



**Stratégie Nationale
Bas-Carbone
sous contrainte
de ressources**

RÉÉDITION 2024



Institut National
de l'Économie
Circulaire

À l'approche de la troisième Stratégie Nationale Bas-Carbone et de la loi de souveraineté énergétique, textes structurant les politiques écologique et énergétique françaises, nous avons pensé important de rappeler les conclusions de notre étude parue en 2022 « Stratégie Nationale Bas-Carbone sous contrainte de ressources » sur la nécessité de prendre en compte les ressources dans les politiques publiques de transition écologique.

La succession de crises récentes l'a prouvé : notre économie et nos modes de vie, fortement dépendants de la disponibilité des ressources, sont fragiles. La transition vers un modèle circulaire, souverain et soutenable est désormais un impératif. Stratégie Nationale Bas-Carbone, loi anti-gaspillage pour une économie circulaire, loi climat et résilience... les initiatives législatives en faveur de l'environnement sont multiples. Pourtant, la raréfaction des ressources demeure l'angle mort de toutes les politiques publiques.

Nous appelons donc, une nouvelle fois, les pouvoirs publics à placer les contraintes de ressources naturelles au cœur des stratégies de décarbonation.

Pour illustrer notre propos, nous avons analysé trois grandes filières fortement consommatrices en ressources : l'électrification, la valorisation des biomasses et la construction. Face aux trajectoires des politiques publiques actuelles qui négligent la criticité des ressources, nous proposons un scénario qui intègre conjointement les besoins en ressources des trois filières étudiées.

*Les résultats de nos travaux sont formels : **seul le passage à l'économie circulaire permet de réduire la pression sur les ressources naturelles.** Il devient donc primordial et urgent d'optimiser et rééquilibrer les usages afin de minimiser la pression sur les ressources. Cette transition vers l'économie circulaire nécessite une vision et un projet politique ambitieux, car la négligence des ressources compromet inévitablement toute démarche de décarbonation.*

Nous considérons que, pour notre pays, l'accès aux ressources naturelles les plus critiques est donc une question essentielle d'indépendance et de souveraineté nationale.



Jean-Marc BOURSIER,
président de l'INEC



Emmanuelle LEDOUX,
directrice générale
de l'INEC

Table des matières

Partie 1

Une approche inédite associant décarbonation et contrainte de ressources 4

I. Un impératif : prendre en compte les ressources dans la décarbonation 4

1. Comprendre le cadre légal de la décarbonation 4
2. Réfléchir à une approche décloisonnée de la transition écologique 4

II. Deux scénarios : analyser le besoin en ressources pour assurer la transition écologique 6

III. Un indice pour mesurer la pression sur les ressources 7

Partie 2

Circularité et décarbonation : les grands enseignements 8

I. Souveraineté, sobriété, industrialisation du réemploi et du recyclage : trois enseignements clés pour une France bas carbone 8

1. Souveraineté : sécuriser les approvisionnements pour une France bas carbone 8
2. Sobriété : levier indispensable pour la préservation des ressources 8
3. Réindustrialisation nationale par le recyclage et le réemploi : source d'importants bénéfices économiques, sociaux et environnementaux 8

II. L'électrification : une filière au cœur de la décarbonation mais largement dépendante de ressources importées 9

1. Une place centrale dans les stratégies de transition bas carbone 9
2. Lithium, cobalt, terres rares... des ressources critiques contrôlées par un petit nombre de pays extra-européens 9
3. Sobriété, éco-conception, réemploi et recyclage : des leviers déterminants pour l'électrification 11

III. Les biomasses : indispensables à la souveraineté énergétique, dont les usages doivent être organisés 12

1. Biomasse liquide, solide, gazeuse : premières formes d'énergie renouvelable 12
2. Des contraintes de surfaces, d'usages et de pression sur la biodiversité 13
3. Quelques leviers pour valoriser les biomasses à grande échelle 13

IV. La construction : réduire les volumes pour décarboner la filière 14

1. Améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment et construire les infrastructures d'énergie décarbonée 14
2. Une criticité des ressources due aux volumes nécessaires et aux déchets générés 14
3. Diviser par deux les tonnages bruts par des choix stratégiques en faveur de la rénovation et du recyclage 14

V. Les leviers pour passer à un modèle circulaire 15

Partie 1

Une approche multisectorielle inédite associant décarbonation et contrainte de ressources

1 Un impératif : prendre en compte les ressources dans la décarbonation

1 Comprendre le cadre légal de la décarbonation En 2015, 196 États ont signé l'Accord de Paris, s'engageant ainsi à mettre en œuvre des stratégies pour s'adapter aux effets du changement climatique.

En 2019, la Commission européenne introduit le « Green Deal » avec un objectif : atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

La France, quant à elle, a choisi la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) comme feuille de route de décarbonation. Cette stratégie introduite par la loi de Transition énergétique pour la croissance verte de 2015 et révisée en 2019, affiche également l'objectif d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

Ces engagements sont indispensables pour limiter les effets du changement climatique. Néanmoins, une question se pose : **disposons-nous des ressources nécessaires pour assurer cette transition ?** L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) s'est questionnée dans une étude publiée en 2021, sur la disponibilité des ressources nécessaires pour développer les énergies renouvelables. Mais personne n'avait posé la question de la disponibilité des ressources pour les politiques globales de transition écologique.

L'INEC a donc décidé d'analyser les différents textes stratégiques français de transition écologique sous le prisme des besoins en ressources et de leur disponibilité.

2 Réfléchir à une approche décloisonnée de la transition écologique Notre constat est alarmant. Dans les différentes stratégies nationales, le défi de la préservation des ressources dans la nécessaire

transition écologique est mis de côté. La Stratégie Nationale Bas-Carbone ne mentionne ce défi que de façon elliptique. Bien que sa réédition ambitionne de développer l'économie circulaire et questionne la disponibilité des métaux rares, aucune trajectoire stratégique n'est donnée en ce sens.

