

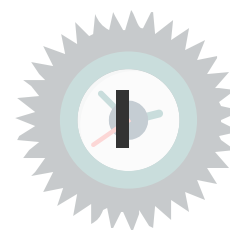
Enjeux pour l'industrie du futur au sein du système Terre

Valérie MOREAU

v3 09/05/2023

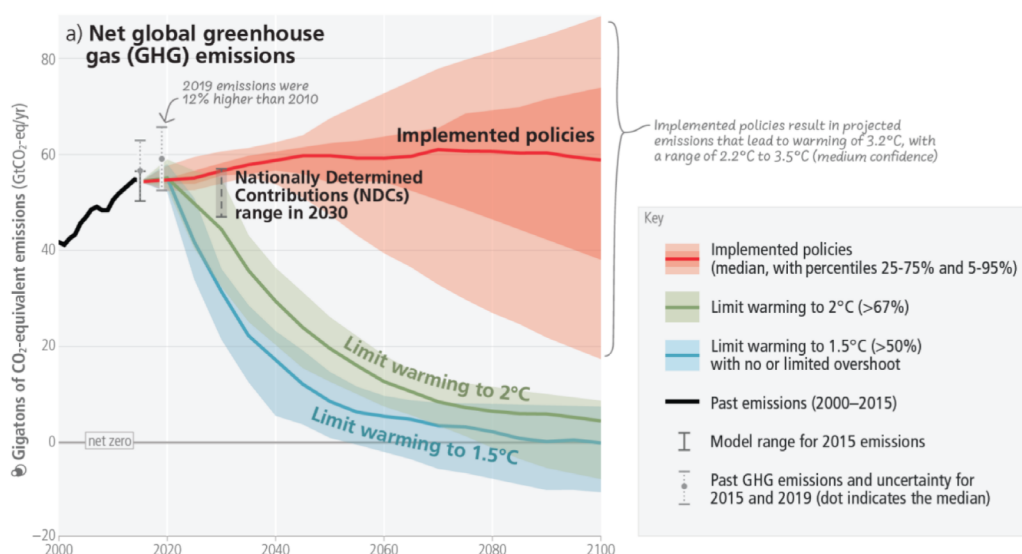
Table des matières

I - Constat	3
1. Scénarios prospectifs du GIEC	3
2. Le rôle des modes de production et de consommation	6
3. Du Développement Durable à la Soutenabilité des activités humaines	9
4. Pistes pour l'évolution des pratiques	13
II - Industrie soutenable	14
1. En quoi le Lean est-il compatible avec la Soutenabilité ?	14
1.1. La philosophie Lean : fondements et principes	14
1.2. Les 3 M	16
2. Quelles sont les limites du Lean management pour une démarche soutenable ?	17
2.1. Une définition limitée de la valeur	18
2.2. La prévalence du flux	19
2.3. Une vision réduite à la perfection.....	20
2.4. Les dérives	20
3. Mise en place de nouveaux indicateurs et de nouveaux types de modélisation de la complexité	21
3.1. Identification de nouveaux types de gaspillages.....	21
3.2. Une analyse étendue du flux matière.....	23
3.3. Une analyse des flux d'énergie et d'eau	23
3.4. Les 3R / les 6R	25
III - Conclusion	29



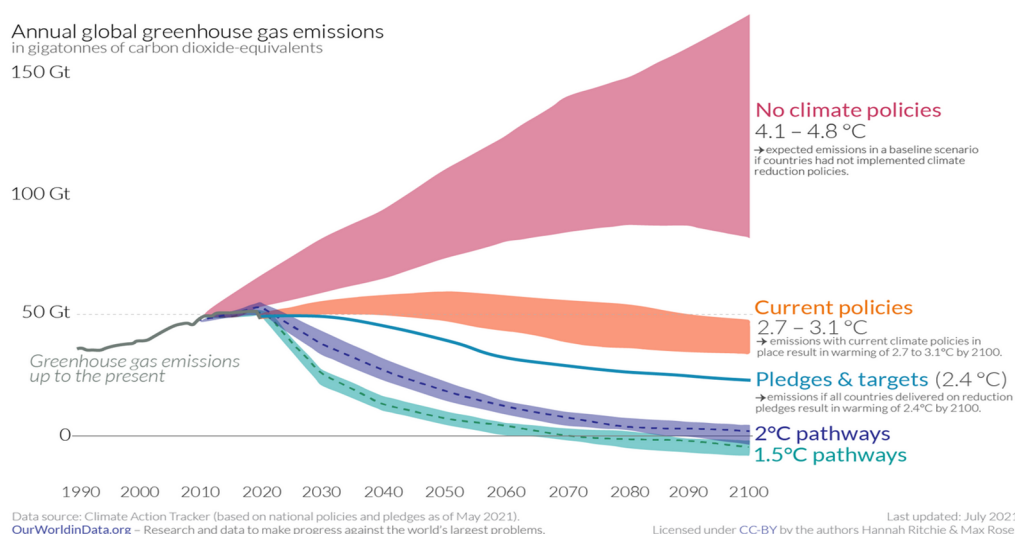
1. Scénarios prospectifs du GIEC

Dans son dernier rapport (AR6) Le GIEC (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/comprendre-giec>) a formalisé les scénarii d'évolution des émissions de GES (Gaz à effet de serre) permettant de comparer la tendance actuelle avec les objectifs fixés par l'Accord de Paris pour rester sous la barre des 2°C de réchauffement climatique global en faisant tout pour ne pas dépasser 1,5°C. On constate une nécessité de réorientation assez radicale pour ne pas franchir ces limites d'ici 2100.



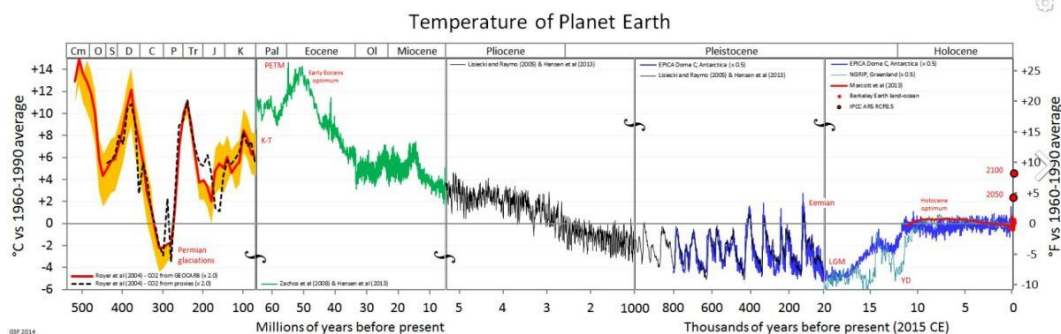
Scénarii d'évolution des émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) au niveau mondial

Pourtant des efforts ont été réalisés depuis la signature de l'accord de Paris en 2015.



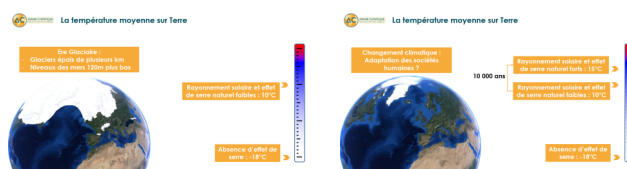
Scénarii d'évolution des émission de GES sans politique climatique

L'humanité a déjà traversé une période de réchauffement de 5° à la sortie de l'ère glaciaire, mais s'étalant sur une période de 10000 ans et avec une densité de population nettement inférieure à celle que nous connaissons aujourd'hui. Les projections scientifiques actuelles prévoient une augmentation de 5°C sur quelques dizaines d'années.



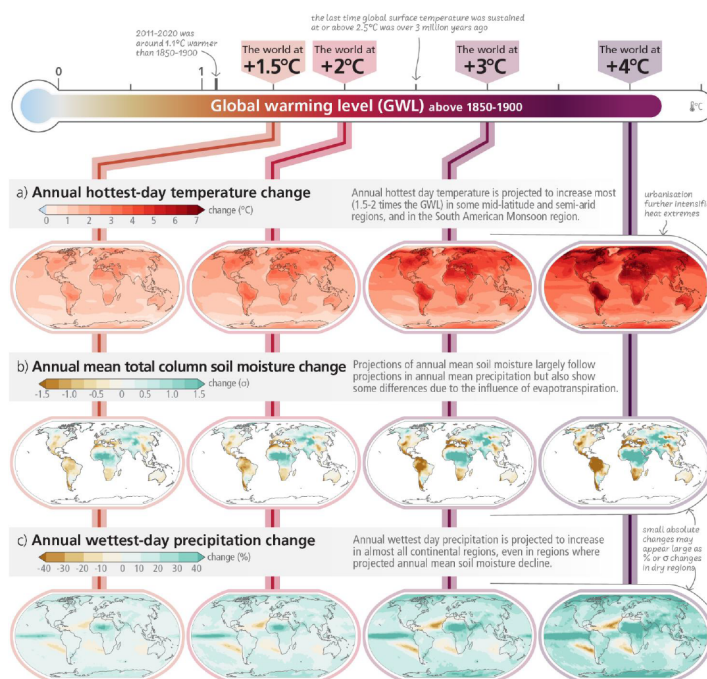
Évolution de la température terrestre

La géographie et notamment la part de terres submergée à l'époque de l'ère glaciaire était sensiblement différente de celle que nous connaissons aujourd'hui.



Bien que les projections scientifiques ne mentionnent pas une montée du niveau des océans aussi importante que celle qui est survenue depuis l'ère glaciaire (120 mètres), la fonte des glaciers et des calottes glaciaires entraînerait une montée des eaux de plusieurs mètres provoquant la submersion de terres habitées.

Selon les scénarii, l'évolution des températures et de la pluviométrie ne sera pas répartie de manière homogène sur l'ensemble du globe.

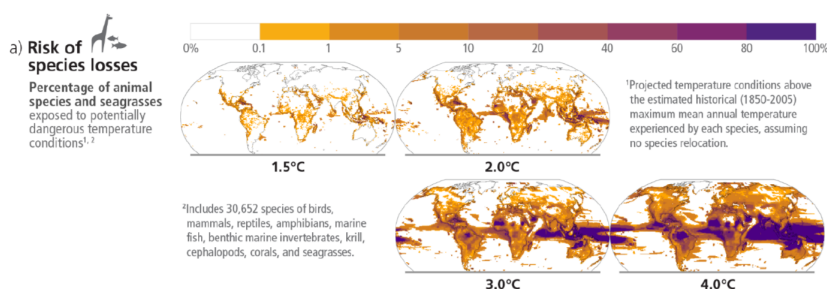


Inégalités climatiques

On observe des différences significatives entre ces différents scénarios ne présentant que 0,5 à 1°C d'écart. On évalue l'importance de chaque dixième de degré de réchauffement.

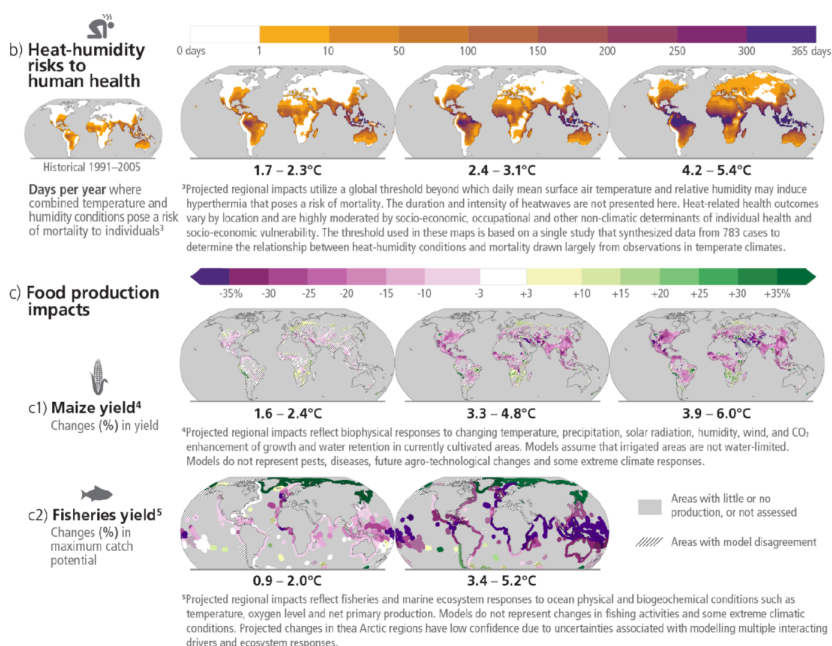
Quelque soit le scénario, on observe sur les cartes du GIEC ci-dessus, une aridification de plusieurs zones habitées, dont le sud de l'Europe.

