

LA REINDUSTRIALISATION DE LA FRANCE DANS LE CADRE DES LIMITES PLANÉTAIRES

Une étude produite par



En collaboration avec

indus **makers**

Février 2022

Sommaire

Résumé	2
Chapitre 1: Les limites planétaires pour l'industrie	3
1. Introduction	4
2. Les limites planétaires	6
2.1. La définition des limites planétaires	6
2.2. Commentaire sur la notion de limites planétaires	9
2.3. Des limites planétaires supplémentaires pour l'industrie	10
2.3.1. La disponibilité des matières premières	12
2.3.2. La disponibilité de l'énergie	15
3. La redirection écologique	20
Chapitre 2: Etat des lieux et enquête sur les industries françaises et les limites planétaires	23
1. Etat des lieux des impacts environnementaux de l'industrie française	24
2. Enquête sur les industries françaises et les limites planétaires	26
2.1. Présentation et résultat de l'enquête	26
2.2. Synthèse des réponses	33
Chapitre 3: Discussion	37
1. La stratégie de réindustrialisation de la France dans le cadre des limites planétaires.	38
1.1. La stratégie française actuelle de réindustrialisation	38
1.2. Réflexions sur notre enquête	42
1.3. Ce que nous devons produire et la définition des besoins	43
1.4. Se réappropriier la production	48
2. Conclusion	50
3. Bibliographie	52
4. Annexe: Méthodologie d'enquête	57

Résumé

Le secteur industriel français est lancé dans une phase de réindustrialisation depuis la fin des années 2000 qui devra s'effectuer dans le cadre des enjeux environnementaux de ce siècle.

Depuis le travail de Rockström et al.(2009) puis de Steffen et al.(2015), il existe un cadre de référence, appelé limites planétaires, pour évaluer les impacts des activités humaines sur l'écosystème terrestre. Nous proposons ici d'enrichir ce cadre en l'adaptant à des considérations spécifiques au secteur industriel avec l'ajout de deux nouvelles limites planétaires 'industrielles' : les matières premières et l'énergie. Elles permettent d'évaluer notre situation actuelle vis-à-vis de niveaux d'extraction des matières premières et d'exploitation des énergies primaires qui pourraient entraîner des restrictions sur notre production industrielle.

Dans le but d'étudier le positionnement des entreprises industrielles par rapport aux limites planétaires, nous avons mené une enquête auprès de neuf entreprises de taille et de secteur divers. Nous observons que la taille et l'âge de l'entreprise sont des facteurs clés dans la prise en considération des limites planétaires. Les jeunes entreprises interrogées ont inclus ces limites planétaires dans leur raison d'être, alors que les grandes entreprises instaurent des stratégies de transformation qui manquent de la vision systémique nécessaire au regard de l'ampleur des enjeux. Les PME interrogées ont plus de difficultés à se projeter à moyen terme de par le manque de moyens pour des analyses prospectives et le défi de la gestion quotidienne.

La réindustrialisation de notre pays lancée depuis une décennie, qui se doit de s'inscrire dans les limites planétaires, implique de faire des choix, ce qui naturellement nous amène à nous pencher sur la notion des besoins authentiques et superflus. Cette analyse des besoins devrait être considérée comme un enjeu national que la population doit se réapproprier pour qu'elle soit réellement pertinente et qu'elle se concrétise en un projet de réindustrialisation de la France qui prenne tout son sens.

Chapitre 1

Les limites planétaires pour l'industrie

1. Introduction

Le secteur industriel en France est passé par de nombreuses phases d'évolution depuis la seconde guerre mondiale avec tout d'abord un développement fort qui a permis de créer un secteur consolidé qui a ensuite été progressivement abandonné dans un souhait de faire évoluer notre pays vers une activité de services. Ce mouvement s'est accéléré avec la **dynamique de mondialisation et de spécialisation des pays à partir des années 90** pour voir une légère inversion de la tendance depuis 2010. La récente crise sanitaire liée à la **pandémie COVID-19 et les tensions sur les chaînes d'approvisionnement** qui en ont résulté ont fait prendre conscience à nos dirigeants mais également à chaque citoyen de la **forte dépendance de notre pays aux importations industrielles**. Le mouvement de relocalisation souhaité depuis plus d'une décennie est devenu une priorité qui donne un nouvel éclairage et un nouveau souffle au secteur industriel dans notre pays.

Cette récente évolution du secteur industriel a émergé en même temps qu'une prise de conscience généralisée des enjeux environnementaux auxquels notre monde est confronté en conséquence de nos modes de production et de consommation. La réindustrialisation souhaitée de notre pays ne pourra donc se faire sans la prise en compte de ces enjeux ajoutant des facteurs supplémentaires contraignants à la stratégie des entreprises en complément de l'équation économique de rentabilité.

Le sujet de la **décarbonation de nos activités**, de la diminution des émissions de gaz à effet de serre, et le **réchauffement climatique** que nous souhaitons ralentir occupe la plus grande partie des discussions sur les impacts environnementaux mais **de nombreuses autres limites planétaires sont déjà dépassées ou déjà fragilisées**, si ce n'est à l'échelle globale, parfois déjà à l'échelle régionale.

Au système complexe que représentent l'économie mondialisée et ses chaînes logistiques, vient donc s'ajouter pour les entreprises industrielles **le défi de la prise en compte d'un autre système complexe qu'est l'environnement**. Malgré la multiplication des annonces des entreprises de leur stratégie vers une neutralité carbone, les résultats sont peu visibles à ce jour, quand les stratégies présentées ne sont pas tout simplement irréalistes.