Le cadre réglementaire n'offre donc qu'une réponse partielle aux enjeux globaux d'approvisionnement, de raréfaction des ressources et aux possibles tensions géopolitiques qui en découlent. À ce jour, et malgré un début de prise de conscience collective que l'INEC salue, **nous déplorons qu'aucune vision stratégique de décarbonation ne soit associée à la question des ressources.** Une fois de plus, « notre maison brûle et nous regardons ailleurs¹ ».

C'est pourquoi nous avons choisi d'analyser **les stratégies de décarbonation à travers le prisme des ressources : une démarche inédite à ce jour.**

À l'heure de la planification écologique, nous devons prendre en compte les différents enjeux liés au réchauffement climatique, notamment la question de la disponibilité des ressources nécessaires pour assurer la transition écologique et énergétique.

Alors que la troisième Stratégie Nationale Bas-Carbone est en construction, nous voulons alerter une fois de plus sur la nécessité de prendre en compte la finitude des ressources dans la planification écologique. Cette planification nécessite une vision complète, une lecture cloisonnée ne permet pas d'avoir des réponses globales.

Il est essentiel de travailler conjointement sur les questions de décarbonation et de finitude des ressources naturelles afin de faire coïncider ces enjeux. En effet, la transition écologique est consommatrice en ressources naturelles. L'ADEME² l'a d'ailleurs montré de façon parcellaire : même ses scénarios les plus sobres sont consommateurs en ressources.

Face à ce constat, nous avons entamé dès 2022 la construction de deux scénarios de décarbonation modélisant les besoins en ressources : le premier suit les trajectoires actuelles, le second propose une trajectoire circulaire et soutenable.

1_Discours de Jacques Chirac prononcé lors du IV^e sommet de la Terre, 2002.

2_ADEME, Transitions 2050, 2021

Notre étude analyse conjointement trois filières clés qui auront un impact significatif sur l'utilisation des ressources dans la transition écologique :

- **l'électrification des usages et de la mobilité,**

qui pose le problème de notre dépendance aux imports et aux aléas géopolitiques ;

- **la construction,**

qui permet d'étudier la question des volumes ;

- **la valorisation des biomasses,**

qui illustre les questions liées à la juste allocation des ressources en fonction de leur disponibilité.

Ces trois filières recouvrent au total quinze domaines d'activités et quatorze ressources, que nous avons choisis d'étudier :

15 DOMAINES D'ACTIVITÉS



Véhicules électriques



Véhicules hydrogène



Production d'hydrogène par électrolyse



Éolien terrestre



Éolien en mer



Solaire photovoltaïque



Nucléaire



Réseaux électriques



Pompe à chaleur



Biomasse gazeuse



Biomasse solide



Géothermie profonde



Réseaux de chaleur



Bâtiment neuf et génie civil



Bâtiment rénovation

14 RESSOURCES

Li

Lithium

C

Graphite



Béton

Co

Cobalt

Si

Silicium



Bois-forêts



Platinoïdes

Al

Aluminium



Agriculture



Terres Rares

Ni

Nickel



Déchets

Cu

Cuivre



Acier

Ces travaux nous ont permis de réaliser que la mesure de la décarbonation, à travers le calcul des émissions de gaz à effet de serre, était assez simple. Or, mesurer la quantité de ressources disponibles pour assurer la transition écologique est plus compliqué,

en raison de leur diversité. C'est pourquoi nous avons élaboré un indice, qui permet d'établir un score de criticité et donc d'identifier les ressources à risque : l'indice de criticité multifactoriel.

2 Deux scénarios : analyser le besoin en ressources pour assurer la transition écologique

Pour analyser le besoin en ressources nécessaires à la transition écologique, nous avons donc construit deux scénarios qui suivent deux trajectoires différentes de politiques publiques. Leur construction est librement inspirée des scénarios de la DGEC AMS, des scénarios Futurs Possibles 2050 de RTE et du scénario 3 de l'ADEME « Transitions 2050 ». Le Scénario 3 de l'ADEME est le scénario « technologie verte » qui s'appuie sur des données publiques. Dans ce scénario, la technologie et la R&D jouent un rôle important dans la transition écologique.

A Scénario à faible circularité

Le **premier scénario** est construit suivant les trajectoires des politiques publiques actuelles qui s'emploient à faire passer notre économie du « tout fossile » au « tout électrique », sans s'interroger sur la disponibilité des ressources nécessaires à cette transition. Il se fonde sur l'observation de notre modèle linéaire actuel et des mesures promulguées par les pouvoirs publics en matière d'économie circulaire.

Pour répondre à des besoins qui ne sont pas remis en question, une pression insoutenable est exercée sur les ressources. Les politiques publiques misent sur une forte électrification de notre système et sur l'importation de minéraux, ce qui pose des questions quant à l'approvisionnement et la souveraineté énergétique. En l'espèce, il ne s'agit pas d'alléger la demande en énergie décarbonée, ni de réduire la demande en ressources à forte criticité.

Par ailleurs, les leviers de circularité sont sous-employés. Le principal levier activé est celui du recyclage, mais les leviers de réemploi et de sobriété sont embryonnaires. Par exemple, bien qu'ils soient électrifiés, persiste une forte augmentation du nombre de véhicules. Par conséquent, avec une croissance de la demande dans tous les secteurs, les ressources sont insuffisantes. La raréfaction des ressources nécessaires à la fabrication des véhicules électriques entraînerait mécaniquement la hausse des prix des véhicules et la baisse de la demande de ces derniers. Finalement, un choc d'offre serait à l'origine d'une crise économique.

Ce scénario, dit « à **circularité faible** » puisque les pouvoirs publics n'intègrent pas la question des ressources à forte criticité, engendre des risques de ruptures d'approvisionnement et remet en cause la possibilité de mener à bien la décarbonation de notre économie.

B Scénario à circularité renforcée

À l'inverse, le **deuxième scénario** présente une trajectoire soutenable permettant de contrôler la pression sur les ressources et leur disponibilité.