Le changement climatique, qui est aujourd'hui la 3ème cause d'érosion de la biodiversité après la surexploitation et la destruction des habitats naturels, rendra des zones géographiques, plus ou moins grandes selon les scénarii, impropres à la vie animale et végétale.



Erosion de la biodiversité liée au changement climatique

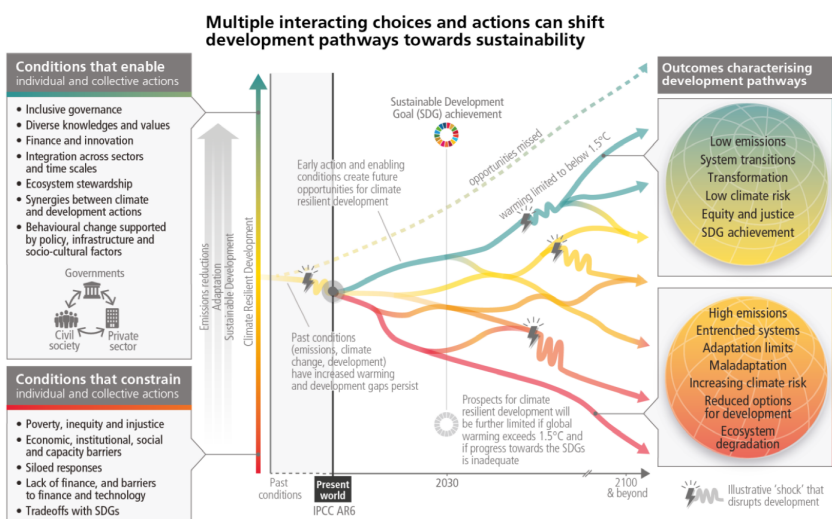
L'humanité appartenant aussi à la catégorie des êtres vivants, ses conditions de vies sont aussi en danger.



Risques pour l'humanité selon les scénarii de changement climatique

Le changement climatique risque d'accroître les inégalités mondiales en faisant peser les risques les plus forts sur les populations déjà les plus vulnérables.

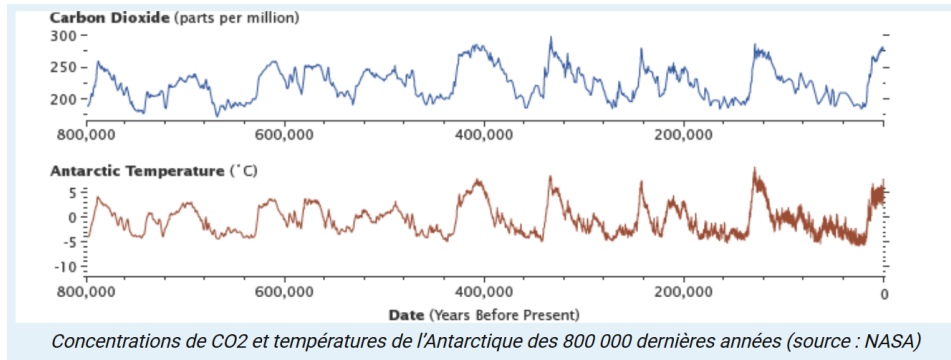
Mais Le GIEC nous dit aussi que les chemins existent pour éviter les pires scénarii et que les solutions existent.



Chemins vers la résilience et la soutenabilité de nos sociétés

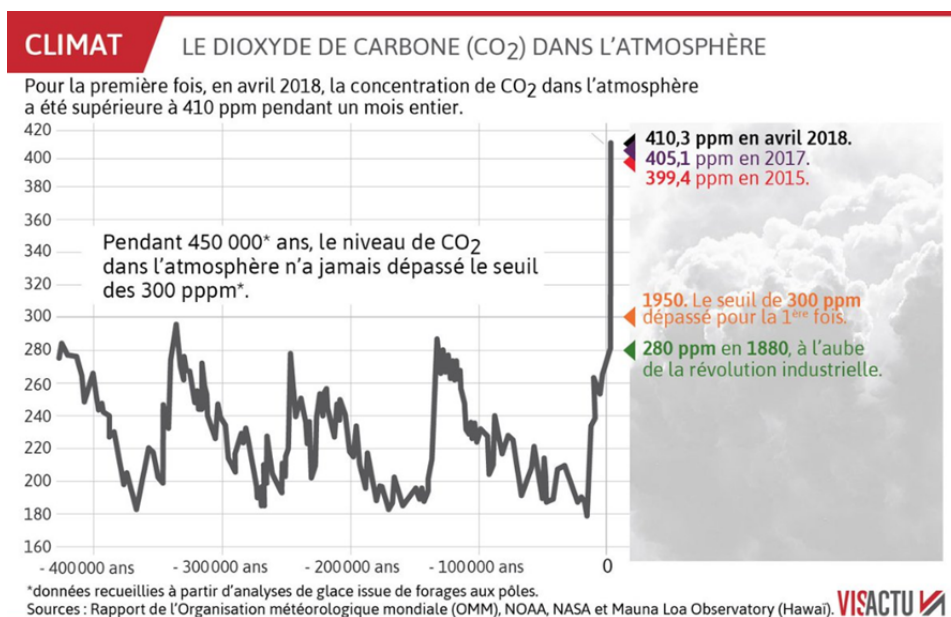
2. Le rôle des modes de production et de consommation

On constate un lien entre la concentration de CO₂ et la température terrestre. Ce lien n'est pas une simple corrélation mais bien un lien de cause à effet : l'augmentation de la concentration de CO₂ augmente l'effet de serre de notre atmosphère et engendre l'augmentation des températures. Il existe d'autres GES (Méthane, Protoxyde d'azote, gaz fluorés...) mais les émissions de CO₂ sont responsables à plus de 70% de l'augmentation de l'effet de serre.



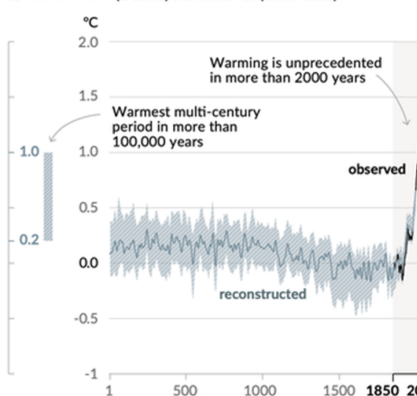
Concentrations de CO₂ et températures de l'Antarctique des 800 000 dernières années

« Les archives glaciaires montrent que les concentrations actuelles de gaz à effet de serre sont les plus élevées depuis au moins 800 000 ans. » (L'année 2016 au-dessus de la prévision centrale des modèles du GIEC, Par Johan Lorck le février 8, 2017)

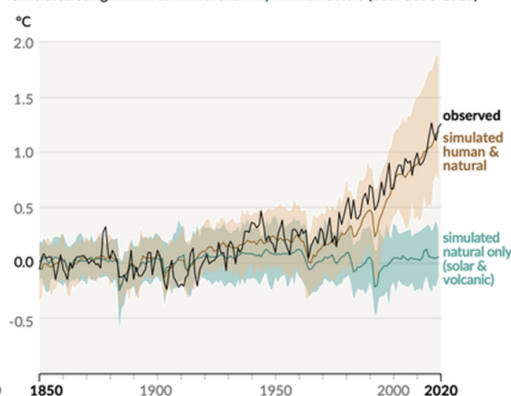


Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)

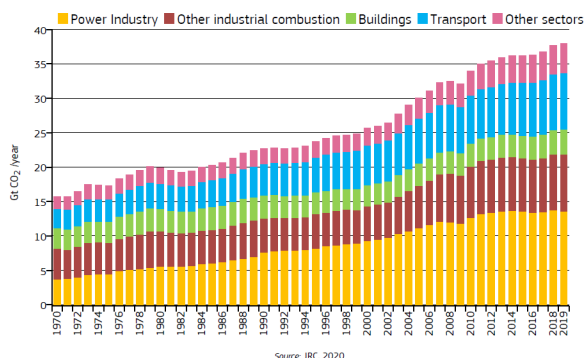


Simulation de l'évolution des températures avec et sans activité humaine

La probabilité de confiance dans le lien entre activités humaines et changement climatique selon la communauté scientifique internationale a évolué de la façon suivante au cours du temps :

- 66% lors du rapport 3 en 2001 (probable)
- 90% lors du rapport 4 en 2007 (très probable)
- 95% lors du rapport 5 en 2014 (extrêmement probable)
- >99% lors du rapport 6 en 2021 (virtuellement certain, univoque)

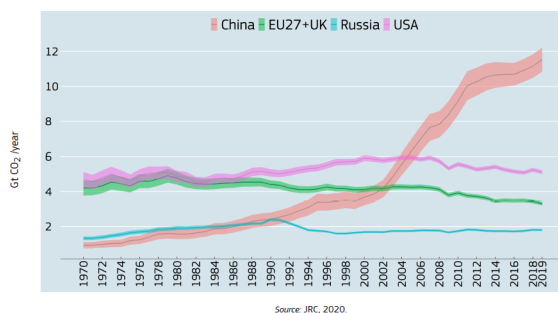
On constate que les émissions de CO₂ issues des énergies fossiles n'ont cessé de croître entre 1970 et 2017. Si l'on cumule la part de l'industrie liée à la production d'énergie, l'industrie liée à la production de biens et une certaine part de transport pouvant être imputée à la logistique industrielle, on constate que l'industrie occupe une place prépondérante dans les émissions de CO₂.



EU, Fossil CO2 emissions of all world countries - 2020 Report -
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121460>

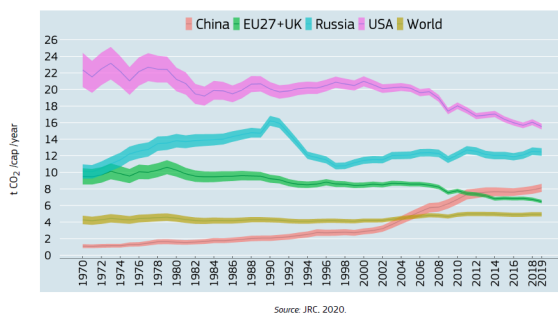
On constate aussi une forte augmentation des émissions CO₂ de la Chine liée au développement significatif de son industrie depuis la fin des années 90. L'importance de ces émissions peut cependant être relativisée par le nombre d'habitants de chacun de ces pays.

Figure 3. Total annual emissions of fossil CO₂ in Gt CO₂/yr for the EU27+UK and large emitting countries with uncertainty (coloured bands).



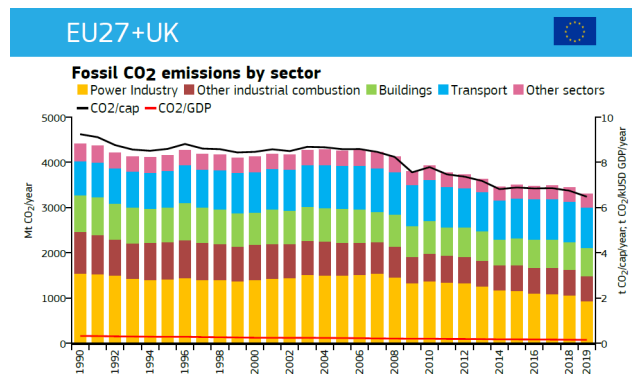
Emissions territoriales annuelles des pays les plus émetteurs

Figure 4. Per capita CO₂ emissions (in t CO₂/cap/yr) from fossil fuel use, industrial processes and product use for the EU27+UK and large emitting countries with uncertainty (in coloured bands) and for the world average.

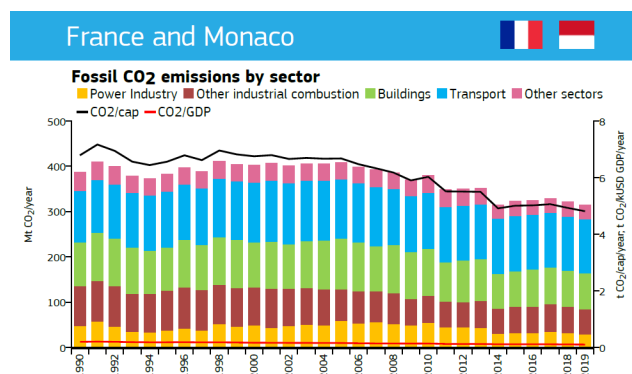


Emissions territoriales de CO2 par habitant des pays les plus émetteurs

Le schéma suivant représente le détail de l'évolution des émissions CO₂ en Europe entre 1990 et 2019. On constate, comme sur la courbe verte du schéma précédent, une légère diminution liée à une baisse sur le secteur industriel et l'habitat.



