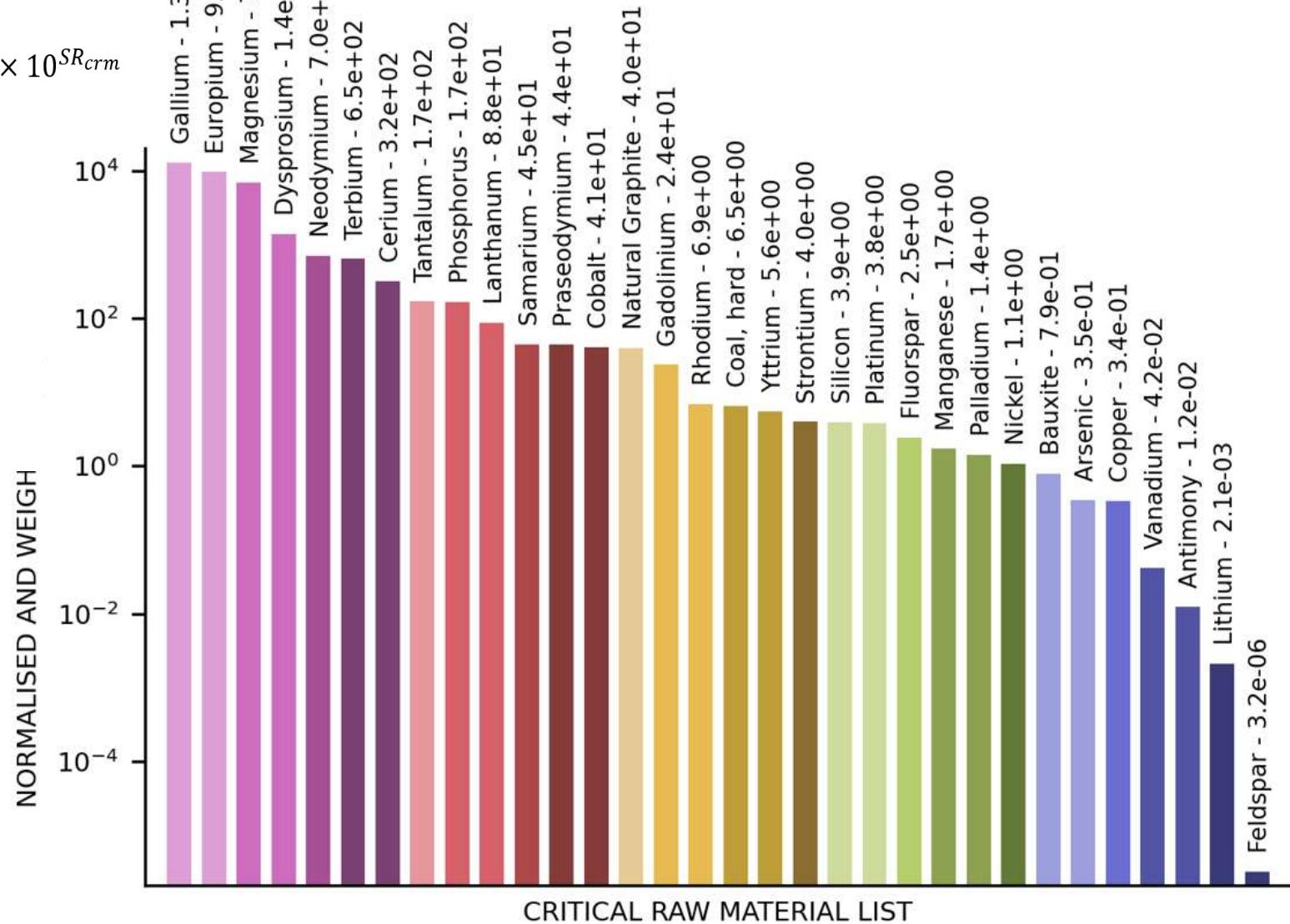
Considering the annual production of CRM on earth, the highest CRM pressure is on Tantalum > Gallium > Natural graphite



SUPPLY RISK ON CRM IN THE FLOOR SYSTEM

$$Weighted_{crm} = Normalised_{crm} \times 10^{SR_{crm}}$$

Considering the supply risk on CRM for Europe, the highest risk on Gallium > Europium
➤ Magnesium



Matériaux critiques et environnement

1. Ils résultent d'une vision marché et peuvent être interprétés en terme de ressource ou en terme d'impact environnemental
2. Ils peuvent être pris en compte en termes de ressources naturelle ou en terme de marché (market pressure et Supply risk)
3. Il est crucial de les prendre en compte pour des modélisation de produits futurs afin de détecter leurs expositions aux CRM
4. Ces indicateurs sont particulièrement intéressant dans une démarche d'éco-conceptoin
5. La liste des matériaux critiques est révisée tous les trois ans