Dans ce contexte de problèmes « pernicieux » multifactoriels, il est nécessaire de commencer par un état des lieux du secteur industriel vis-à-vis de ces limites planétaires. Est-ce que les entreprises industrielles ont conscience de l'enjeu des limites planétaires ? Si oui, dans quelle mesure prennent-elles en compte cet enjeu ? Est-ce que cet enjeu affecte déjà directement ou indirectement leur production ou leur organisation ? Si oui, comment s'adaptent-elles ou se transforment-t-elles vis-à-vis de cet enjeu ?

Dans le but de répondre à ces questions, nous avons mené une enquête qui nous a permis d'interroger différents acteurs du secteur industriel de tailles diverses. Cette diversité nous a permis de mener une analyse de premier niveau à partir de laquelle nous avons élaboré des suggestions pour que la réindustrialisation dans notre pays soit menée de manière cohérente vis-à-vis des limites planétaires. Les suggestions énoncées sont fortement imprégnées du concept de redirection écologique (voir Chapitre 1, section 3).

Ce rapport se décompose en 3 chapitres. Dans le chapitre 1, nous présentons une synthèse du concept des limites planétaires en proposant de nouvelles limites planétaires spécifiques au secteur industriel. Dans le chapitre 2, nous présentons un état des lieux des impacts environnementaux de l'industrie en France, puis les résultats de notre enquête auprès de différents acteurs du secteur industriel. Dans le chapitre 3, nous ouvrons une discussion sur l'approche à considérer pour la stratégie de réindustrialisation de la France dans le cadre des limites planétaires.

2. Les limites planétaires

2.1. La définition des limites planétaires

En 2009, une équipe de chercheurs regroupés autour de **Johan Rockström**, co-directeur du **Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)** en Allemagne, a tenté de définir pour la première fois le concept de limite planétaire de manière quantitative (Rockström et al, 2009a). Les chercheurs ont alors identifié **9 composantes planétaires** qui couvrent les cycles principaux de l'écosystème Terre (azote, phosphate, carbone et eau), les systèmes principaux de circulation de la planète (climat, stratosphère et les océans), et **deux caractéristiques critiques** associées à l'impact anthropogénique global (**la charge en aérosols et la pollution chimique**).

Les **9 composantes planétaires** définies sont les suivantes (voir Figure 2) :

- **Changement climatique**
- **Acidification des océans**
- **Diminution de l'ozone stratosphérique**
- **Cycle biogéochimique de l'azote**
- **Cycle biogéochimique du phosphate**
- **Utilisation globale de l'eau**
- **Changement d'usage des terres**
- **Perte de biodiversité**
- **Charge en aérosols atmosphériques**
- **Pollution chimique**

Les chercheurs parviennent à définir des paramètres de contrôle pour 7 des composantes mais plutôt que d'identifier les limites planétaires avec une valeur exacte, ils préfèrent définir une **zone d'incertitude dans laquelle le risque de changement d'état de l'équilibre pour un paramètre donné devient critique** (Figure 1).

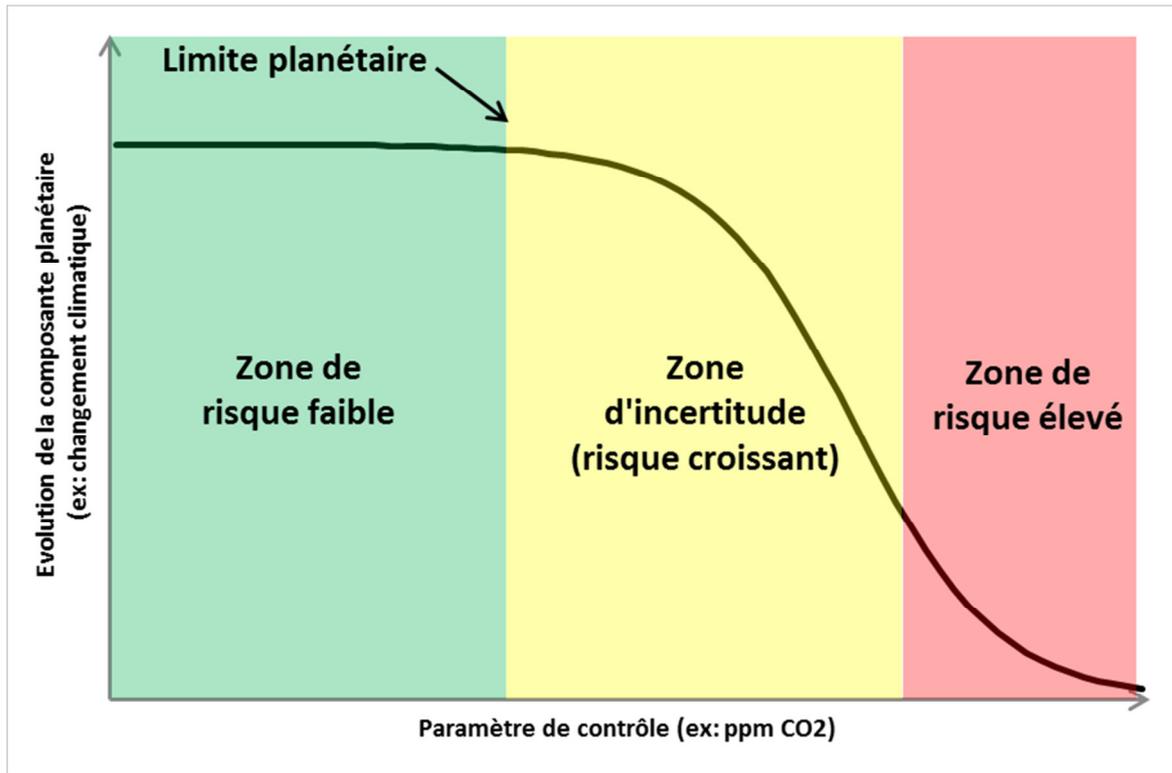


Figure 1: Description conceptuelle des limites planétaires comme zone d'incertitude pour chaque paramètre de contrôle associé à chacune des 9 composantes planétaires.