Emissions territoriales de CO2 en Europe entre 1990 et 2019



Emissions territoriales de CO2 en France entre 1990 et 2019

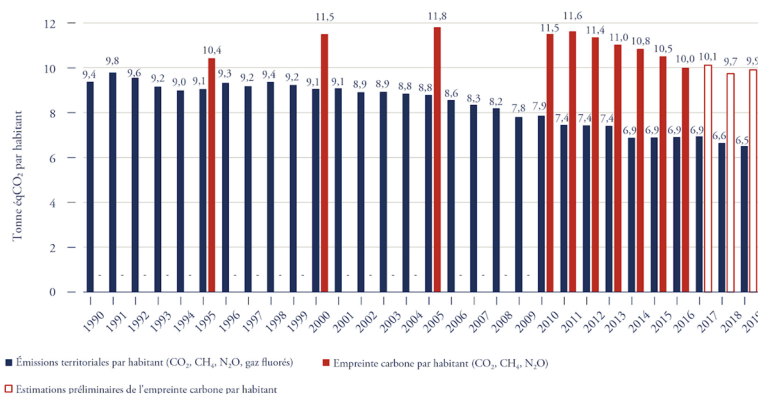
Cette diminution est cependant notamment liée à une délocalisation de la production, notamment en Chine. Il faut distinguer les émissions territoriales et l'empreinte carbone (cette dernière incluant les émissions importées et déduisant les émissions exportées).

A l'échelle de la France, on constate en effet un découplage entre les émissions territoriales et l'empreinte carbone des Français.

HAUT CONSEIL
pour le CLIMAT

Source : rapport annuel du Haut conseil pour le climat 2020 © Haut conseil pour le climat.

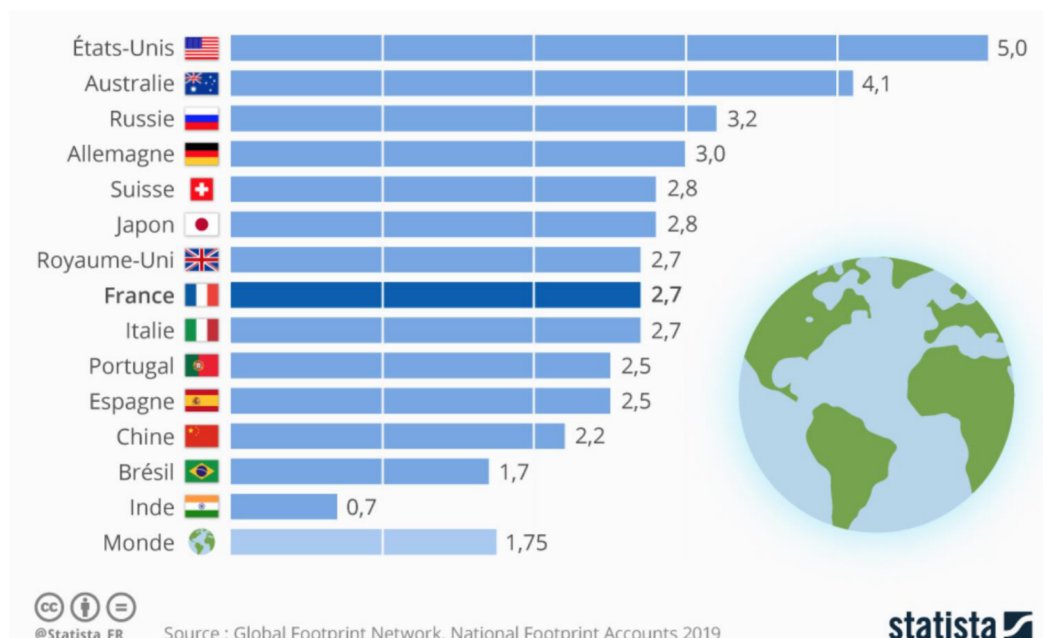
Figure 1.3 – Émissions territoriales de gaz à effet de serre (hors UTCATF)
et empreinte carbone de la France entre 1990 et 2019



NB : Les données d'empreinte 2017-2019 correspondent à des émissions préliminaires résultant d'extrapolations
Source : Traitements HCC d'après Citepa (avril 2021 - Format SECTEN), SDES (2020).

Découplage entre émissions territoriales et empreinte carbone des Français

Et au delà des émissions de CO₂, on constate sur le schéma suivant, qu'une planète Terre ne suffit pas pour assumer le mode de vie de la moyenne des êtres humains, avec de grosses disparités entre les pays. Si chaque être humain vivait par exemple comme un français, nous aurions besoin de près de 2,7 planètes Terre.



Emprise environnementale par pays

3. Du Développement Durable à la Soutenabilité des activités humaines

Le Développement Durable - Rapport Brundtland 1987

Utilisé depuis le début des années 80 dans la littérature scientifique, le terme de "sustainable development" est apparu pour la première fois à destination du grand public en 1987 dans le Rapport Brundtland rédigé par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies et officiellement intitulé Notre avenir à tous (Our Common Future). Il a été traduit en français par le terme "développement durable" en 1988.

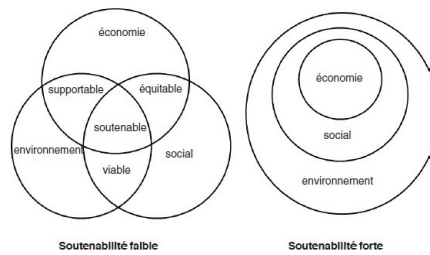
« **Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.** Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. »



Schéma du développement durable, à la confluence de trois préoccupations, dites « les trois piliers du développement durable »

Ces concepts sont nés d'une prise de conscience dans les années 70 de la finitude écologique de la terre, avec une volonté de concilier cette contrainte avec le développement économique et sociale des sociétés humaines. Ce dernier a pourtant continué à se faire au détriment du pilier écologique.

La soutenabilité

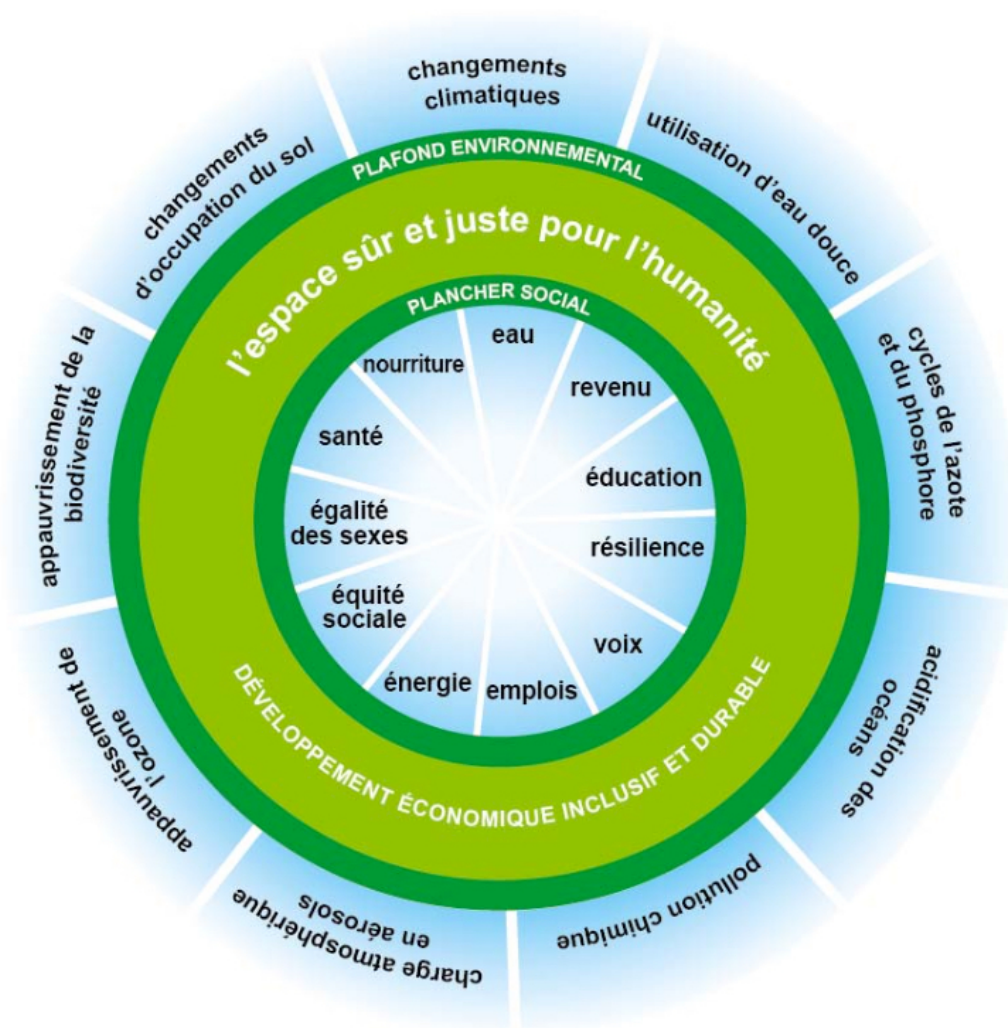


Cette représentation inclusive des trois cercles est issue de l'économie écologique.

« l'économie écologique et le développement durable poursuivent un objectif commun : prendre en compte l'ensemble des générations actuelles et des générations à venir dans le développement économique. Mais les économistes écologiques, estimant que cet objectif n'a pas été atteint par le "développement durable", prônent une prise en compte des limites environnementales et sociales de l'économie beaucoup plus stricte, qui se traduit par un glissement terminologique en français. Il est intéressant de constater que ni le terme anglais (sustainable) ni le terme espagnol (sostenible) ne changent d'un domaine à l'autre, alors que la radicalisation du concept a eu pour conséquence une transformation non seulement du signifié, mais également du signifiant en français. Le traducteur francophone chargé de traduire un texte lié aux sciences environnementales doit donc choisir entre les termes "durable" et "soutenable", indiquant son adhésion aux idées de l'économie écologique s'il opte pour le second. »

Sabri-Fabrice Sayhi, « Traduire dans le domaine de l'économie écologique : les difficultés terminologiques », Traduire [En ligne], 227 | 2012, mis en ligne le 01 décembre 2014, consulté le 04 juin 2020. URL : <http://journals.openedition.org/traduire/474> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/traduire.474>

La Théorie du Donut

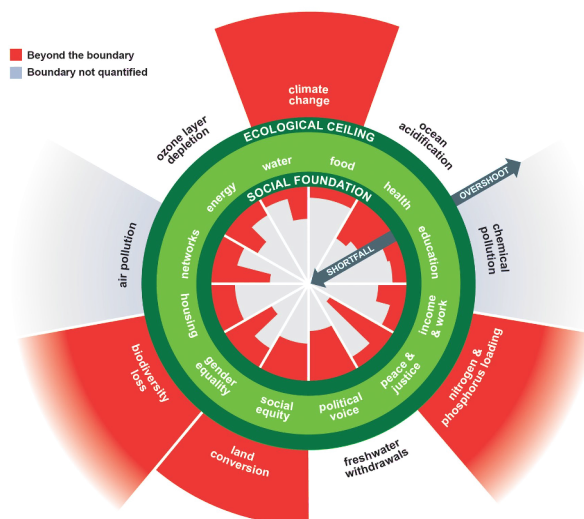


La théorie du Donut, née sous le crayon de Kate Raworth, est diffusée pour la première fois en 2012, avant de paraître en français en 2018 aux éditions Plon.