La pression sur les ressources est contrôlée grâce à une bonne maîtrise de la demande en énergie et en ressources critiques. Le recours aux ressources minérales importées est allégé, permettant de réduire les risques de rupture d'approvisionnement et de renforcer la souveraineté énergétique.

Les biomasses sont mieux intégrées et employées dans le mix énergétique, permettant un bon équilibre avec une électrification réduite. Les leviers de circularité sont également mobilisés à travers le développement du réemploi, de la réutilisation, du recyclage et de l'économie de la fonctionnalité.

Ce scénario, dit « à **circularité forte** », rend possible et réaliste la transition écologique et énergétique de la France. Les pressions exercées sur les ressources sont toujours présentes mais le passage à une économie circulaire permet de les limiter.

3 Un indice pour mesurer la pression sur les ressources

La criticité de la ressource revêt des formes multiples. Pour être en capacité de l'analyser finement, nous avons identifié 6 facteurs de criticité. Chaque ressource a alors été notée de 1 à 5 pour chacun de ces facteurs, note pouvant être amenée à évoluer au fil du temps, des évolutions technologiques comme géopolitiques.

La note moyenne permet de définir un score de criticité permettant la comparabilité entre les différentes ressources.

Ce score a ensuite été modélisé selon une base monétaire. Nous présentons ci-dessous sommairement les grandes lignes de la démarche méthodologique que vous pouvez retrouver de façon plus complète dans la première version de la présente étude, disponible sur notre site internet et sur demande.

L'indicateur est mesuré en million d'euros criticité (MEC) et il est quantifié en score de 1 à 5 sur 6 dimensions qui sont traduites en criticité de 1 à 100 (indice d'impact global).

SCORE de 1 à 5	C INDICE D'IMPACT de 1 à 100	Millions d'euros.criticité Selon volumes
5 - Majeure	100	Pondération du coût de la ressource par son indice d'impact MEC = Millions d'euros * criticité (C). Proximité : 2 points de score en plus = 10 fois plus d'impact stratégique ou environnemental Formule exacte $C = 10^{(Score-1)/4}$
4 - Forte	30	
3 - Moyenne	10	
2 - Mineure	3	
1 - Pas de criticité	1	

Figure 1 : Approche pour la quantification de la criticité : score, indice d'impact, MEC.

Lecture de la figure 1 : 1€ dépensé dans une ressource qui un score de criticité très élevé, soit de 5, équivaut à 100 € criticité.

6 critères de l'indice de criticité

1 LES RÉSERVES DISPONIBLES

Le premier des facteurs que nous prenons en compte est celui des réserves disponibles et connues des ressources. En fonction de son abondance géologique, de l'accessibilité des gisements, de notre capacité technologique à les atteindre, le score diffèrera. Ce facteur prend également en compte les trajectoires de production par rapport aux besoins projetés sur la même période.

Si on calcule le ratio réserve/production du lithium, qui correspond à sa rareté géologique, nous pouvons encore extraire cette ressource pendant maximum 50 ans.

2 LA CONCENTRATION DU MARCHÉ

Une ressource peut être aux mains d'un nombre plus ou moins important d'acteurs. Un monopole et/ou un oligopole décide du prix et de la quantité du bien sur un marché.

Par ce critère, nous voulons comprendre dans quelle mesure un risque pèse sur l'approvisionnement en ressources nécessaires à la transition bas carbone, notamment en cas de futurs conflits géopolitiques ou militaires.

3 LA CONCURRENCE VIS-À-VIS D'AUTRES USAGES OU D'AUTRES PAYS

Acteurs étatiques ou privés, tous se sont lancés dans des stratégies plus ou moins poussées de décarbonation. La concurrence des usages en fonction des secteurs économiques et la compétition entre pays pour mettre la main sur ces ressources fondamentales rend critique l'accès à une ressource.

4 LA SUBSTITUABILITÉ DE LA RESSOURCE

La possibilité d'une ressource à être aisément substituable par une autre, compte également dans le calcul de sa criticité. Plus il existera d'alternatives techniques matures, moins notre capacité d'approvisionnement sur une ressource sera un problème.

5 LA RECYCLABILITÉ DE LA RESSOURCE

Les capacités de recyclage et l'existence de technologies suffisamment développées en la matière permettant une plus ou moins bonne recyclabilité de la ressource permettront d'infléchir le score de criticité global.

6 LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIÉTAUX

Enfin, certaines conséquences sociales et environnementales rendraient inacceptable le recours à certaines filières. Les ressources qui ont une extraction, une production et/ou un approvisionnement responsable de la mort d'individu sont considérées comme des ressources à haute criticité, soit avec un score de 5.



Partie 2

Circularité et décarbonation : les grands enseignements

1 Souveraineté, sobriété, industrialisation du réemploi : trois enseignements clés pour une France bas carbone

1 *Souveraineté : sécuriser les approvisionnements pour une France bas carbone*

Dans un scénario à faible circularité, la demande en ressources critiques explose. Le niveau de criticité est multiplié par 16 et accroît la dépendance, notamment vis-à-vis de la Chine.

La forte circularité du second scénario permet de diviser par deux la quantité de métaux et minéraux importée. Elle contribue ainsi à sécuriser les approvisionnements en ressources critiques, essentielles aux domaines de haute technologie tels que l'électrification et l'hydrogène.

De même, une meilleure valorisation des biomasses réduit l'importation de gaz naturel au profit du gaz vert, concourant à l'atteinte d'une totale autonomie énergétique en 2050.

Circulariser les usages des ressources est donc un puissant levier de souveraineté et d'indépendance.

2 *Sobriété : levier indispensable pour la préservation des ressources*

La sobriété est portée par les leviers « Éviter » et « Réduire » :



- « **Éviter** » relève des choix stratégiques visant à se passer des produits.

- « **Réduire** » concerne les optimisations de conception, les choix techniques et les innovations permettant de diminuer les quantités de ressources nécessaires à la fabrication des produits.