Parmi les 7 champs, 3 ont déjà dépassé les limites planétaires définies en 2009 : le changement climatique, la perte de biodiversité et le cycle biogéochimique de l'azote.

En 2015, **Will Steffen**, chimiste spécialiste du climat, collaborateur de Johan Rockström sur l'article de 2009, a publié un nouvel article (Steffen et al., 2015) proposant de faire évoluer le cadre défini par l'équipe de Rockström en y ajoutant de nouvelles limites et en affinant l'analyse de plusieurs d'entre elles (Figure 2).

L'analyse présente maintenant **11 composantes planétaires, dont 5 pour lesquels les limites planétaires ont déjà été dépassées** de par les perturbations apportées par les activités humaines: changement climatique, la diversité génétique de la biosphère, les flux biochimiques du phosphate et de l'azote, et le changement d'utilisation des terres.

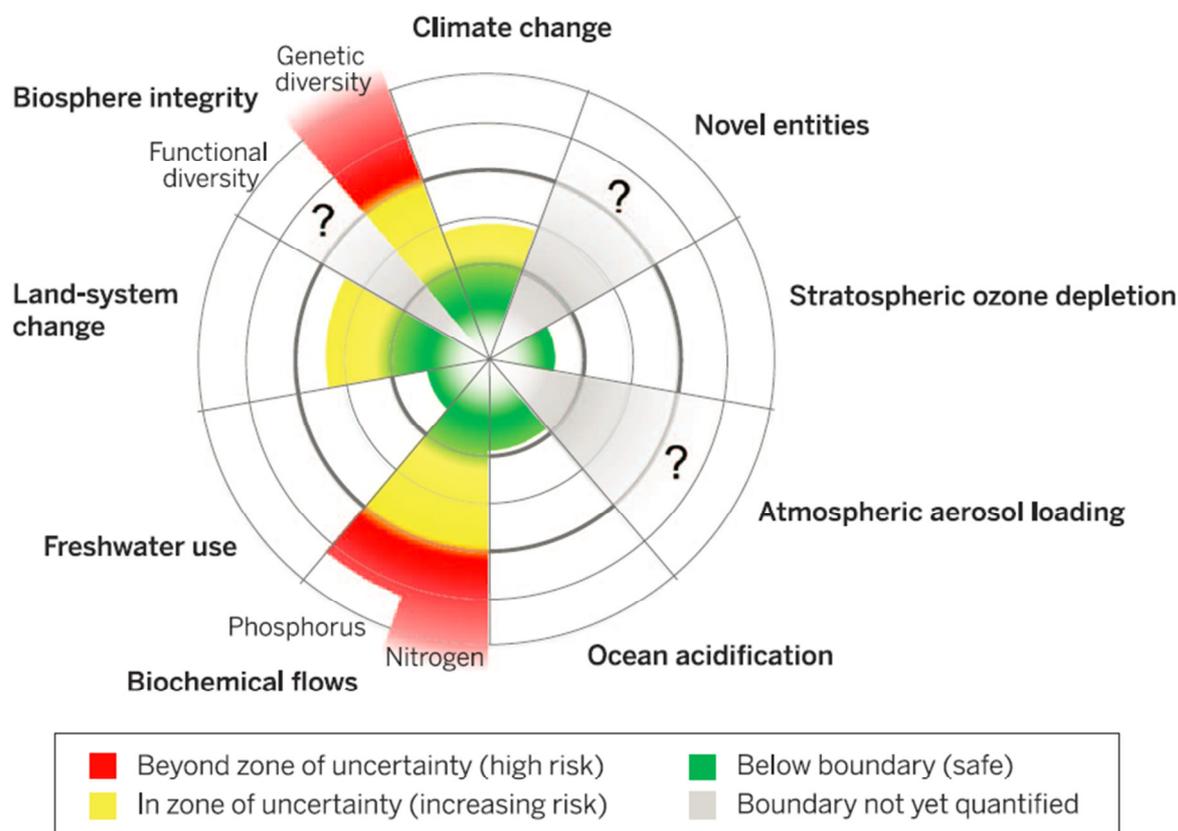


Figure 2: Présentation des limites planétaires selon Steffen et al. (2015)

En affinant leurs travaux, l'équipe de Will Steffen a démontré que la composante de l'usage de l'eau douce reste en dessous de la zone d'incertitude à l'échelle globale, mais que le seuil a déjà été largement dépassé pour de nombreuses régions du monde tels que le pourtour méditerranéen, la côte ouest des Etats Unis ou l'Inde.

L'équipe de Will Steffen n'est pas parvenu à définir l'état de 3 composantes planétaires par manque de données ou par la difficulté à définir un paramètre de contrôle. En janvier 2022, une nouvelle équipe de chercheur est venu compléter leur travail en proposant une analyse sur la composante 'Nouvelle entités' et en montrant qu'elle a déjà atteint la zone critique de risque élevée (Persson et al., 2022). **Nous en sommes donc aujourd'hui à 6 limites planétaires qui ont été dépassées.**

C'est un constat accablant qui nous impose de prendre en compte les limites planétaires dans la stratégie de réindustrialisation de la France.