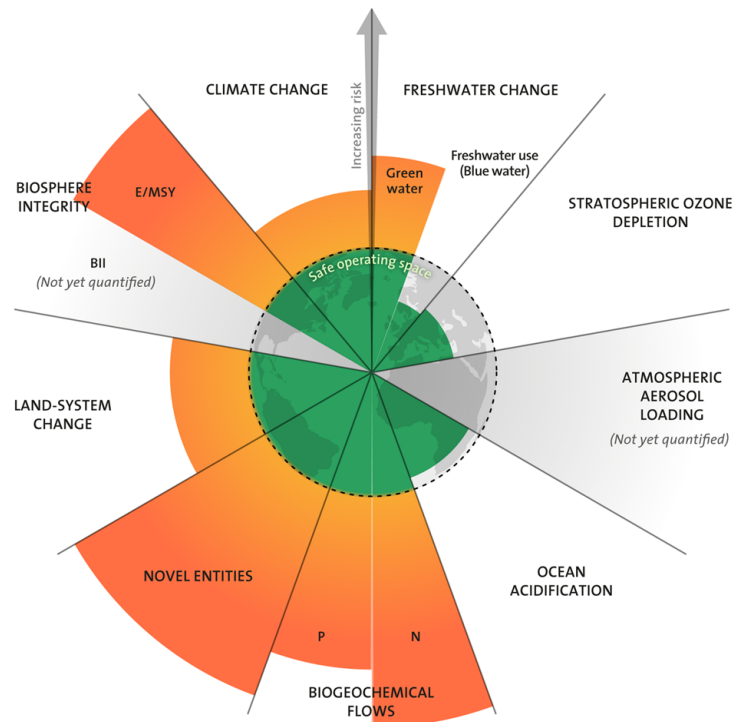
Les 9 limites planétaires à ne pas dépasser sont 9 processus naturels qui ensemble régulent la stabilité de la biosphère.

Les 11 enjeux de justice sociale permettent de mesurer la qualité de vie d'une société.

Avec cette théorie, l'objectif d'une société est d'atteindre le "plancher social" sur les enjeux de justice sociale sans jamais dépasser le "plafond environnemental" sur les limites planétaires.



Situation mondiale en 2017



Limites planétaires

A l'échelle mondiale, nous avons déjà dépassé 6 (soit 2 de plus qu'en 2017) des 9 limites planétaires :

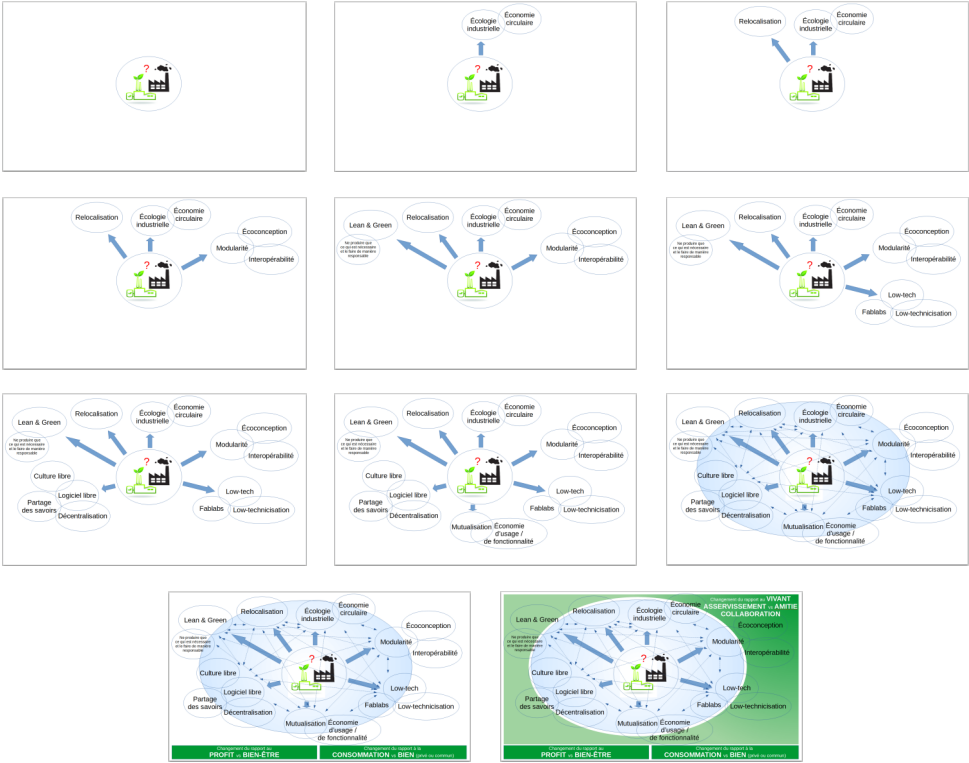
- Le changement climatique
- La perte de biodiversité
- Le changement d'usage des sols
- Le cycle de l'azote et du phosphore
- L'eau douce (eau verte)
- La pollution chimique



Kate Raworth | TED 2018 : A healthy economy should be designed to thrive, not grow

Je vous invite à lire ce court article et à regarder la **vidéo TED** qui le conclut : <https://www.oxfamfrance.org/actualite/la-theorie-du-donut-une-nouvelle-economie-est-possible/>

4. Pistes pour l'évolution des pratiques



Industrie soutenable



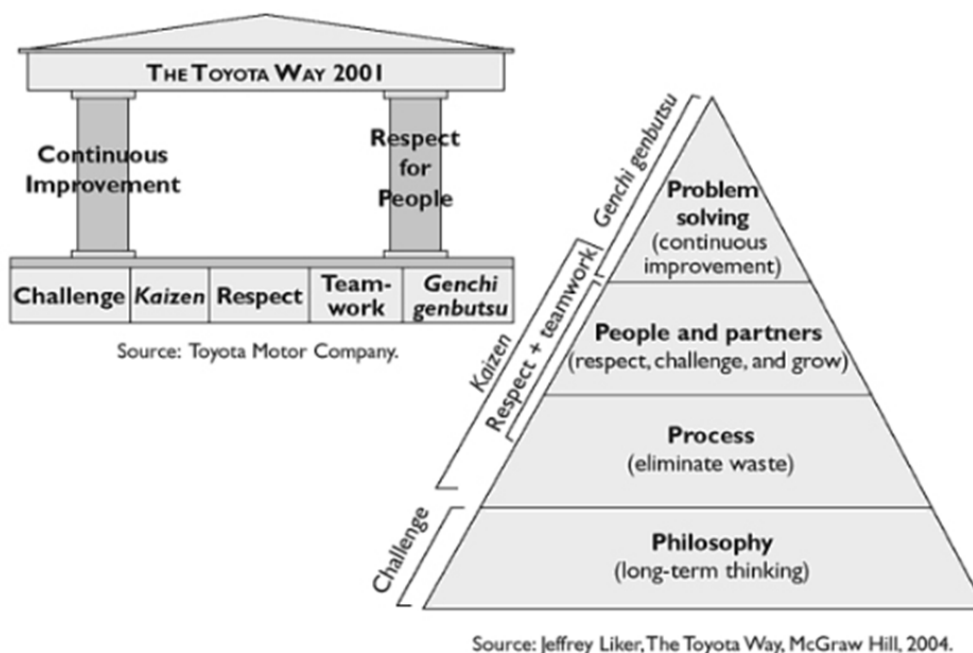
Pour étudier la compatibilité et les limites des démarches Lean au regard des enjeux socio-écologiques actuels, les deux parties qui suivent s'appuient sur deux ouvrages :

- Le modèle Toyota - 14 principes de management (Jeffrey Liker)
- Système Lean - Penser l'entreprise au plus juste (James Womack et Daniel Jones)

1. En quoi le Lean est-il compatible avec la Soutenabilité ?

1.1. La philosophie Lean : fondements et principes

Revenons à la source du Lean : le système Toyota



Fondement 1 : La vision

Asseoir les décisions sur une philosophie à long terme, même si cela doit se faire au détriment des objectifs financiers à court terme.

Avoir et formaliser une mission philosophique de l'entreprise

- Un but commun au-delà du profit
- Fondement de tous les autres principes, transcendant la prise de décision immédiate
- Cohérent avec l'histoire de l'entreprise et visant à l'amener au niveau supérieur

Générer de la valeur

- Au bénéfice du client, de la société et de l'économie
- Évaluer les fonctions de l'entreprise par rapport à cet objectif

Être responsable

- Ne pas subir un système
- Confiance dans ses capacités et celles des autres
- Assumer les erreurs comme source de progrès
- Renouveler les compétences

L'application de ce premier fondement de la pensée Lean devrait conduire toutes les entreprises qui se prévalent de la mise en œuvre d'une démarche Lean à renouveler la mission philosophique de l'entreprise pour tenir compte des enjeux du XXI^{ème} siècle.

Lien avec la « raison d'être » d'une entreprise à mission (loi PACTE mai 2019)



Ce premier fondement est très proche de la formalisation de la **raison d'être** d'une entreprise.

« Les entreprises **ne se limitent pas à la recherche du profit**. L'entreprise doit être le lieu de création et de partage de sa valeur. Le Plan d'action pour la croissance et la transformation des entreprises (PACTE) permet de redéfinir la raison d'être des entreprises et de renforcer la prise en compte des enjeux sociaux et environnementaux liés à leur activité. » (<https://www.economie.gouv.fr/loi-pacte-redefinir-raison-etre-entreprises>)

« La raison d'être sera le projet de long terme dans lequel s'inscrit l'objet social de l'entreprise. La consécration de cette notion dans le Code civil aura un effet d'entraînement en incitant les entreprises à être plus **orientées vers le long-terme**. » (https://www.economie.gouv.fr/files/files/2019/PACTE_Juin2019/bro-a4-pacte.pdf?v=1598601160)

Fondement 2 : Les processus

S'attacher à la manière dont on travaille avant de se préoccuper des résultats. Si on travaille bien les résultats suivront.

- Faire apparaître les problèmes et s'arrêter pour les résoudre
- Produire au **juste besoin**
- Partager avec tous les méthodes de travail et l'information de manière visuelle pour **favoriser l'autonomie**
- N'utiliser que des **technologies fiables**, soigneusement testées et **au service des employés et processus**

Ce second fondement contribue à une certaine frugalité à travers la recherche du juste besoin aussi bien en termes de production que de processus. Il se soucie donc d'une économie de ressources et d'énergie tout au long du processus. Il cherche aussi à rendre visible les informations et indicateurs de pilotage afin que chacun soit en mesure de prendre des décisions à son niveau (dimension sociale). L'approche technologique, non fondée sur une course au progrès et à l'innovation, serait compatible avec une approche low-technicienne.

Fondement 3 : Les personnes

Placer la valeur de l'organisation dans les personnes qui la composent.

- Former les personnes pour développer leurs compétences
- Privilégier la promotion interne au recrutement externe
- Partager la culture et les valeurs de l'entreprise
- Écouter et faire confiance aux personnes pour améliorer l'organisation
- Diffuser une culture du collectif et du travail en équipe
- Créer des équipes interfonctionnelles et interdisciplinaires

- Avoir des managers exemplaires qui connaissent le travail quotidien et sont porteurs de la mission philosophique de l'entreprise
- Protéger le patrimoine de connaissance par la pérennisation des ressources humaines et la gestion des promotions internes
- Respecter le réseau de partenaires et de fournisseurs en les encourageant et en les aidant à progresser

Ce troisième fondement contribue au **développement social et humain**.

Fondement 4 : L'amélioration

La résolution continue de problèmes comme moteur d'apprentissage.

- Avoir une connaissance réelle et sincère des situations en se déplaçant sur le terrain pour les comprendre, quelque soit le niveau hiérarchique
- Mener une analyse critique régulière sur ses propres actions pour identifier le potentiel d'amélioration
- Prendre le temps nécessaire à une prise de décision consensuelle et mettre en application rapidement
- Concilier des petites améliorations quotidiennes et des chantiers de transformation pour converger vers la vision

Ce quatrième fondement, relié aux trois précédents, est celui qui va permettre à l'organisation de se transformer.

1.2. Les 3 M

Les 7 Muda

Le fait de chercher à éviter les gaspillages est tout à fait cohérent avec le principe de soutenabilité :

- **Défaut/erreur, Stocks, Surproduction** : Le meilleur déchet est celui qu'on ne produit pas. Les défauts/erreurs nécessitent l'utilisation de ressources (MP et énergie) qui pourrait être économisées. Les stocks génèrent des besoins conséquents en termes de structure et d'occupation des sols et ont donc un impact sur la transformation d'usage des sols et les écosystèmes du lieu d'implantation du site industriel.
- **Transport, Déplacements** : Lorsqu'ils sont motorisés ces derniers ont un double coût énergétique : lors de leur fonctionnement et lors de la fabrication des moyens de transport. L'augmentation cumulée des besoins de transport nécessite aussi des infrastructures de plus en plus développées ayant un impact sur les écosystèmes.
- **Opérations inutiles (sans VA)** : Ces opérations sont source de transport, de déplacement et de consommation d'énergie et de matière.
- **Attente** : L'attente est sans doute le Muda qui a le moins d'impact sur le dépassement du plafond environnemental. Elle n'est réellement préjudiciable que si cette attente reste consommatrice d'énergie (moyens liée au fonctionnement de l'organisation comme la lumière, le chauffage, les processus de production, etc.) ou si la mission de l'entreprise contribue de manière positive aux enjeux socio-écologiques.