Dans l'économie circulaire, **la meilleure ressource est celle que l'on évite de consommer**. Les résultats de cette étude confirment qu'une stratégie limitant les besoins bruts en ressources est inévitable pour garantir la faisabilité de la transition, la résilience de l'économie et la durabilité des écosystèmes.

Même dans les scénarios Transition(s) 2050 de l'ADEME les plus sobres, les besoins annuels pour l'ensemble des filières sont considérables, par rapport à la consommation actuelle.

Par exemple, pour le seul secteur de la mobilité, les besoins en lithium atteignent entre 300 % et 800 % de la consommation française actuelle³.

3 *Réindustrialisation nationale : par le recyclage et le réemploi, source d'importants bénéfices économiques, sociaux et environnementaux*

Dans un scénario à forte circularité, le volume des flux recyclés et réemployés est multiplié par 10 d'ici 2050. Pour la France, ces flux représentent un axe fort de réindustrialisation car ils alimentent la production, sur notre territoire, des matières fonctionnelles pour l'industrie et l'économie. Pour l'industrie française, il s'agirait d'une transformation profonde, historique et nécessaire du modèle linéaire traditionnel (« extraire-fabriquer-consommer-jeter ») vers un modèle circulaire et durable.

Les domaines du recyclage et du réemploi connaissent des progrès techniques et technologiques prometteurs pour cette transition. Cependant, une véritable circularité n'est possible qu'à la condition de leur industrialisation et de leur passage à l'échelle. Les techniques de recyclage et de réemploi doivent être en capacité de gérer des volumes croissants de ressources, et de les réinjecter dans l'économie. Des choix stratégiques et technologiques à l'échelle nationale sont donc nécessaires pour concrétiser le potentiel de ces filières et rendre possible leur développement.

³ ADEME, Transitions 2050 - Feuilleton Matériaux de la transition énergétique, 2022

Les leviers de sobriété mis en œuvre dans notre scénario à forte circularité engendrent une réduction de 44 % de nos besoins en ressources globales. Ils diminuent également de 14% le volume de déchets produits au niveau national.

2 L'électrification : une filière au cœur de la décarbonation mais largement dépendante de ressources importées

1 Une place centrale dans les stratégies de transition bas carbone

L'électrification joue un rôle majeur dans tous les scénarios publics de décarbonation et de sortie des énergies fossiles. La France ne fait pas exception, c'est à l'échelle mondiale que la filière électrique est amenée à se développer. Dans tous les scénarios de transition, la part de l'électricité dans l'énergie finale consommée s'accroît fortement, à hauteur de 15 % à 25 %⁴.

2 Lithium, cobalt, terres rares... des ressources critiques contrôlées par un petit nombre de pays extra-européens

Les ressources nécessaires à l'électrification se classent en trois grandes catégories : les ressources à forte criticité (avec un score criticité supérieur à 3,5), les ressources préoccupantes (avec un score criticité entre 2,8 et 3,5), et les ressources à criticité mineure (avec un score criticité inférieur à 2,8).

L'électrification sert à la décarbonation de plusieurs secteurs parmi les plus consommateurs en énergies fossiles. C'est le cas notamment de la mobilité et de la production de chaleur. La décarbonation de la mobilité est ainsi permise par l'augmentation de la part de véhicules électriques dans le transport routier. De même, alors que la production de chaleur compte pour 59 %⁵ de la consommation énergétique française, le recours aux pompes à chaleur contribue à réduire le besoin en énergies fossiles importées (fioul et gaz).

Pour subvenir aux besoins croissants en électricité décarbonée, la production se porte principalement sur le nucléaire, le solaire photovoltaïque, l'éolien en mer et l'éolien terrestre. En complément, l'hydraulique historique et les formes de production thermique fondées sur la biomasse permettront de se passer totalement de sources d'énergies fossiles. Les réseaux électriques jouent quant à eux un rôle clé dans l'intégration d'une production décarbonée beaucoup plus décentralisée.

LES RESSOURCES À FORTE CRITICITÉ : RARES ET INCONTOURNABLES

Le lithium, le cobalt, les platinoïdes et les terres rares doivent être appréhendés comme des ressources à forte criticité. Étant donné la hausse de la demande et les réserves disponibles, certaines seront épuisées en moins de 50 ans⁶. Elles sont pourtant absolument indispensables à l'électrification.

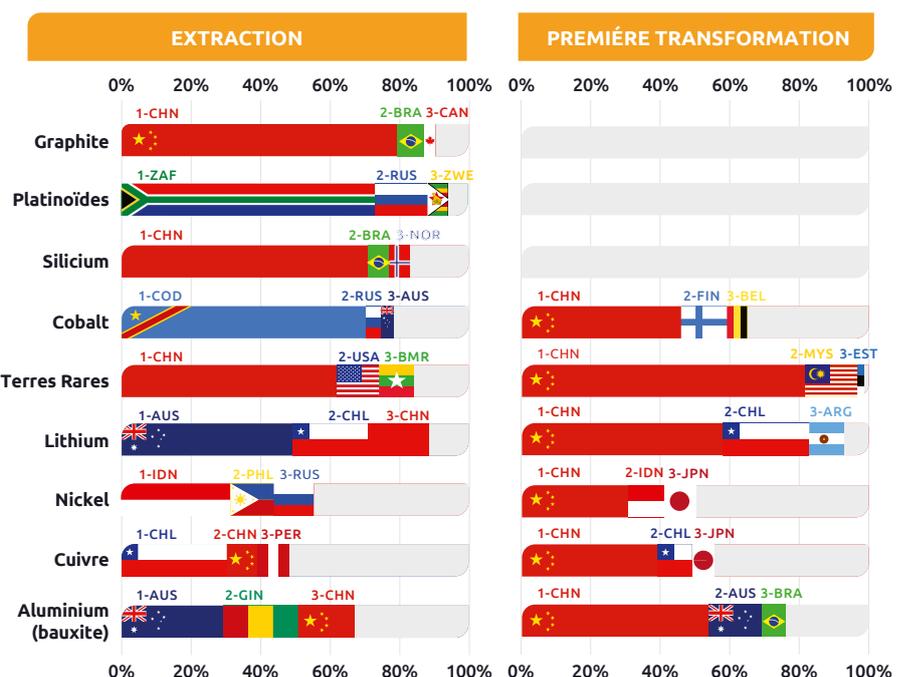
Le marché de ces ressources est de nature oligopolistique. Les trois principaux pays producteurs se partagent entre 65 % à 98 % du marché de l'extraction et de la première transformation (cf. Figure drapeaux).