2.2. Commentaire sur la notion de limites planétaires

Il est important de ne pas associer directement la notion d'effondrement des cycles naturels lorsqu'ils dépassent les seuils-limites étudiés dans le cadre des limites planétaires. La terminologie de point de bascule ou même de seuil tend à dramatiser ce changement d'équilibre pour un paramètre donné. L'écosystème a un positionnement neutre vis-à-vis des différents équilibres qu'il a traversé durant des millions d'années. C'est le point de vue anthropocentrique qui nous amène à analyser ces seuils comme des déclencheurs potentiels d'effondrement en cascade qui rendraient notre environnement inhabitable. A noter que la notion même de seuil est scientifiquement complexe à définir. Une méta-étude récente (Hillebrand et al., 2020) a d'ailleurs analysé 36 méta-études concernant l'évolution d'écosystèmes réels soumis à une pression environnementale telle qu'une augmentation de la température par exemple. Parmi les 4601 cas étudiés aucun ne présentait de point de bascule évident et donc de seuil pouvant être identifié. Cela n'implique pas automatiquement que ces seuils/points de bascule n'existent pour aucun paramètre environnemental.

Les critères que tentent de définir l'équipe de Johan Rockström en 2009, puis celle de Will Steffen en 2015 pour définir des limites planétaires incluent entre autre la notion de niveau de risque que la société est prête à prendre, ce qui couvre un aspect sociologique et anthropologique significatif et hautement variable, permettant difficilement de définir un niveau de risque commun acceptable pour toute l'humanité. Ceci soulève bien entendu la problématique de la résilience de nos sociétés, qui si elles s'y préparent, pourrait rendre acceptable des changements de conditions environnementales drastiques qui auraient été inacceptables quelques décennies auparavant.

Ce commentaire ne diminue en rien l'importance du concept des limites planétaires mais vise à l'utiliser de manière pragmatique. **Ni la résilience, ni la transition écologique ne pourront résoudre tous les défis qui se présentent** (voir section 3). Nous avons donc entre nos mains la décision de construire une société qui s'intègre dans son milieu pour qu'il reste habitable.

2.3. Des limites planétaires supplémentaires pour l'industrie

Etant donné le rôle essentiel de l'industrie dans l'économie et dans la production des produits de notre quotidien, il est pertinent d'analyser le positionnement de ce secteur vis-à-vis des limites planétaires présentées. Nous regardons d'abord le lien entre production industrielle et les limites planétaires en termes d'impact.

Tableau 1: Liens entre production industrielle et les limites planétaires.

Limites planétaires	Exemple d'industrie ayant un impact sur cette limite planétaire	Cause de l'impact dans l'activité de l'industrie
Changement climatique	Production d'énergie à partir d'énergies fossiles	La combustion d'énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) produit du CO2
Perte de biodiversité	Industrie minière	L'extraction de minerais du sol nécessite de détruire des écosystèmes incluant l'habitat de nombreuses espèces.
Cycle de l'azote	Industrie agro-alimentaire	L'ajout d'engrais en grande quantité pour la production agricole déséquilibre le cycle de l'azote.
Cycle du phosphate	Industrie agro-alimentaire	L'ajout d'engrais en grande quantité pour la production agricole déséquilibre le cycle du phosphate.
Diminution de l'ozone stratosphérique	L'industrie du froid	L'industrie du froid utilisait des CFC qui décomposaient les molécules d'ozone dans la stratosphère. La couche d'ozone ne s'est pas encore reconstituée à ce jour.
Utilisation globale de l'eau	L'industrie textile	L'industrie textile consomme de grandes quantités d'eau pour la fabrication des vêtements.
Changement de l'usage des terres	Le stockage de produits pour la logistique	Les bâtiments de grande taille nécessaires à la logistique requièrent l'artificialisation des sols.

Charge en aérosols atmosphériques	L'industrie automobile	L'usure des pneus et des freins des voitures émettent des particules fines.
Nouvelles entités	L'industrie manufacturière	L'industrie manufacturière qui utilise des peintures émet des Composants Volatiles Organiques (COV).
Acidification des océans	Production d'énergie à partir d'énergies fossiles	La combustion d'énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) produit du CO ₂ . Un quart de ces émissions sont absorbées par les océans.

Le lien entre l'activité industrielle et les limites planétaires est uniquement dans ce cas regardé sous l'angle des produits. Il nous semble nécessaire d'analyser cette relation également sous l'angle des intrants.

Nous proposons donc d'ajouter deux composantes associées à des limites planétaires dans le cadre de l'analyse des modes de production du secteur industriel: les matières premières et l'énergie. Dans une approche pragmatique, nous regardons plus précisément ces deux composantes sous l'angle de la disponibilité. Les matières premières et l'énergie sont essentielles à la production industrielle et proviennent toutes, quel que soit leur forme d'utilisation, de ressources naturelles. Nous pouvons nous concentrer sur la disponibilité parce que les impacts associés à l'obtention ou l'utilisation de ces intrants sont déjà pris en compte dans d'autres composantes associées à des limites planétaires. Les énergies fossiles, par exemple, génère le changement climatique une fois que les activités humaines requièrent leur combustion. De même l'extraction de matières premières a indirectement un rôle dans la perte de biodiversité par la réduction des habitats de nombreuses espèces.

Toutes les industries ont besoin de matières premières et d'énergie pour leur activité mais des limites économiques et planétaires ont déjà été identifiées pour ces deux intrants et des paramètres de contrôle et des seuils critiques peuvent être définis de manière similaire aux travaux précédents sur les limites planétaires.

2.3.1. La disponibilité des matières premières

L'Europe se fournit à 80% pour ses matières premières hors de l'Europe, et la Chine fournit 59% de ces matières importées (European Commission, 2020). Le niveau de dépendance est donc extrêmement élevé.

Nous proposons en fait deux paramètres combinés pour le suivi de la disponibilité des matières premières. D'une part, un paramètre quantitatif correspondant au nombre d'années restant avant un pic estimé de production. D'autre part, un paramètre plus qualitatif associé à la notion de criticité comme définie par l'Union Européenne (European Commission, 2020).