Le 8ème muda :

- **Production de produits/services ne répondant pas à un besoin** : L'entreprise consomme des ressources, de l'énergie, des moyens humains, etc. pour produire de la non-valeur ajoutée.

Le 8ème Muda : Production de produits/services ne répondant pas à un besoin du client

Ce muda peut avoir plusieurs origines :

- Une mauvaise étude du marché actuel, une mauvaise écoute des besoins du clients, une non implication des utilisateurs finaux dans le processus de conception... : c'est le cas pour ne nombreuses applications informatiques, notamment au début des années 2000 (avant l'apparition des méthodes agiles).
- Un manque d'anticipation de l'évolution systémique des modes de consommation : nos sociétés sont en pleine transformation dans un contexte de prise de conscience de l'impact de l'activité humaine sur l'environnement. Les modes de consommation vont évoluer et les entreprises qui ne l'auront pas anticipé risquent de rencontrer de grandes difficultés.
- Une faible capacité publicitaire et marketing : nous vivons dans une société de création du désir et non de réponse à des besoins. Noyés dans cette masse d'information, des produits essentiels peuvent passer totalement inaperçus.
- ...

Ce 8ème muda nous invite à **repenser la question du besoin**. Entre besoin fondamental, désir, pression sociale, nous avons parfois du mal à faire la différence. La société du marketing dans laquelle nous vivons nous invite à entretenir cette confusion.

Centrer la mission philosophique des entreprises sur des besoins fondamentaux de la société est un moyen d'améliorer l'atteinte des objectifs du plancher social tout en renonçant à certaines activités moins essentiels et génératrices de dépassement des limites environnementales.

Airbus A380

? Exemple

Il semblerait qu'Airbus n'ait pas suffisamment bien analysé les besoin de ses clients : https://fr.wikipedia.org/wiki/Airbus_A380

Muri/Mura

L'élimination des **Muri** (surcharges de travail ou pics de charge) a pour objectif d'**économiser les personnes et les machines**. Moins fatiguées et moins stressées les personnes sont plus disponibles, plus aptes à la créativité et au changement. Si elles ne sont pas sursollicitées, les machines sont moins sujets aux pannes et casses et des plages horaires peuvent être dédiées à la maintenance préventive.

L'élimination des **Mura** (irrégularité, alternance de pics de charge et de sous-activité) vise la régularité de l'effort, aussi bien pour les personnes que pour les machines.

Ces deux M concourent à la longévité du patrimoine matériel de l'organisation et au bien-être des personnes qui y travaillent. Ils participent donc à cette recherche d'équilibre entre plancher social et plafond environnemental.

2. Quelles sont les limites du Lean management pour une démarche soutenable ?

Le terme Lean a été utilisé pour la première fois à la fin des années 90 dans une logique de transposition occidentale du TPS par des américains (Système Lean, James Womack et Daniel Jones - 1996, 2005). La majeure partie des limites du Lean Management dans le cadre d'une économie écologique est liée à une simplification de la démarche originale pour la réduire à l'amélioration des performances économiques de l'entreprise, en omettant que cette performance économique n'était pas une fin mais un résultat de la démarche.

L'ouvrage Système Lean, de James Womack & Daniel Jones, résume les 14 principes du TPS en 5 principes fondamentaux :

- La valeur
- La chaîne de valeur
- Le flux continu
- Le système tiré
- La perfection

Et le contenu de chacun de ces items est amputé d'une partie de son sens original.

2.1. Une définition limitée de la valeur



Fondamental

L'élimination des gaspillages se traduit par un recentrement des activités sur ce qui produit de la valeur pour l'organisation. On parle souvent de *Valeur Ajoutée*. L'interprétation américaine définit cette valeur ajoutée comme étant la transformation apportée au produit/service **que le client est prêt à payer**.

Avec cette définition, l'organisation se retrouve totalement dépendante des volontés et désirs de ses clients. Cette définition semble donc contradictoire avec le 1er fondement d'une démarche Lean : La vision.

Fondement 1 : La vision



Rappel

Asseoir les décisions sur une philosophie **à long terme, même si cela doit se faire au détriment des objectifs financiers à court terme**.

Avoir et formaliser une mission philosophique de l'entreprise

- Un **but commun au-delà du profit**
- Fondement de tous les autres principes, transcendant la prise de décision immédiate
- Cohérent avec l'histoire de l'entreprise et visant à l'amener au niveau supérieur

Générer de la valeur

- Au bénéfice du client, **de la société et de l'économie**
- Évaluer les fonctions de l'entreprise par rapport à cet objectif

Être responsable

- **Ne pas subir un système**
- Confiance dans ses capacités et celles des autres
- Assumer les erreurs comme source de progrès
- Renouveler les compétences

L'application de ce premier fondement de la pensée Lean devrait conduire toutes les entreprises qui se prévalent de la mise en œuvre d'une démarche Lean à renouveler la mission philosophique de l'entreprise pour tenir compte des enjeux du XXIème siècle.

On constate en effet que dans ce 1er fondement, la valeur ne se limite pas au bénéfice du client. **Elle intègre les besoins de la société et de l'économie.** Elle doit donc être définie par l'organisation elle-même en prenant en compte l'ensemble de ces paramètres.

Toyota a formalisé sa démarche dans les années 60, période à laquelle les ressources étaient encore majoritairement considérées comme illimitées et la notion de plafond environnemental était loin d'être formalisée. On peut imaginer que, en appliquant l'axe "être responsable" à l'axe "Générer de la valeur", on pourrait aisément reformuler ce dernier de cette manière :

Générer de la valeur

- Au bénéfice du client, de la société et de l'économie **dans le respect des limites planétaires**
- Évaluer les fonctions de l'entreprise par rapport à cet objectif

La valeur est-elle uniquement marchande ?



Par ailleurs, le lien entre la valeur et l'argent reste à démontrer.

- Quelle valeur accordons nous aux liens sociaux (l'amitié, l'amour, la confiance...), aux services rendus par le vivant non humain (captation de CO₂ par les arbres et les océans, régulation du cycle de l'eau par la végétation, source de nourriture, source de bien-être...) ?
- Pensez-vous que votre diplôme d'ingénieur aura moins de valeur que si vous aviez réalisé votre cursus dans un établissement privé ?
- La valeur d'une heure de travail d'un infirmier ou d'un instituteur est-elle réellement inférieure à celle d'un ingénieur aéronautique ?
- ...

2.2. La prévalence du flux



Dans le Système Lean de James Womack & Daniel Jones, 3 principes fondamentaux sur 5 (la chaîne de valeur, le flux continu et le système tiré) sont centrés sur le flux de matière, alors que ce dernier ne concerne que 2 principes (flux continu, système tiré) sur 14 dans le TPS.

Cette prévalence du flux sur tous les autres principes, associée à un critère d'évaluation uniquement économique, peut conduire à des choix industriels et logistiques contre-performants dans une approche soutenable.

Pour favoriser la continuité du flux matière on peut :



- mettre les travailleurs sous pression
- augmenter la quantité/fréquence de transports logistiques polluants pour un même volume de produits
- augmenter la quantité de déchets (pourvu qu'ils soient à bas coût)
- augmenter la consommation d'énergie ou d'eau tant que le processus reste rentable
- ...

2.3. Une vision réduite à la perfection



La où le TPS définit la vision comme la définition d'une mission philosophique de l'entreprise basée sur la création de valeur pour la société, le "System Lean" réduit cette vision à la recherche de la perfection dans une logique de **différentiation concurrentielle**. Il s'attache là encore davantage au résultat qu'à la qualité du processus qui permettra de l'atteindre (cf. Fondement 2 du TPS : Les processus).

2.4. Les dérives

Une approche originellement plutôt compatible avec la soutenabilité

Comme nous l'avons vu dans les parties précédentes, le Lean Management présente différents niveaux de compatibilité avec une approche soutenable :

- Le concept d'élimination des gaspillages, des surcharges et des irrégularités (MUDA/MURI/MURA)
- La philosophie originelle formalisée dans le Toyota Way

La cohabitation d'une diversité de pratiques

Le Lean est devenu en quelques années une approche incontournable dans le monde industriel. Sous cette dénomination, on observe une large diversité des pratiques, entre les organisations et au sein d'une même organisation, parfois contradictoires entre elles.

- Les différentes générations cohabitent, chacune porteuse d'une culture professionnelle propre.
- Chaque cabinet de consulting spécialisé en Lean crée sa propre méthodologie. Les consultants se succèdent parfois au sein d'une même organisation en mettant sur les mêmes mots des significations différentes.
- Le Lean a inspiré des instanciations allant des démarches d'autonomisation forte du personnel pouvant aller jusqu'à l'entreprise libérée (exemple de FAVI¹) aux démarches d'amélioration permanente ultra standardisées, contrôlées et automatisées (Dans les coulisses d'Amazon France²). De nombreuses entreprises formalisent leur propre instanciation de la démarche sous une appellation "corporate" afin de marquer leur spécificité.

1ère dérive : une interprétation limitante de la démarche originale

Une première dérive est intervenue lors de la transposition occidentale de la philosophie du Toyota Way qui en a éliminé la dimension humaine et la dimension sociétale pour n'en retenir que le gain de performance et la rentabilité économique.

2ème dérive : une mondialisation fondée sur la recherche du profit maximal

Le modèle économique mondialisé actuellement dominant prend en compte de manière secondaire les besoins des clients, du territoire d'implantation, d'une stratégie industrielle nationale, etc. Le principal critère est celui du "low-cost". Outre les problèmes politiques liés à la perte de la compétence et à la création de dépendance vis à vis d'autres pays, cette approche génère des flux de matière très conséquents, polluants et consommateurs d'énergie depuis l'extraction de la matière jusqu'au client final, avec parfois des situations d'exploitation humaine critiques.

Cet éclatement du flux, bien qu'antinomique avec la suppression/réduction des mudas de transport et de déplacement, n'est cependant pas présenté comme contradictoire par de grands groupes avec des démarches Lean mises en œuvre au sein de leurs sites industriels.

1. <https://www.youtube.com/watch?v=pBTdhwXpKOA>

2. <https://www.youtube.com/watch?v=jQl3td5JxT8>

3ème dérive : la financiarisation de l'économie

A l'origine, Toyota n'a pu s'engager dans cette démarche que grâce à ses capitaux propres. Aucun investisseur ou actionnaire n'aurait accepté d'accompagner une transformation aussi radicale et risquée.

Aujourd'hui, ces méthodes ayant fait leurs preuves, elles sont commanditées par les actionnaires avec une attente de rentabilité très forte à court terme souvent sous menace de fermeture du site industriel. Et même lorsque ces chiffres sont atteints, des sites performants peuvent être fermés pour délocaliser la production dans des pays à plus faible coût de main d'œuvre (Ex : fermeture du site Continental à Clairoux en 2008).

Cette financiarisation des entreprises s'oppose aux fondements même du Lean Management ainsi qu'à toute stratégie industrielle long terme. Elle est un véritable frein à l'engagement d'une organisation dans une démarche RSE.

4ème dérive : paradigme de la croissance et "effet rebond"

A partir du moment où l'objectif d'une entreprise manufacturière est de croître, cela ne peut tendre vers une diminution de sa consommation de ressource et d'énergie. Elle peut améliorer sa performance écologique par produit manufacturé mais si elle cherche à augmenter le nombre de ventes de manière exponentielle, son impact environnemental globale continuera à augmenter.

L'augmentation de la performance écologique d'un produit pouvant devenir un argument commercial, elle peut avoir pour conséquence une augmentation de l'impact écologique global de l'entreprise. C'est ce qu'on appelle un "effet rebond".

Cette dépendance à la croissance de l'ensemble de notre économie étant intrinsèquement liée aux modalités de production monétaire, il est difficile de s'y soustraire sans reformer l'ensemble de notre modèle économique.

3. Mise en place de nouveaux indicateurs et de nouveaux types de modélisation de la complexité

La prise en compte des enjeux environnementaux nécessite à la fois la mise en place de nouveaux indicateurs mais aussi de nouveaux modes de représentation de la complexité.