La Chine figure parmi les trois premiers acteurs pour toutes ces ressources. Son poids est majeur dans les activités d'extraction et, plus encore, dans la première transformation. Pour sa part, la Russie fait partie du Top 3 pour le lithium, le cobalt, les platinoïdes, de façon toutefois moins dominante.

La criticité élevée de ces quatre ressources touche de nombreux secteurs industriels stratégiques. Elle impacte en premier lieu les véhicules électriques, les véhicules à hydrogène, l'électrolyse de l'hydrogène, ainsi que certains segments technologiques de l'éolien.

Figure 2
Concentration des pays acteurs dans l'extraction et la première transformation des ressources minérales (par ordre décroissant de part de marché du premier pays extracteur)

Les ressources minérales sont toutes importées et entre les mains d'oligopoles. La dépendance énergétique aux acteurs extra-européens, tout particulièrement à la Chine, est très élevée dans les domaines de l'électrification et insécurise les approvisionnements.



4_DGEC, Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat, 2020 : scénarios AMS gaz bas et haut ; RTE Futurs énergétique 2050, 2021 ; ADEME, Transition(s) 2050, 2021

5_ADEME, Transition(s) 2050, 2021 : 619 TWh PCI sur 1044 TWh d'énergie finale consommée dans les secteurs résidentiel, tertiaire et industrie

6_IPFEN, Le lithium dans la transition énergétique : au-delà de la question des ressources, 2021 ; AIE, The Role of Critical Materials in Clean Energy Transitions, Mai, 2021 ; BRGM, Panorama 2012 du marché des platinoïdes 2014 ;

**LES RESSOURCES PRÉOCCUPANTES
AU CŒUR DE L'ÉLECTRIFICATION**

Au niveau mondial, les réserves de cuivre et d'aluminium sont très faibles. De plus, l'extraction et la transformation de ces ressources engendrent un impact environnemental et social considérable.

Le cuivre et le nickel sont difficilement substituables, car il existe peu d'alternatives à ces ressources. Quant au silicium et au graphite, ils sont difficilement recyclables. Leur extraction et leur transformation se concentrent à hauteur de 80 % à 90 % entre les mains de trois pays (cf. Figure drapeaux).

Bien que ces ressources aient une criticité moindre par rapport à la catégorie précédente, elles n'en restent pas moins capitales.

Elles sont indispensables à certaines solutions électrifiées au cœur de la décarbonation :



Si

Le solaire photovoltaïque dépend fortement du silicium.



Ni

Les véhicules électriques et les batteries ne peuvent être produits sans nickel.



Cu Al Ni

Enfin, toute la chaîne de valeur de l'électricité nécessite, à différents stades et degrés, du cuivre, de l'aluminium et du nickel.

LES RESSOURCES À CRITICITÉ MINEURE

Pour la filière de l'électrification, seuls le béton et l'acier présentent une faible criticité. Ces deux ressources peuvent être considérées de préoccupation mineure, malgré la faible substituabilité de l'acier.

Des secteurs clés très exposés aux contraintes de ressources :

Les secteurs les plus exposés aux contraintes de ressources sont les véhicules électriques, les véhicules à hydrogène et les électrolyseurs. Tous nécessitent des ressources à criticité forte ou préoccupante :

le solaire photovoltaïque, le nucléaire et les réseaux électriques ne mobilisent pas de ressources critiques. Néanmoins, ils consomment des ressources préoccupantes : cuivre, aluminium et silicium pour le solaire ; cuivre et aluminium pour les réseaux de chaleur ; cuivre et nickel, enfin, pour la construction des installations nucléaires.



Co Li Cu

Les véhicules électriques sont dépendants du cobalt, du lithium et du cuivre.



C

Les véhicules à hydrogène et les électrolyseurs demandent des terres rares, des platinoïdes et du graphite.



Cu Al +

L'éolien et les pompes à chaleur ont besoin de cuivre, d'aluminium et, pour certaines technologies éoliennes, de terres rares.

3 Sobriété, éco-conception, réemploi et recyclage : des leviers déterminants pour l'électrification



ÉVITER

Limiter la consommation énergétique

- **généraliser** l'adoption des écoresponsables
- **mettre en œuvre** des plans d'économie d'énergie à l'échelle des entreprises, des associations ou des collectivités
- **améliorer** la performance énergétique des bâtiments et des équipements dans l'industrie, le tertiaire et l'habitat



RÉDUIRE

Réparer davantage en développant le recours à la maintenance prédictive qui permet d'intervenir plus tôt et à moindre coût, avant que ne surviennent des dégradations irréversibles



RÉEMPLOYER

Offrir une seconde vie « directe », pour un autre usage, à certains équipements d'abord utilisés dans un contexte exigeant

Par exemple, les piles à combustible et les batteries devenues trop peu puissantes pour la mobilité pourraient être réemployées pour des usages stationnaires



RECYCLER

Structurer des filières de valorisation réunissant un écosystème d'acteurs capables de collecter, trier et recycler les matériaux qui ont l'impact le plus fort

Privilégier l'usage sur la possession : développer et adopter de modèles d'affaires tournés vers l'économie partagée et de fonctionnalité

Concevoir des produits avec des matériaux moins intriqués de manière à faciliter les opérations de réparation in-situ et la déconstruction sélective, et ainsi la récupération et le remplacement des pièces

Prévoir la possibilité de réparer ou de restaurer les produits à l'aide de composants de seconde main, issus de l'économie circulaire