L'estimation du nombre d'années avant le pic de production permet de combiner les notions de limites physiques, de ressources accessibles et de rendement énergétique et financier associé à l'extraction. Parvenir à conserver un nombre d'années constant, ou même croissant, signifierait que l'extraction a diminué. La découverte de nouveaux gisements pourrait remettre en cause cette durée subitement mais les limites d'efficacité d'extraction déjà observé (Association Systex, 2021), et la pratique historique qui montre que nous extrayons toujours en premier à partir des champs de matières les plus facilement accessibles, suggèrent que la probabilité d'identifier de nouvelles ressources aisément exploitables se réduit. La limite de ce paramètre réside dans son application à des matières premières renouvelables, telles que le bois, ou dont le pic de production est très éloigné, tel que le sable, mais dont l'exploitation pourrait être restreinte par des réglementations liées aux conséquences environnementales très significatives de son extraction. Ce choix de paramètre reste cependant intéressant et applicable pour une grande majorité des matières premières minérales.

Les estimations produites à partir de modèles systémiques prenant en compte la demande indiquent des pics de production autour de 2040 pour le cuivre et le zinc (Sverdrup et al., 2019; Vidal et al., 2019) et entre 2025 et 2030 pour le plomb (Sverdrup et al., 2019). Dans un scénario visant à maintenir le réchauffement climatique à 2°C en 2100, et donc à élargir l'électrification pour réduire la consommation d'énergies fossiles, 51% des ressources en cobalt (Seck et al., 2022), 53% des ressources en cuivre (Seck et al., 2020) et 60% des

ressources en nickel¹ seraient consommées en 2050 si des chaînes de recyclages efficaces sont mises en place. Pour le lithium, dans un scénario comparable, 32% des ressources seraient consommées en 2050² ce qui le rend peu critique en termes de ressource uniquement.

Il est important de noter que ces modèles aussi complet soit il ne prennent pas en compte à ce jour une évolution des réglementations environnementales qui ajouteraient des contraintes supplémentaires à la production de minerais. Par exemple, le Salvador a banni en 2017 toute exploitation minière, entre autre, dans le but de protéger la qualité de ses eaux³.

Si l'on se place d'un point de vue de durabilité forte qui nous pousse à réfléchir au 22^{ème} siècle et pas seulement aux prochaines décennies, les pics de production autour de 2050, représentent un paramètre de durée à 30 ans qui nous fait entrer dès maintenant dans une zone d'incertitude.

L'autre paramètre plus qualitatif de criticité, tel que défini par l'Union Européenne, prend en compte de multiples facteurs dont l'importance économique d'une matière première, la variété des sources d'approvisionnements, la stabilité politique dans les pays fournisseurs, la possibilité de substitution et la croissance de la demande. Même les facteurs géopolitiques sont liés à la ressource terrestre puisque la rareté les exacerbera fortement.

Concernant les matières premières, l'Union Européenne a déjà identifié depuis plusieurs années une dépendance forte à l'importation dont certains minéraux qui deviennent de plus en plus complexes à extraire⁴. Elle a identifié en 2020 trente minéraux parmi 83 matières premières qu'elle considère comme critiques en termes d'approvisionnement (European Commission, 2020). Le nombre de matières premières identifiées comme critiques en termes d'approvisionnement a augmenté de 4 minerais depuis 2017. De plus, bien que non considéré comme critique par l'Union Européenne, le pétrole est aussi une matière première (utilisation hors énergie) qui présente des tensions à considérer (voir section 2.3.2).

¹ <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/nickel-transition-energetique-pourquoi-parle-t-metal-du-diable>

² <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/lithium-transition-energetique-au-dela-question-des-ressources>

³ <https://www.theguardian.com/global-development/2017/mar/30/el-salvador-makes-history-first-nation-to-impose-blanket-ban-on-metal-mining>

⁴ https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_fr

Etant donné que 30 sur 83 matières représentent 36% du total étudié, nous pouvons considérer que nous rentrons dans une zone d'incertitude avec un risque incertain mais réel et significatif pour ce paramètre.

Tableau 2: Récapitulatif des nouvelles limites planétaires supplémentaires proposées spécifiquement pour le secteur industriel.

Limites planétaires supplémentaires pour l'industrie		Paramètre pouvant être considéré pour la définition d'un seuil associé à la limite planétaire
La disponibilité des matières premières		<p>Nombre d'années restantes avant le pic de production estimé prenant en compte les facteurs techniques, financiers et environnementaux. Ce chiffre devra rester constant ou même augmenter dans le temps.</p> <p>+ Criticité des matières premières selon la définition de l'Union Européenne.</p>
La disponibilité de l'énergie	Energies fossiles	<p>Nombre d'années restantes avant le pic de production estimé prenant en compte les facteurs techniques, financiers et environnementaux. Ce chiffre devra rester constant ou même augmenter dans le temps.</p>
	Electricité (énergies renouvelables et nucléaire)	<p>Le retour sur investissement énergétique de la production électrique (EROI), combiné à l'occupation des sols pour cette même production électrique.</p>

2.3.2. La disponibilité de l'énergie

Pour la disponibilité de l'énergie, nous considérons deux sous-champs: les énergies fossiles et l'électricité. Le sous-champ électricité inclut les énergies renouvelables et l'énergie nucléaire. Dans le but de pousser l'exercice jusqu'au bout, nous tentons d'estimer à quel niveau potentiellement critique se situent cette composante proposée spécifiquement pour le secteur industriel. Nous ne nous aventurerons pas à des calculs précis des seuils pour les paramètres identifiés. Nous nous restreindrons également aux limites géographiques de la France étant donné les spécificités de chaque pays vis-à-vis du sujet énergétique.