3.1. Identification de nouveaux types de gaspillages

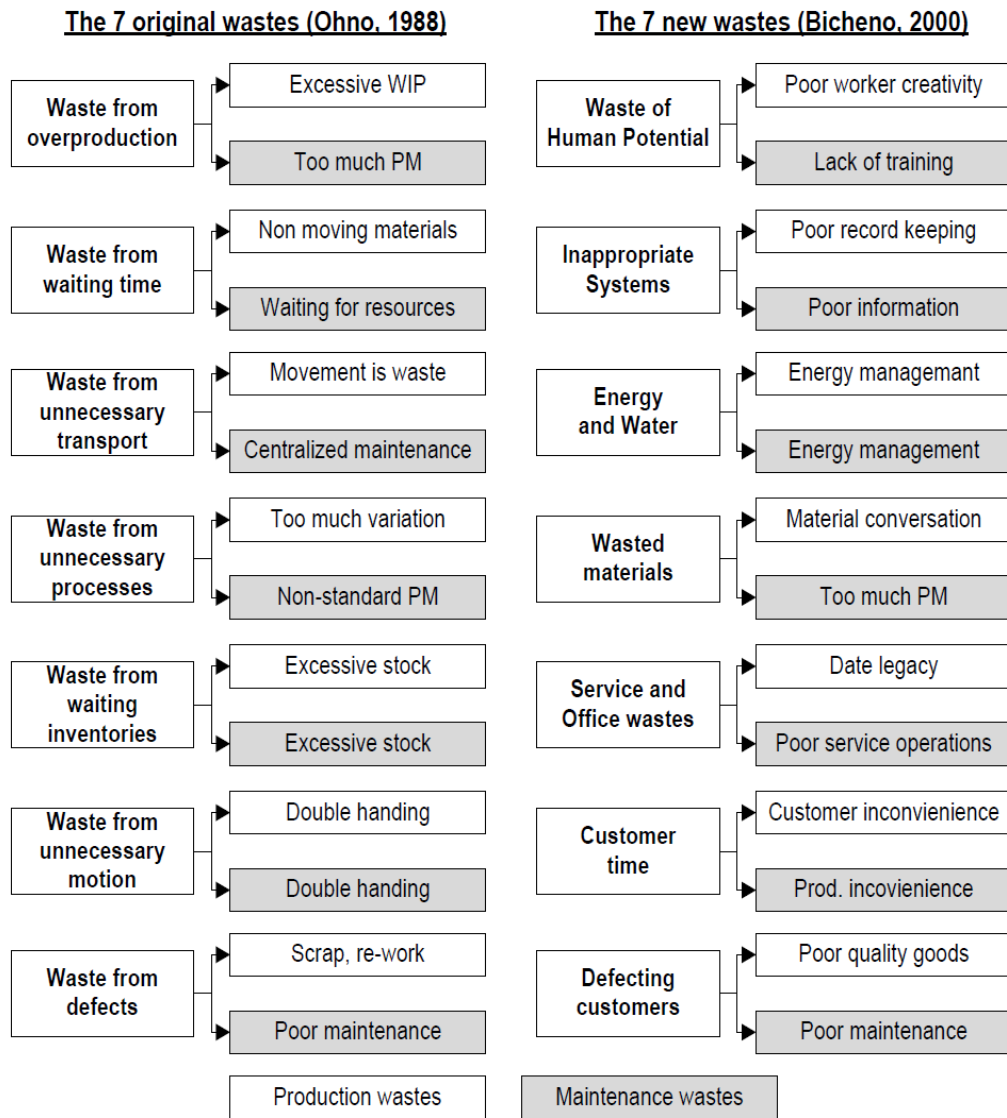
Lean Green / Green manufacturing

Afin de palier certaines limites des démarches Lean, le Lean&Green, ou Green Manufacturing, ajoute ou substitue un certain nombre d'indicateurs aux 7 mudas traditionnels afin de prendre en compte de nouveaux gaspillages.

Ces principaux indicateurs sont :

- la consommation d'énergie
- la production de CO₂
- la consommation d'eau
- la consommation de matière première
- la production de déchets
- le rejet de substances chimiques entraînant la pollution de l'eau, des sols et/ou de l'air
- ...

Ce type de démarche peut aussi intégrer des indicateurs sur le potentiel humain et son utilisation



7 gaspillages du Lean

Concept	Description
Permit Compliance	Compliance with applicable permits.
Toxic Release Inventory (TRI)	Over 300 chemicals subject to release.
33/50 Chemicals	A subset of TRI chemicals identified by the EPA as priority candidates for voluntary reductions by industry.
Clean Air Act Toxics	189 chemicals listed in the Clean Air Act as air toxics.
Risk-Weighted Releases	Toxic chemicals weighted by their relative toxicity.
Waste Per Unit of Production	Percentage of production lost as waste, generally measured by weight.
Energy Use	Total energy use by all aspects of corporate operations; also expressed as carbon dioxide.
Solid Waste Generations	Total solid waste going to landfills or other disposal facilities.
Product Life Cycle	The total impact of a product on the environment from raw materials sourcing to ultimate disposal.

“Nine forms of waste identified by green manufacturing”

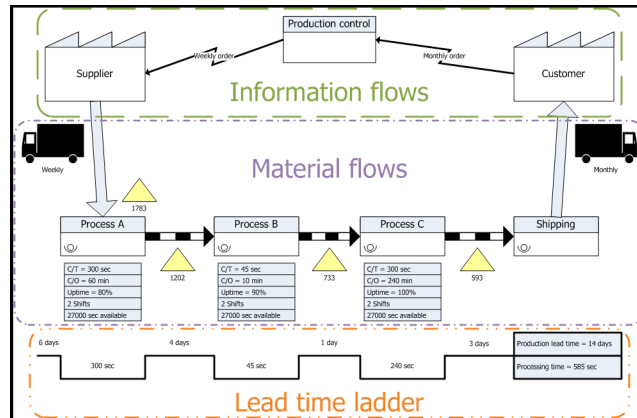
Green washing



Comme le Lean au début des années 2000, le concept de Lean&Green connaît actuellement un effet de mode significatif et attire une faune de consultants mettant derrière ce terme des méthodologies et des pratiques assez disparates pouvant aller jusqu'à se contenter de placer de jolies icônes vertes devant chacun des 7 Muda du TPS.

3.2. Une analyse étendue du flux matière

VSM vs Diagramme de Sankey

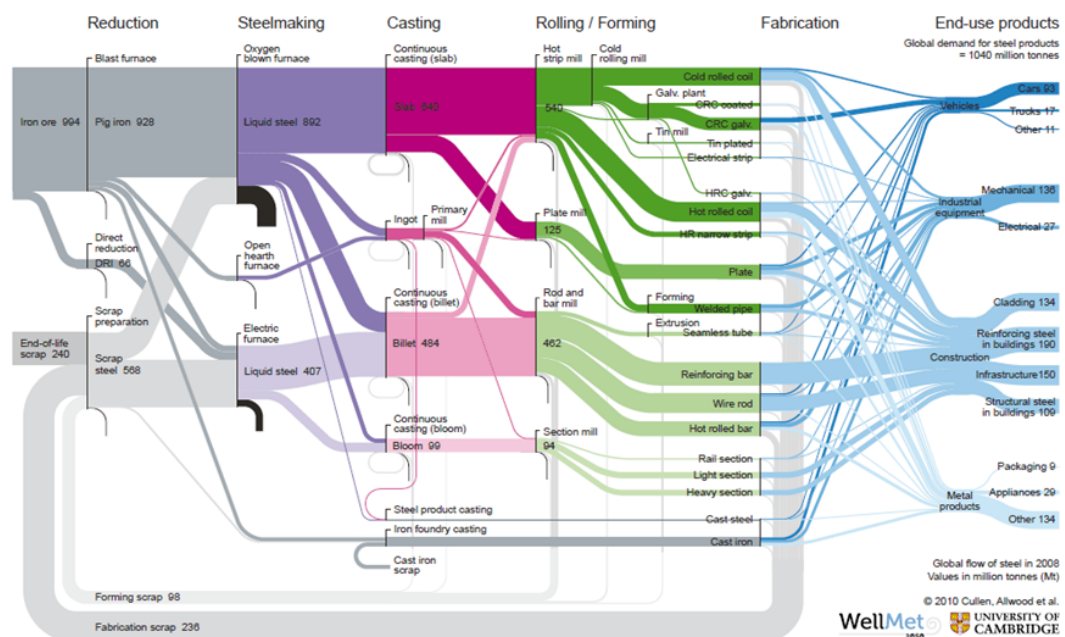


Exemple de VSM

Les démarches Lean analysent le flux matériel depuis le fournisseur jusqu'au client (via des outils de type VSM). Dans une approche soutenable, il est nécessaire d'étendre l'étude de ce flux **depuis l'extraction de la matière première jusqu'à dégradation matérielle de l'ensemble des composants du produit**.

Des diagrammes de Sankey, mieux adaptés pour une représentation de flux complexes, peuvent être mobilisés à cette fin.

Diagramme de Sankey des flux d'acier



Global flow of steel un 2008, value in million yonnes (Mt)

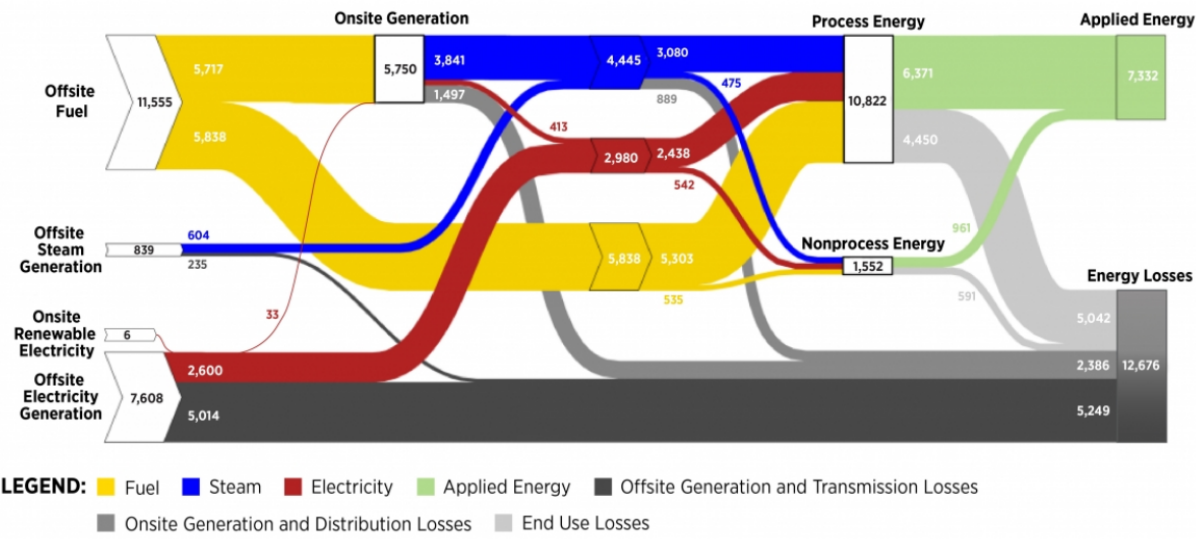
3.3. Une analyse des flux d'énergie et d'eau

Les digrammes de Sankey, bien qu'ils soient aujourd'hui mobilisés dans de nombreux secteurs, ont été originellement appliqués à l'analyse des flux d'énergie, domaine de l'ingénieur Irlandais Matthew Henry Phineas Riall Sankey (1853 - 1926).

Les exemples donnés sont appliqués à une échelle nationale ou mondiale mais ces schémas peuvent tout aussi bien être mobilisés à l'échelle d'un secteur d'activité, d'une entreprise ou d'un site industriel.