Faire évoluer la réglementation afin d'accroître la collecte et le tri des batteries, des piles à combustible et des divers objets contenant du cuivre et de l'aluminium, à fort taux de recyclabilité

Utiliser les matériaux les moins critiques dans le cadre d'un usage donné, notamment dans les domaines de production amont

Opter délibérément pour des solutions moins techniques afin d'en réduire les coûts et l'empreinte environnementale, et d'en accroître la robustesse, la résilience et la longévité

Favoriser l'usage des matières recyclées dans différents domaines de l'industrie

Réserver les technologies très consommatrices de ressources à des usages finaux pour lesquels elles présentent des avantages importants et une nette supériorité par rapport à d'autres solutions, ou lorsqu'aucune alternative n'est envisageable

Optimiser les équipements et les installations pour n'utiliser que la juste quantité de matériaux nécessaires, grâce aux outils de conception digitale

Poursuivre la recherche et le développement afin de mettre au point des techniques plus efficaces et moins polluantes de séparation, d'extraction et de purification des matériaux

3 Les biomasses : indispensables à la souveraineté énergétique, dont les usages doivent être organisés

1 Biomasse liquide, solide, gazeuse : premières formes d'énergie renouvelable

La biomasse désigne un ensemble de matières organiques dont la valorisation permet de produire de l'énergie. Par extension, nous utilisons ici le terme « biomasses », au pluriel, pour inclure les déchets non organiques, également valorisables en énergie, et les formes de valorisation solides, gazeuses ou liquides.

Les trois principales sources primaires de biomasses sont la forêt, l'agriculture (élevage et cultures) et les déchets urbains et industriels (DUI). Elles permettent chacune d'obtenir les trois formes finales de biomasses consommables : solide, gazeuse ou liquide.



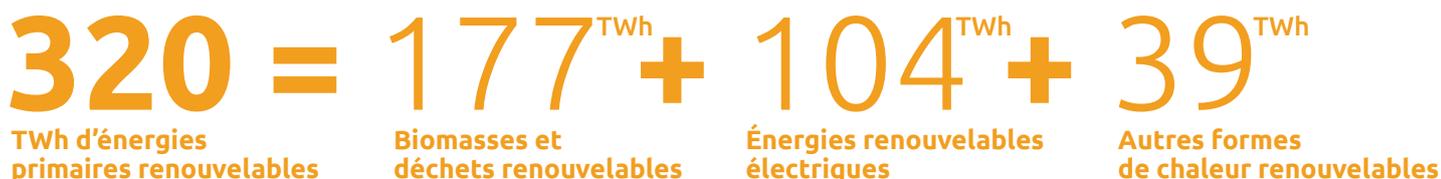
La **biomasse liquide** correspond au biocarburant obtenu à partir de certains coproduits de l'industrie agroalimentaire, de cultures pour la première génération, et de résidus de cultures et de bois pour la seconde génération.



La **biomasse solide** est utile dans les usages stationnaires en combustion, essentiellement en chaleur directe pour les ménages, pour les réseaux de chaleur et, plus marginalement, pour la production d'électricité cogénérée. Elle provient du bois, des déchets et des résidus agricoles.



Enfin, la **biomasse gazeuse** est produite sous forme de biogaz, purifié ensuite en biométhane, ou de gaz de synthèse. Elle est produite par méthanisation⁷, ou gazéification. Ces processus reposent sur la valorisation des déchets de cultures agricoles, des effluents d'élevage, du bois et des coproduits de l'industrie agroalimentaire et des déchets urbains et industriels.



En 2019, le bilan énergétique national inclut 320 TWh d'énergies primaires renouvelables. Ayant généré 177 TWh, les biomasses et déchets renouvelables représentent la source majoritaire de ce total.

A titre de comparaison, les énergies renouvelables électriques ont permis de produire 104 TWh. Les 39 TWh restants sont issus de toutes les autres formes de chaleur renouvelables.

L'avantage de la biomasse **réside dans sa disponibilité à tout moment**, contrairement aux énergies renouvelables électriques dont l'intermittence nuit à la fiabilité de l'approvisionnement.

⁷ La pyrogazéification permet de transformer certaines biomasses solides et déchets solides en gaz injectable dans le réseau avec un rendement cible en 2050 de 67%

2 Des contraintes de surfaces, d'usages et de pression sur la biodiversité

La filière des biomasses permet de décarboner les domaines de la chaleur, du gaz et de la mobilité, sans augmenter la pression sur les ressources en métaux, minéraux et gaz fossile importés.

Le scénario à forte circularité prévoit un accroissement de la production d'énergie par biomasses. Par ce levier, la dépendance française aux importations de métaux et de minéraux critiques est significativement réduite.

La criticité de la filière des biomasses s'élevé à 2,1. Elle est donc inférieure à la criticité moyenne de la filière électrification et hydrogène (2,8) et de la filière de la construction (2,3).

Néanmoins, la filière des biomasses est contrainte par les limites de surfaces disponibles et de ressources du vivant, la compétition des usages pour les besoins énergétiques, l'alimentation humaine et animale, l'industrie, la construction, et divers usages agricoles et forestiers tels que le développement des puits de carbone. Cette criticité n'est donc pas à négliger.

De plus, dans un contexte de recherche de productivité maximale par parcelle exploitée, l'utilisation des ressources biomasses implique une attention particulière à la biodiversité, à la richesse organique des sols, et à la pression qu'une utilisation intensive d'intrants leur impose.

Pour alléger la tension sur les surfaces disponibles, les déchets constituent un gisement de biomasses intéressant. Néanmoins, le système de collecte et de traitement de ces déchets doit encore mûrir pour permettre une valorisation en énergie à grande échelle.