Les énergies fossiles

Nous proposons d'utiliser comme paramètre de contrôle le nombre d'années avant le pic estimé de production. La définition d'un pic pétrolier est toujours un exercice périlleux même si l'Agence Internationale de l'Energie reconnaissait dans son rapport annuel de 2018, que le pic de production du pétrole conventionnel avait probablement été atteint en 2008 (AIE, 2018). La production de pétrole issue des sables bitumineux et du pétrole de schiste sont venus compenser en partie cette diminution de la production conventionnelle mais les coûts d'investissement associés à ce type de production les rendent difficilement rentables et il semble donc hasardeux de les considérer comme des sources supplémentaires viables sur une durée de plusieurs décennies. En complément, la déclaration dès 2018 de M. Pouyanné, PDG de Total, qui annonçait : « Après 2020, on risque de manquer de pétrole »⁵, nous permet de considérer que nous sommes rentrés dans une zone d'incertitude concernant les ressources pétrolières.

Pour le gaz 'naturel', qui correspond à du méthane, exploité depuis plus récemment que le pétrole, le pic de production a été clairement dépassé pour les sites européens⁶ et semble se profiler autour de 2040 à l'échelle mondiale d'après une récente étude (Delannoy et al., 2021). Les stratégies d'investissement et commerciale des sociétés pétrolières tend à promouvoir le gaz depuis quelques années comme une alternative au pétrole, présentée comme bénéfique à la transition écologique, pour continuer à pouvoir appliquer leur grande

⁵ https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/02/06/patrick-pouyanne-pdg-de-total-apres-2020-on-risque-de-manquer-de-petrole_5252425_3234.html

⁶ <https://jancovici.com/en/energy-transition/gas/peak-gas-did-it-already-happen-somewhere/>

expérience technologique et financière dans l'exploitation des énergies fossiles. Cependant, le gaz ne peut pas remplacer le pétrole dans toutes ses applications, entre autre en pétrochimie, et l'argument d'un moindre impact du gaz naturel sur le réchauffement climatique reste très fragile étant donné que sa combustion émet seulement 25% de moins de CO₂ que la combustion du pétrole. Les réglementations et incitations pour la diminution de consommation des énergies fossiles vont très probablement se renforcer dans la décennie à venir, dans le but de modérer le réchauffement climatique. Est-ce que ces incitations affecteront significativement la demande en gaz naturel avant que ne soit atteint son pic de production ? Il est difficile d'avoir une réponse assurée à cette question mais d'un point de vue approvisionnement, on peut tout de même considérer que le gaz fossile entre progressivement dans une zone d'incertitude avec un pic de production estimé dans 20 ans.

Etant donné le rôle prépondérant du gaz naturel comme source d'énergie du secteur industriel en France⁷, qui présente une évolution décalée temporellement par rapport au pétrole, nous pouvons considérer que les énergies fossiles ne sont pas proches d'un seuil critique mais présentent un risque croissant. Cependant, il est nécessaire de garder à l'esprit que tous les secteurs industriels dépendent d'une chaîne logistique grande consommatrice de pétrole et de ses dérivés en termes d'énergie et que la tension sur le pétrole présentée précédemment pourrait affecter indirectement l'activité industrielle en France. Nous faisons donc le choix de présenter **le champ énergies fossiles comme présentant un risque fortement croissant.**

L'électricité

Concernant les énergies renouvelables, nous proposons de considérer la notion de retour sur investissement énergétique (EROI en anglais) minimum comme paramètre de contrôle. Ce paramètre permet de couvrir les défis d'amélioration du taux de conversion des énergies renouvelables mais également les tensions éventuelles sur les matières premières pour fabriquer les convertisseurs et le coût du foncier nécessaire pour l'installation. Cependant, ce paramètre n'est pas toujours simple à calculer, est sujet à caution, et devrait être estimé à l'échelle régionale pour être pertinent. Étant donnés les volumes nécessaires à installer pour les énergies renouvelables si l'on souhaite électrifier une grande partie de nos activités

⁷ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4255781?sommaire=4256020>

actuellement alimentées par des énergies fossiles, le sujet du foncier peut devenir problématique en rentrant en compétition avec d'autres usages des terres.

Pour les énergies renouvelables, si l'on se fonde sur les paramètres proposés d'EROI et de surface d'occupation du territoire, il est naturel à ce jour de considérer que les énergies renouvelables ne sont pas proches d'un seuil critique. L'énergie photovoltaïque a un EROI très variable d'un pays à l'autre mais est situé entre 20 et 50 (Fthenakis & Leccisi, 2021). Pour l'énergie éolienne, l'EROI se situe entre 15 et 25. Par comparaison, l'EROI du pétrole de nos jours est compris entre 20 et 40. Ce rapprochement des EROI fossiles-renouvelables est à la fois le résultat du coût énergétique grandissant de l'extraction du pétrole et d'une amélioration significative pour les énergies renouvelables. L'énergie renouvelable principale en France reste l'énergie hydraulique mais les possibilités de développement restant modestes, il n'y aura que peu d'évolution dans la décennie à venir sur ce secteur. L'occupation au sol par les énergies renouvelables (solaire et éolien) reste faible étant donné la puissance aujourd'hui installée encore modeste (28 GW pour les deux énergies combinées à fin 2020⁸).

Si la France vise une part grandissante pour l'électricité dans le bouquet de sources d'énergie finale consommée, elle sera produite à partir d'énergies renouvelables et/ou d'énergie nucléaire. C'est un débat en cours en termes de stratégie à adopter d'ici 2050 mais sur la décennie à venir, les 2 sources seront utilisées. Les énergies renouvelables ont couvert 26,9% de la consommation électrique en 2020 avec la répartition suivante⁸ : 13,5% provenant de l'hydroélectricité, 8,8% de l'énergie éolienne, 2,8% de l'énergie solaire et 1,7% de la biomasse. Sur la décennie à venir, les scénarios présentés par RTE (RTE, 2021) incluent tous une part constante d'énergie d'origine hydraulique par rapport à aujourd'hui. Etant donné la durée de construction d'un parc nucléaire, d'autant plus complexe avec les nouvelles technologies EPR, on peut estimer que d'ici 2030 c'est la part de production d'électricité provenant des énergies solaire et éolienne qui augmentera le plus.