Diagramme de Sankey des flux d'énergie

U.S. Manufacturing Sector (TBtu), 2014



Data source: [2014 Manufacturing Energy and Carbon Footprint](#)

Static Sankey Diagram Full Sector Manufacturing (2014 MECS)

Diagramme de Sankey hybride eau/énergie

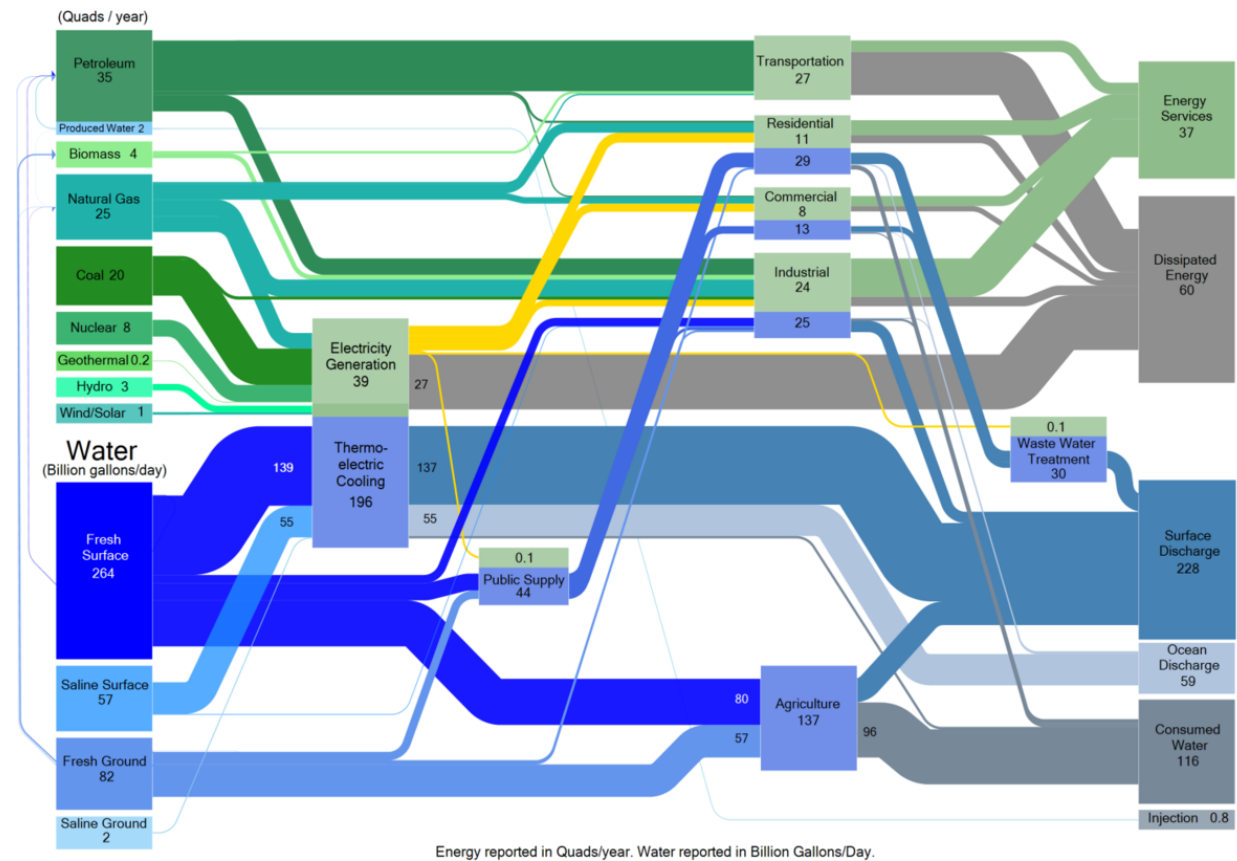


Diagramme de Sankey hybride de 2011, montrant les interconnexions des flux d'eau et d'énergie aux États-Unis

Scénario négaWatt 2022

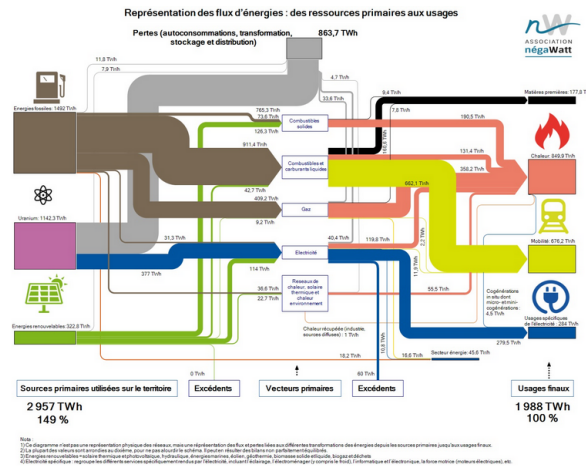


Diagramme de Sankey des flux d'énergie en France pour l'année 2019

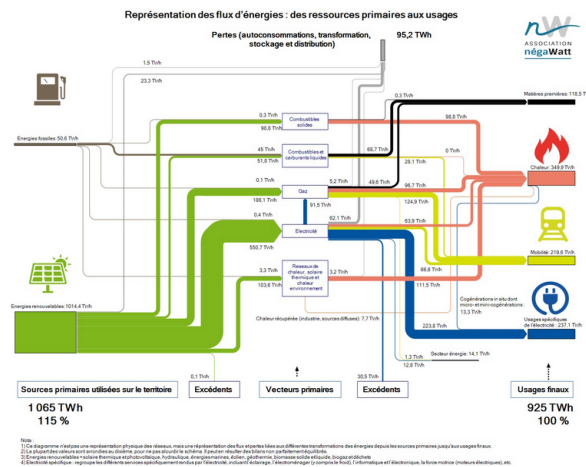


Diagramme de Sankey du scénario prospectif réalisé par Négawatt pour les flux d'énergie français en 2050 compatibles avec l'Accord de Paris

3.4. Les 3R / les 6R

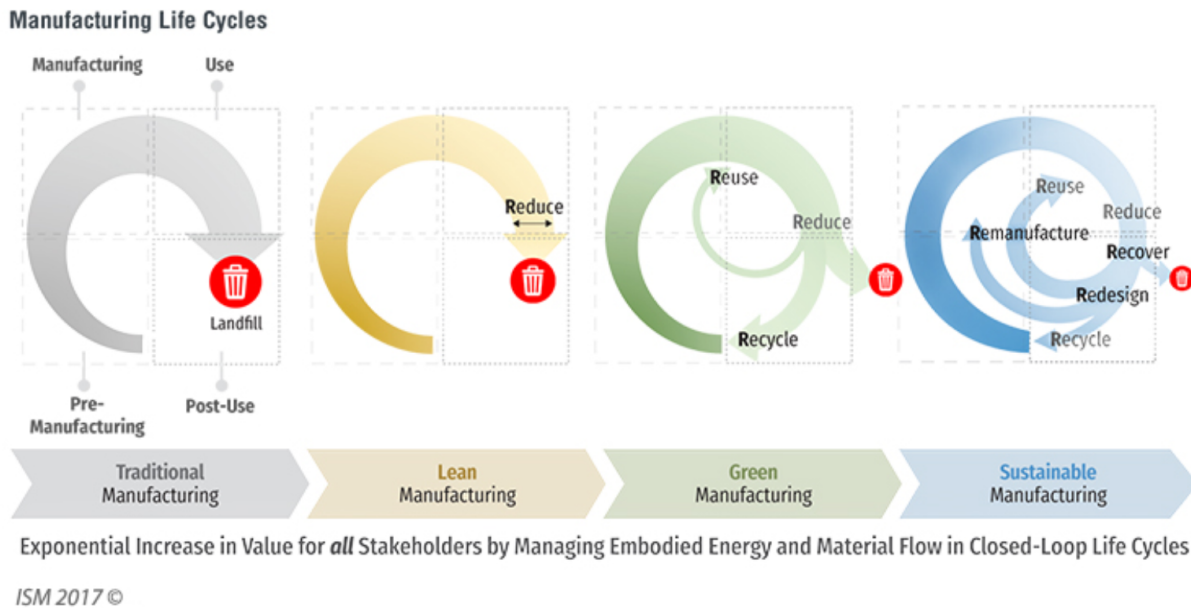
Les 3R (Green manufacturing)

Reduce - Recycle - Reuse / Réduire - Recycler - Réutiliser

Les 6R (Sustainable manufacturing)

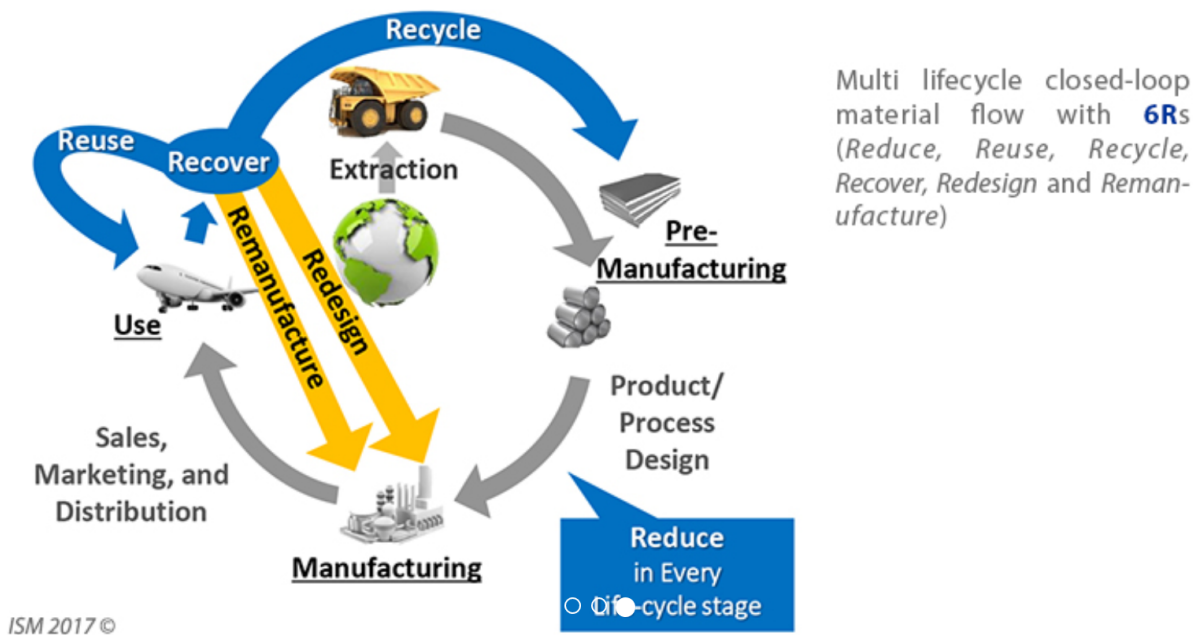
Reduce - Recover - Recycle - Reuse - Redesign - Remanufacture / Réduire - Récupérer - Recycler - Réutiliser - Reconcevoir - Refabriquer

Ce schéma permet de représenter l'évolution de la prise en compte des enjeux écologiques dans les différentes méthodes de management industriel.



Manufacturing Life Cycles

Ce second schéma est une vue détaillée du cycle correspondant à la boucle du "Sustainable manufacturing" et des 6R associés