3 Quelques leviers pour valoriser les biomasses à grande échelle

CONSOMMER DE FAÇON RAISONNÉE

Éviter la consommation d'énergie superflue : les besoins énergétiques finaux peuvent notamment être réduits grâce à la rénovation et la construction neuve bas carbone

RÉDUIRE LES BESOINS EN RESSOURCES

Développer les avancées techniques pour améliorer les rendements et diversifier les gisements mobilisés

MAXIMISER LE STOCK DE MATIÈRE DISPONIBLE

Consolider la filière de collecte et de traitement des déchets à travers :

- le tri à la source des biodéchets
- la récupération et l'intégration rapide dans un circuit de valorisation d'une partie des effluents d'élevage, des résidus de culture, des cultures intermédiaires et du digestat produit

PÉRENNISER LA FILIÈRE

Développer le digital pour améliorer les rendements et ainsi réduire les contraintes de surface

Valoriser localement les ressources biomasses afin d'éviter des transports délétères pour le rendement et le bilan carbone

Flécher l'allocation du gisement de déchets vers les technologies au meilleur rendement, afin de réduire la pression sur les ressources confrontées à des concurrences d'usage

Augmenter le taux de valorisation des déchets de bois au sein des unités de pyrogazéification et des chaufferies

Valoriser le gisement à l'échelle locale afin d'en assurer la disponibilité

Sauvegarder des puits de carbone naturels, qui sont souvent des réservoirs de biodiversité : équilibrer la valorisation du bois et la protection des forêts

Accélérer le développement des technologies de gazéification hydrothermale⁸ et de pyrogazéification à base de déchets, afin d'élargir la gamme des biomasses utilisables

Développer la filière nationale du bois en donnant la priorité au marché intérieur, en limitant les exportations et en déployant une politique d'investissement ambitieuse

Mettre en place des mécanismes extra-budgétaires, en plus du tarif d'achat, à travers des réglementations appropriées qui soutiennent la valorisation énergétique des biomasses

Aujourd'hui, la filière bois française exporte 32% de ses récoltes⁹

8_ La gazéification hydrothermale valorise des déchets d'origine biomasse et/ou fossile en gaz

9_ ADEME, Forêts et usages du bois dans l'atténuation du changement climatique, 2021

4 La construction : réduire les volumes pour décarboner la filière

On entend par volumes les quantités de matières entrantes et de déchets produits. En plus du secteur du bâtiment, la filière de la construction intervient dans les do-

maines de l'électrification et des biomasses. La construction neuve et la rénovation des bâtiments permettent d'améliorer la performance énergétique et donc de diminuer

les besoins énergétiques des secteurs résidentiels et tertiaires.

1 Améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment et construire les infrastructures d'énergie décarbonée

Les bâtiments résidentiels et tertiaires consomment 47 % de l'énergie finale en France¹⁰. Leur décarbonation constitue un enjeu majeur de la SNBC.

La construction neuve et la rénovation sont indispensables pour faire baisser les consommations d'énergie.

Le nombre de constructions neuves n'a pas vocation à augmenter, mais la performance énergétique des bâtiments existants doit être améliorée pour atteindre les objectifs de décarbonation.

Le secteur du BTP est également impliqué dans le génie civil des infrastructures d'énergie décarbonée, appelées à remplacer les infrastructures dédiées aux énergies fossiles.

2 Une criticité des ressources due aux volumes nécessaires et aux déchets générés

Le bâtiment, comme le génie civil, nécessite du béton et de l'acier en grandes quantités. Dans le cadre de cette étude, le choix est fait de se concentrer sur ces deux ressources fondamentales. Il faut tout de même garder à l'esprit que la filière en requiert d'autres : bois, plâtre, terres cuites, plastiques, etc.

La criticité du béton et de l'acier n'est pas due à leur disponibilité. Pour le premier, la France dispose de carrières suffisantes pour produire les granulats nécessaires.

Pour le second, les réserves de fer sont abondantes à l'échelle mondiale, et aucun monopole ne met en péril la chaîne d'approvisionnement. De plus, 40 % de la production d'acier provient déjà du recyclage¹².

La criticité se situe plutôt au niveau de l'approvisionnement local en béton. Les granulats sont parfois peu accessibles en raison de conflits locaux concernant l'implantation des carrières. Avec l'augmentation des besoins, certains chantiers pourraient se retrouver sous tension à cause de pénuries localisées de béton.

En outre, la déconstruction génère des quantités considérables de déchets, à hauteur de 17 Mt par an en 2020¹³. Encore peu valorisés, l'ampleur des tonnages à évacuer et à entreposer fait peser une pression importante sur les territoires autour des grandes zones urbaines.

Par ailleurs, la construction implique des externalités négatives à prendre en considération :

- La construction de logements est responsable à 75 % de l'artificialisation des sols, nuisant à la biodiversité et aux puits de carbone naturels¹⁴(sol et végétation).
- La construction est également une activité polluante. La seule production des matériaux et des équipements employés sur les chantiers émet 65 % des gaz à effet de serre liés au cycle de vie d'un bâtiment neuf¹⁵.

Actuellement, la **construction neuve résidentielle et tertiaire** nécessite un total de **53,2 millions de tonnes de matériaux** chaque année¹¹.

3 Diviser par deux les tonnages bruts par des choix stratégiques en faveur de la rénovation et du recyclage

La rénovation se révèle être un levier stratégique essentiel pour décarboner le secteur du bâtiment sous contrainte de ressources. **Alternative plus sobre, elle consomme 40 à 100 fois moins de ressources par m² que la construction neuve.** La rénovation mo-

bilise également une variété plus large de ressources. Elle consomme ainsi moins de béton et d'acier, double les quantités d'isolants biosourcés et mobilise plus de bois que la construction. Enfin, **elle génère dix fois moins de déchets que la déconstruction par unité de surface.**

En 2050, le scénario à faible circularité a un besoin brut théorique de 40 Millions de tonnes pour le secteur de la construction. Le scénario à forte circularité à un besoin brut théorique de 20 Millions de tonnes

pour ce même secteur. Ainsi, grâce à la rénovation et à l'optimisation de l'usage des ressources, présent seulement dans le scénario à forte circularité, nous faisons une économie de 20 millions de tonnes de ressources. L'économie circulaire permet d'économiser la moitié des ressources nécessaires à la construction.