Le rayonnement solaire ne devrait pas diminuer en intensité prochainement et les premières estimations de l'évolution de la puissance du vent sur l'Europe de l'Ouest au cours du 21^{ème} siècle ne sont pas probantes dans un sens ou dans l'autre (Gonzalez et al., 2019) et aucun

⁸ <https://www.rte-france.com/actualites/energies-renouvelables-269-de-la-consommation-delectricite-couverte-en-france>

changement drastique n'est annoncé pour la décennie à venir. L'aspect foncier pour les énergies éoliennes ou solaires est aujourd'hui plus problématique en termes d'acceptabilité qu'en termes de surface occupée au regard des volumes installés encore faibles. Nous considérons tout de même que **la partie énergies renouvelables de la composante disponibilité de l'énergie présente un léger risque croissant** parce que nous ne pouvons effacer le lien systémique entre l'approvisionnement en matières premières (cuivre, cobalt,...) et la fabrication des éoliennes et des panneaux solaires.

Le paramètre de contrôle EROI est également pertinent pour l'énergie nucléaire, avec un aspect foncier moins critique. L'EROI de l'énergie nucléaire fait débat avec des valeurs allant de 5 à 60⁹ à ce jour mais les frais de maintenance, et les coûts de construction croissants des centrales pourraient dans tous les cas le faire décroître. La ressource principale de l'énergie nucléaire est l'uranium fissile (Uranium 235). La ressource en uranium fissile estimée à 70 ans des besoins actuels ne semble pas un problème à court terme mais la production peine à suivre l'augmentation de la demande¹⁰. Il n'est pas simple d'évaluer si cela créera des tensions en France parce que comme tous les pays consommateurs d'uranium, elle conserve un stock dont le volume est gardé secret. D'autre part, il faut prendre en compte que le vieillissement des installations est déjà un problème de maintenance continu qui ne va cesser de croître. On peut donc considérer que **l'énergie nucléaire est dans une situation de léger risque croissant** également.

Le Tableau 2 récapitule le niveau de risque que nous estimons pour les nouveaux champs définis comme limites planétaires spécifiques au secteur industriel. La représentation graphique de nos propositions de nouveaux champs et leur niveau de risque associé est présentée sur la Figure 3.

⁹ <https://www.carbonbrief.org/energy-return-on-investment-which-fuels-win>

¹⁰ https://m.lesechos.fr/redirect_article.php?id=00238-006-ENJ#

Tableau 3: Niveau de risque associé aux nouvelles limites planétaires définies spécifiquement pour le secteur industriel

Nouvelles contraintes proposées pour le secteur industriel.		Niveau de risque estimé
Disponibilité des matières premières		Risque croissant
Disponibilité de l'énergie	Energies fossiles	Risque fortement croissant
	Electricité	Risque légèrement croissant

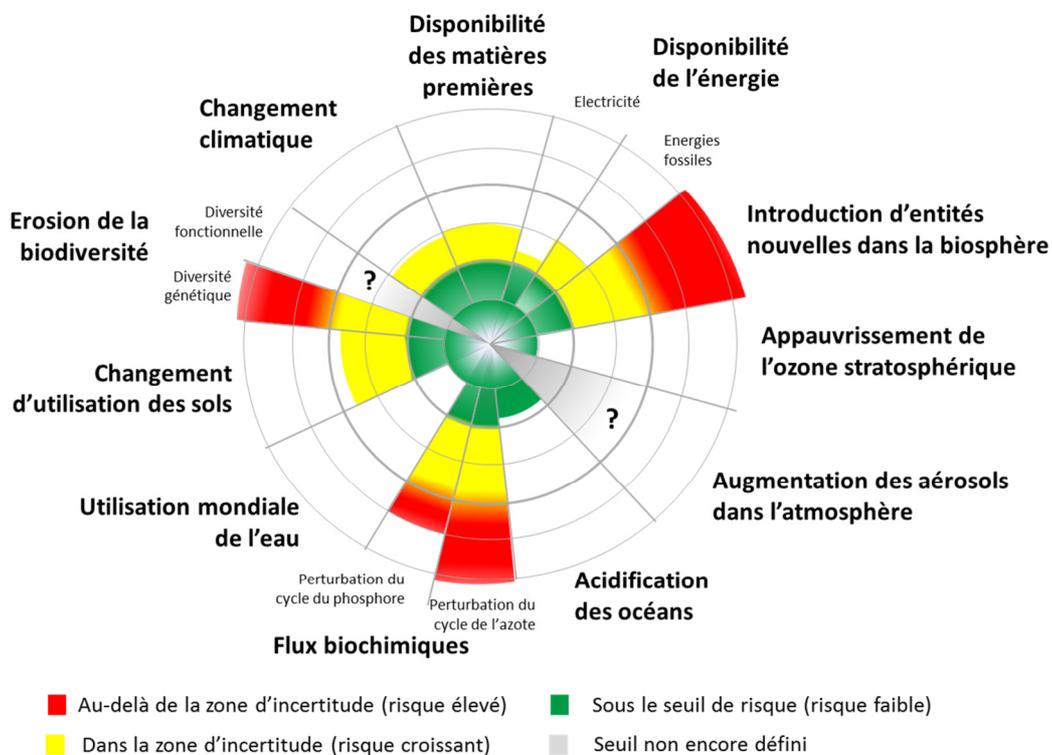


Figure 3: Les limites planétaires pour le secteur industriel. Inspiré des travaux de Steffen et al.(2015), nous avons ajouté les composantes Disponibilité de matières premières et Disponibilité de l'énergie comme contraintes planétaires pouvant affecter la production industrielle. Le niveau de risque a été évalué sur ces 2 nouveaux champs pour le cas de la France. Pour les autres champs, nous avons repris les niveaux proposées par Steffen et al. (2015).