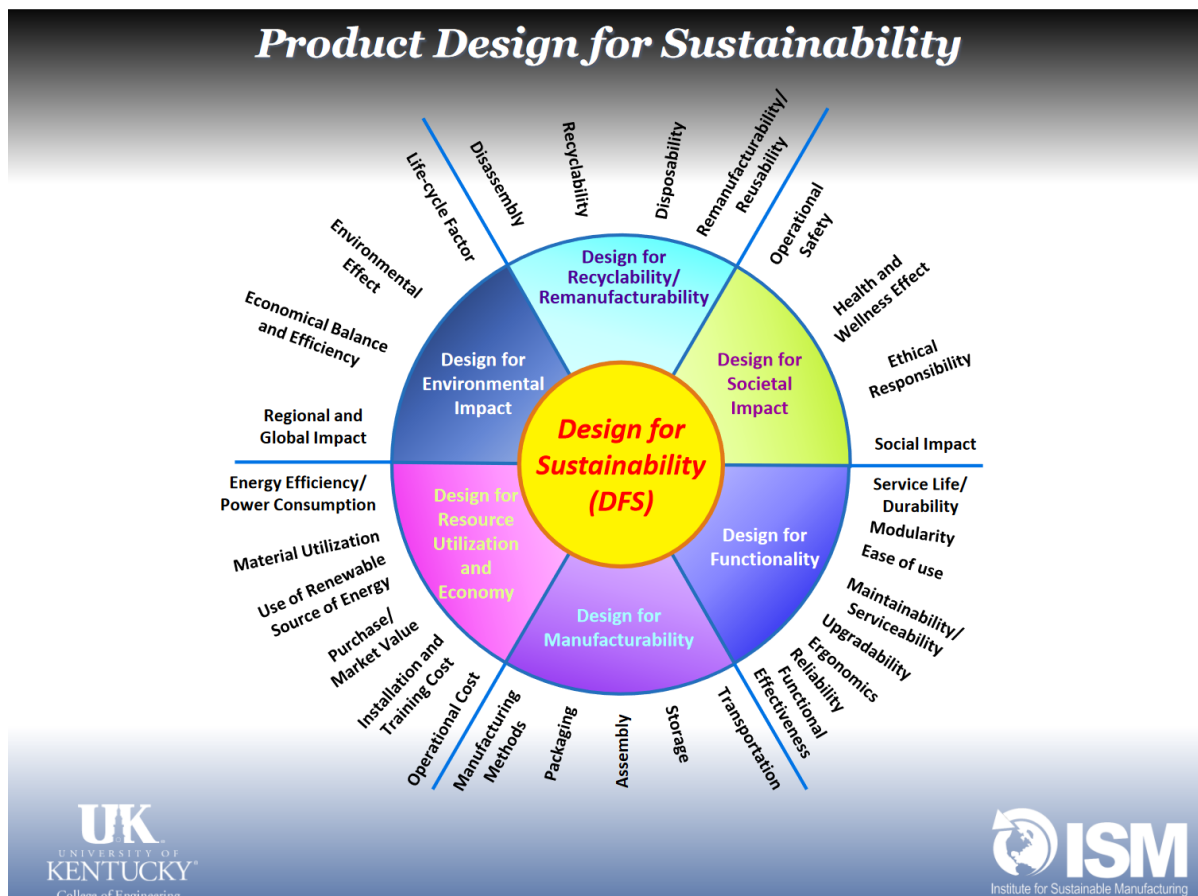


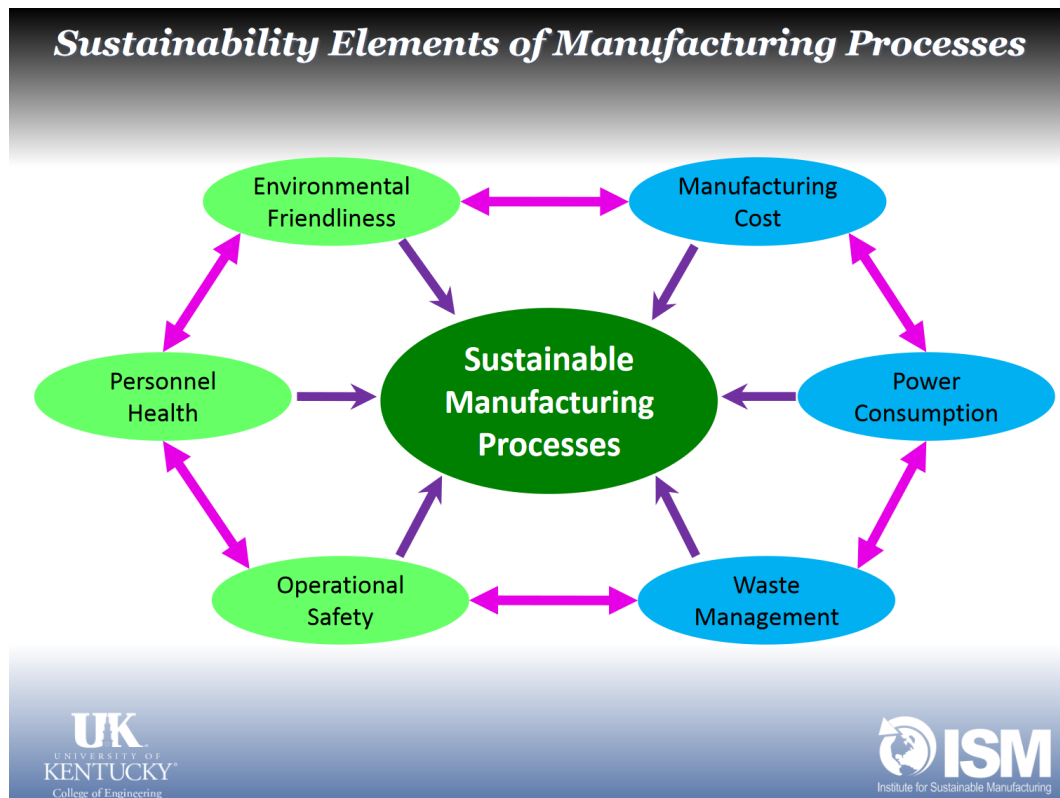
Multy lifecycle closed-loop material flow with 6R

La recherche de soutenabilité des systèmes industriels s'intègre nécessairement dans une **approche systémique**. Le système étudié ne peut se limiter au site de production et encore moins à l'atelier ou au centre logistique. Les différentes parties prenantes (actives ou passives) doivent être prises en compte sur la totalité du cycle de vie du produit et sur l'ensemble du flux de matière, d'eau et d'énergie généré par l'activité.



Key contributors to sustainable manufacturing.





Conclusion



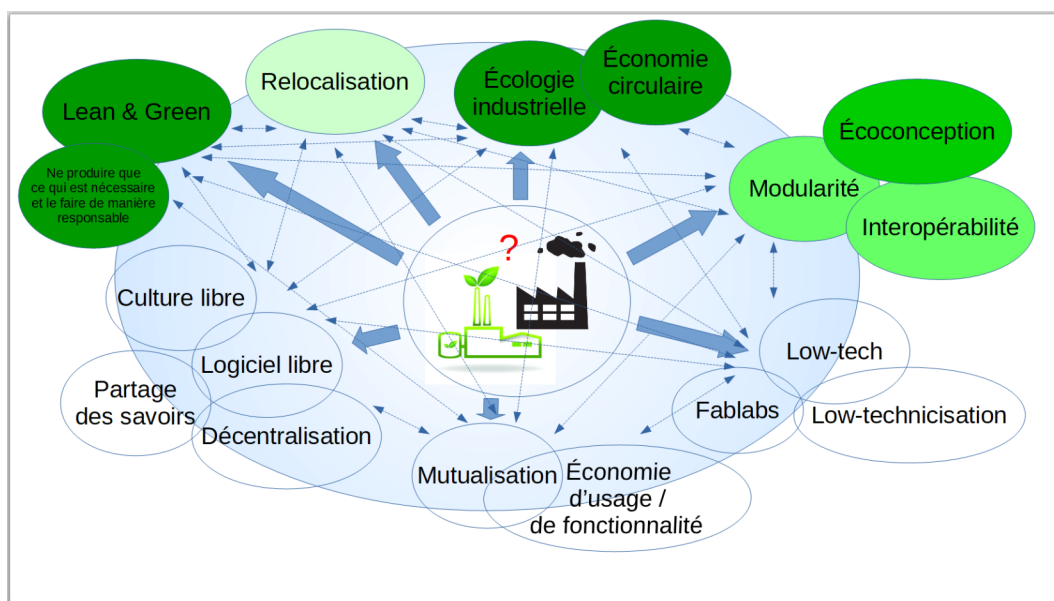
Pour conclure, reprenons le schéma sur les **pistes pour l'évolution des pratiques industrielles** proposé en première partie. Les notions abordées en *Sustainable manufacturing* couvrent la moitié supérieure du schéma.

Ce dernier englobe en effet le **Green Manufacturing** et est basé sur une **économie circulaire** permettant une réutilisation optimale de la matière. Cet écosystème circulaire pourrait être étendue à un écosystème plus large que la chaîne fournisseur-->fabricant-->client-->usagers en y associant d'autres industries dont les déchets pourraient constituer la matière première ou qui pourraient être consommatrices des déchets pour produire de la valeur (sociétale).

Il touche, de manière plus indirecte, à des **nouveaux modes de conception** (modularité, interopérabilité, écoconception) qui permettront la mise en oeuvre des 6R (Réduire - Récupérer - Recycler - Réutiliser - Reconcevoir - Refabriquer).

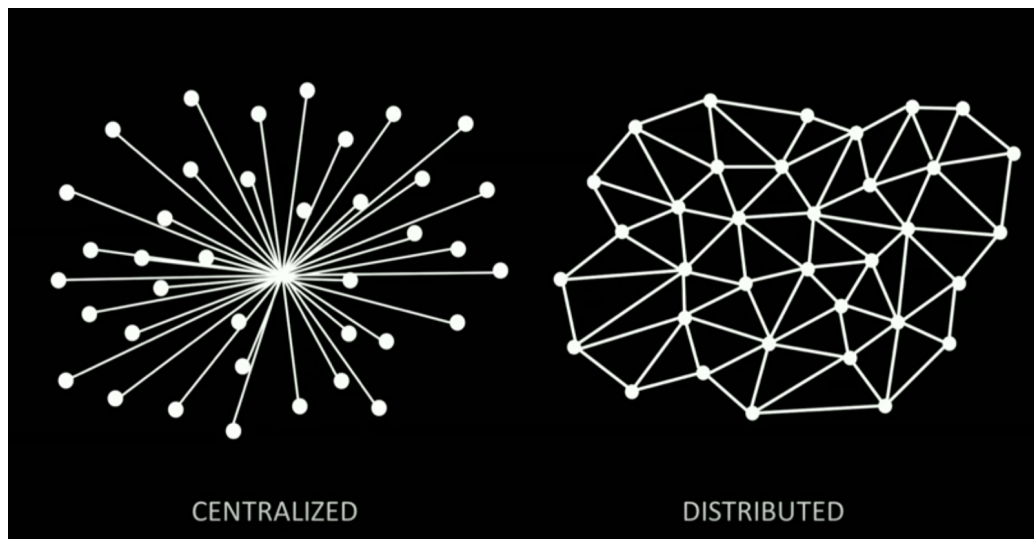
La **relocalisation** peut-être incluse de manière indirecte dans une logique d'optimisation des flux de matière et d'énergie.

Cette partie supérieure correspond à **l'économie régénérative** dont parle Kate Raworth dans sa conférence TED³.



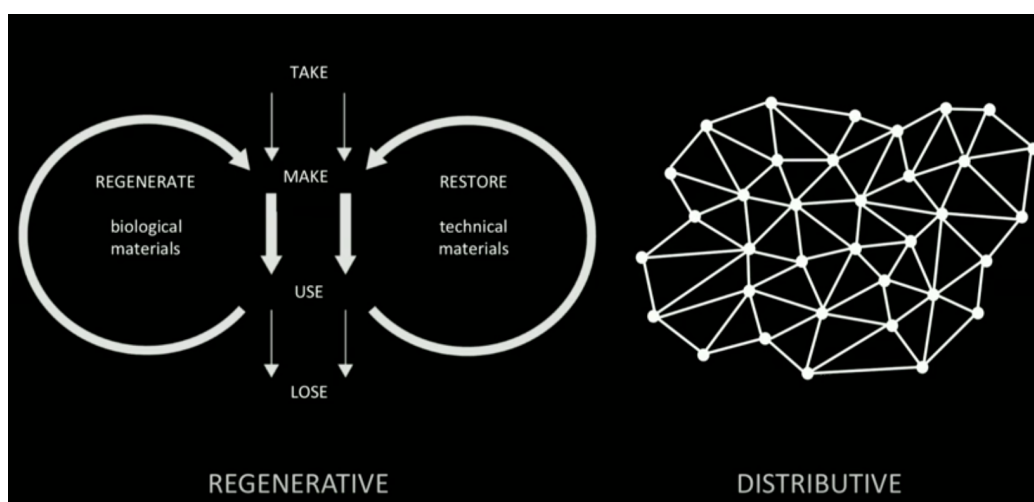
En revanche, aucune des pistes de la moitié inférieure du schéma n'est abordée dans le *Sustainable manufacturing*. Cette moitié inférieure correspond à **l'économie distributive** (vs économie centralisée comme représentée dans le schéma ci-dessous) présentée par Kate Raworth comme le second pilier pour une économie soutenable. Cette partie fait notamment référence à toute la **dimension numérique de l'industrie** qui n'est pas explicitement abordée dans le *Sustainable manufacturing* et qui pourtant devient de plus en plus présente dans la réalité industrielle (Industrie 4.0...). Ce volet de la réalité industrielle actuelle doit, lui aussi, être pensé pour servir la soutenabilité de nos modes de production et de consommation.

3. <https://www.oxfamfrance.org/actualite/la-theorie-du-donut-une-nouvelle-economie-est-possible/>



Le modèle économique dominant est actuellement très centralisé, avec quelques grands acteurs concentrant une grande partie de la richesse et des données mondiales. D'autre part, le principe de propriété industrielle inhérent à ce modèle économique est un frein potentiel à la diffusion des solutions à mettre en place pour adresser les enjeux socio-écologiques.

Le schéma ci-dessous, extrait de la conférence TED de Kate Raworth, synthétise les deux piliers (**économie régénérative** et **économie distributive**) de l'évolution des sociétés humaines pour subvenir à leurs besoins élémentaires sans dépasser les limites planétaires.



Ci-dessous, la vision globale intégrant les nécessaires modifications des modes de consommation et de notre rapport au vivant.