10_ADEME, Transition(s) 2050, 2021 : Consommation d'énergie finale en 2015, Résidentiel 451 TWh PCI, Tertiaire 735 TWh PCI

11_ADEME, Transition(s) 2050, 2021

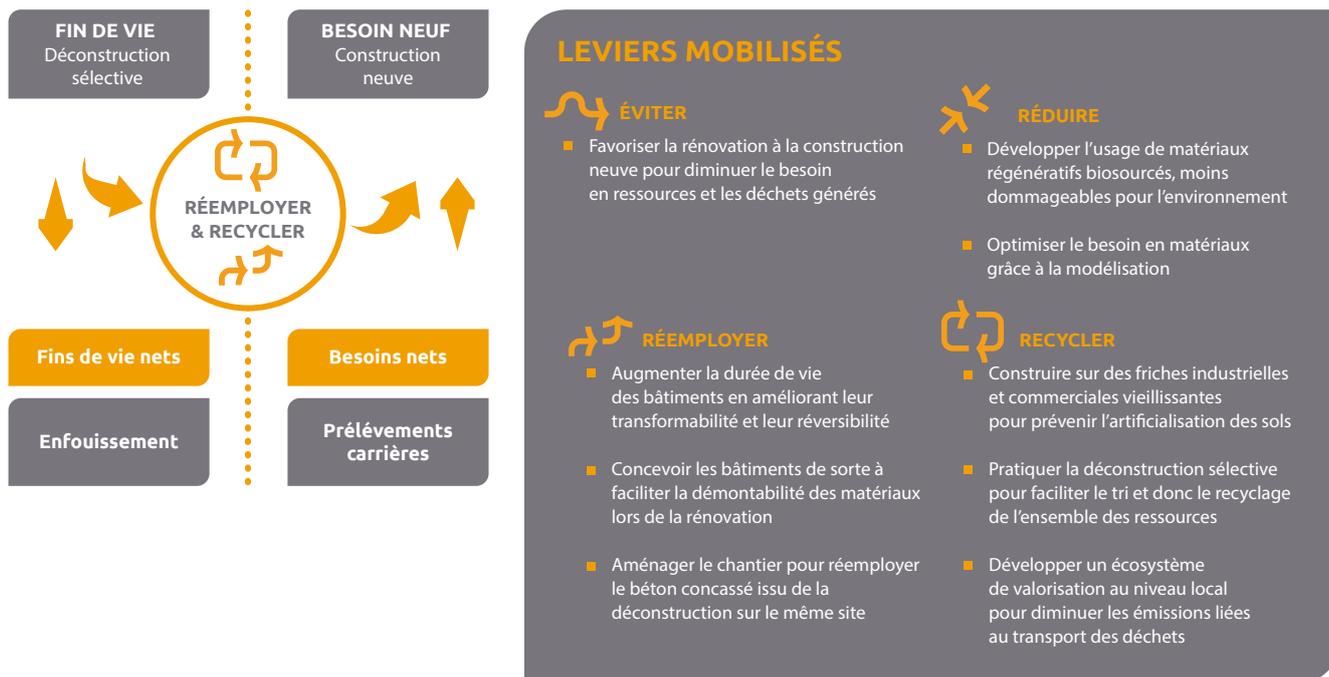
12_Sénat, mission d'information « Les enjeux de la filière sidérurgique dans la France du XIXe siècle : opportunité de croissance et de développement

13_SDES, Bilan 2020 de la production de déchets en France

14_ADEME, Transition(s) 2050, 2021

15_ADEME, Transition(s) 2050, 2021

Figure 3 : LEVIERS CIRCULAIRES À ACTIVER : Illustration dans les domaines du bâtiment



5 Les leviers pour passer à un modèle circulaire

En parallèle des leviers à mobiliser dans les trois domaines précédents, nous pouvons déduire des préconisations globales pour faire de l'économie circulaire un puissant moteur de la décarbonation de notre économie. Ces préconisations portent sur cinq leviers transverses : la réglementation, les financements, l'écoconception, l'organisation territoriale, le numérique et l'innovation.

RÉGLEMENTATION	FINANCEMENT	ECO-CONCEPTION	ORGANISATION TERRITORIALE	INNOVATION
Articuler les réglementations en faveur de l'économie circulaire et de la décarbonation	Flécher les financements vers les projets vertueux du point de vue des ressources	Ériger l'éco-conception des produits et services en norme.	Créer les conditions de l'indépendance en ressources en réorganisant l'économie sur le territoire	S'appuyer sur le digital pour mettre en œuvre les stratégies d'économie circulaire
Aligner les stratégies d'optimisation des ressources et de lutte contre le réchauffement climatique	« <i>Impact investing</i> » : favoriser l'investissement dans les projets à circularité forte	Systématiser et massifier les leviers Éviter, Réduire, Réemployer et Recycler à chaque étape de la chaîne de valeur	Systématiser l'écologie industrielle et territoriale (EIT)	Soutenir la R&D et l'innovation pour mieux préserver les ressources, notamment dans les domaines où les ressources sont critiques et susceptibles de manquer
Prendre en compte de manière intégrée les aspects ressources et décarbonation dans les travaux législatifs et réglementaires	Mobiliser les outils financiers publics pour soutenir la décarbonation de filières clés (électrification, biomasses et construction)	Développer les économies de la fonctionnalité et du partage pour transformer les modèles économiques	Mailler le territoire d'infrastructures de récupération, tri, stockage et valorisation	Innover sur les sujets technologiques, techniques, économiques, juridiques et fonctionnels
Assurer le suivi et l'application des différents dispositifs en faveur de la décarbonation			Développer une économie du PIB local	

Sans maîtrise de nos ressources, les stratégies de décarbonation sont vouées à l'échec.



Institut National
de l'Économie
Circulaire

Contact presse

Marie Audeguin

m.audeguin@institut-economie-circulaire.fr