3. La redirection écologique

Les trois chapitres de ce rapport étant guidés par le concept de redirection écologique, il nous semble important de faire une présentation synthétique du concept pour donner du contexte à notre propos.

La redirection écologique suggère que l'enjeu des limites planétaires comme présenté dans les sections précédentes, nécessite de considérer que les impacts des activités humaines sur l'environnement ne sont pas simplement une conséquence mais une condition même du fonctionnement de notre société techno-industrielle. Nous ne pourrions avoir accès aux infrastructures, biens, services et technologies à notre disposition à des prix abordables dans les sociétés occidentales sans toute une organisation économique, financière, sociale et extractive qui considère l'environnement comme une ressource infinie et la main d'œuvre comme une ressource à optimiser parmi d'autres.

De par son positionnement, la redirection écologique se distingue de la transition écologique parce qu'elle ne remet pas seulement en cause les moyens de nos activités mais également les finalités. Cette approche nécessite d'avoir une vision systémique du fonctionnement de nos sociétés et pas seulement une réflexion solutionniste considérant les enjeux séparément en silos. Remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables, ou les voitures à moteur thermique par des voitures électriques ne se focalise que sur une thématique, celle du changement climatique, sans considérer l'ensemble du système dans lequel l'énergie ou la mobilité s'inscrivent. La transition écologique se base sur l'espoir de découplage absolu entre la croissance économique, la consommation d'énergie, et l'extraction de matières premières qu'un nombre d'études grandissant présentent comme une croyance plus qu'une réalité (Haberl et al., 2020; Vadén et al., 2020).

Une considération systémique des enjeux planétaires doit nécessairement nous amener à faire des choix dans les activités à maintenir, et donc également à fermer. Ceci implique de renoncer à certaines activités et infrastructures qui n'ont pas d'avenir dans une société prenant réellement en compte les limites planétaires. Ces activités, infrastructures ou technologies 'zombies' (Monnin et al., 2020), devront donc être fermées mais nous ne

pouvons pas simplement les laisser à l'abandon puisqu'elles font partie d'un héritage qui nous revient.

Gérer cet héritage et rediriger les organisations pour qu'elles prennent réellement en compte les limites planétaires nécessite de considérer les attachements que la population a construits avec cet héritage qui alimente encore aujourd'hui le fonctionnement de notre société (Bonnet et al., 2021).

La redirection écologique se positionne parfois en contradiction directe avec la résilience et la transition écologique qui visent à trouver des arrangements avec la multiplication des tensions résultant de nos activités humaines. Cependant, étant donné que les impacts de nos activités sur l'environnement ont déjà commencé à nous affecter en retour de manière irréversible, et qu'il n'est pas nécessairement souhaitable, ou même envisageable, de renoncer à toutes les technologies 'polluantes', il me semble utile de considérer que la redirection écologique peut se combiner avec une adaptation ou une transformation de certaines infrastructures et technologies dans un objectif de résilience et de transition écologique. Par exemple, le niveau de la mer ayant déjà augmenté, il sera nécessaire de construire des digues pour protéger certaines zones littorales où habite une large population. De même, étant donné le réchauffement climatique déjà acté, il sera nécessaire de créer des zones 'oasis' dans les villes où la population pourra trouver des températures plus clémentes. Ce sont des actions d'adaptation que l'on peut associer à une résilience permettant de supporter une augmentation de la fréquence des submersions marines ou des canicules. D'un autre côté, même si nous devons réduire drastiquement le nombre de véhicules individuels, la technologie de l'automobile peut rendre de nombreux services même dans une société plus sobre ayant pleinement accepté les limites planétaires. Utiliser plutôt des voitures électriques que des voitures à moteur thermique pour les usages pertinents aurait du sens et rentrerait dans le cadre d'une transition écologique.

Les approches par la résilience et la transition écologique peuvent être considérées comme des distractions qui nous écartent des changements systémiques que nous devons enclencher, mais il nous paraît plus pertinent de les considérer comme des compléments mineurs de la stratégie de redirection écologique (Figure 4), voire des concepts 'transitionnels' qui s'effaceront progressivement ou se fondront dans la redirection

écologique. Il n'est pas nécessaire de les écarter ou les dénigrer mais plutôt de les remettre au niveau de considération qu'elles méritent, c'est-à-dire, que nous ne pourrions pas nous en dispenser mais elles ne peuvent pas constituer le cœur d'une stratégie sociétale et globale.

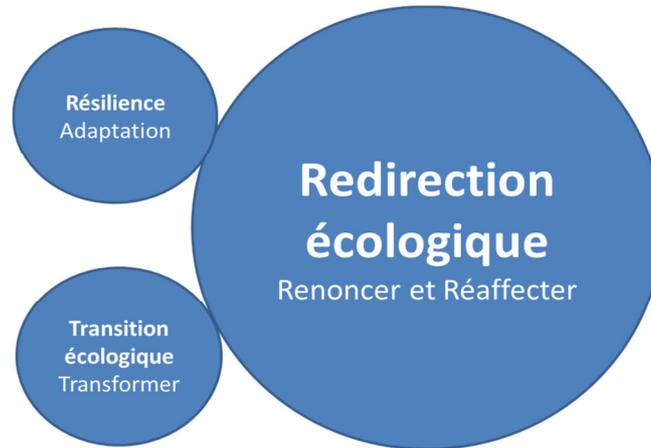


Figure 4: La résilience et la transition écologique doivent être considérées comme des compléments mineurs de la stratégie de redirection écologique.