

QUEL RÔLE JOUE LA CHIMIE POUR LES MATÉRIAUX STRATÉGIQUES ?

Éric Bausson

Un monde intensif en matériaux

Ce XXI^e siècle met en lumière des enjeux très importants, voire vitaux, en lien avec la croissance de la population mondiale et la lutte contre le réchauffement climatique. Par exemple, en tout point du globe, tout individu souhaite utiliser un téléphone portable pour communiquer avec ses proches. Cela impose d'extraire des matières premières, comme le lithium utilisé dans les batteries, et de réfléchir dès la conception d'un produit au recyclage de celles-ci. La transition énergétique, comme celle des moteurs thermiques vers le « tout électrique » à l'horizon 2035 en Europe, vont engendrer des tensions sur le marché des matières premières (cobalt, nickel, néodyme, rhénium...) mais elles laissent entrevoir de très belles perspectives dans le domaine de la recherche et du développement.

La chimie y prend déjà toute sa place...

Dans ce dossier, après avoir présenté la notion de « matériaux stratégiques », nous nous focaliserons sur deux polymères le PVDF et la résine Elium[®], pouvant être qualifiés de « stratégiques ».

Quel rôle joue la chimie pour les matériaux stratégiques ?

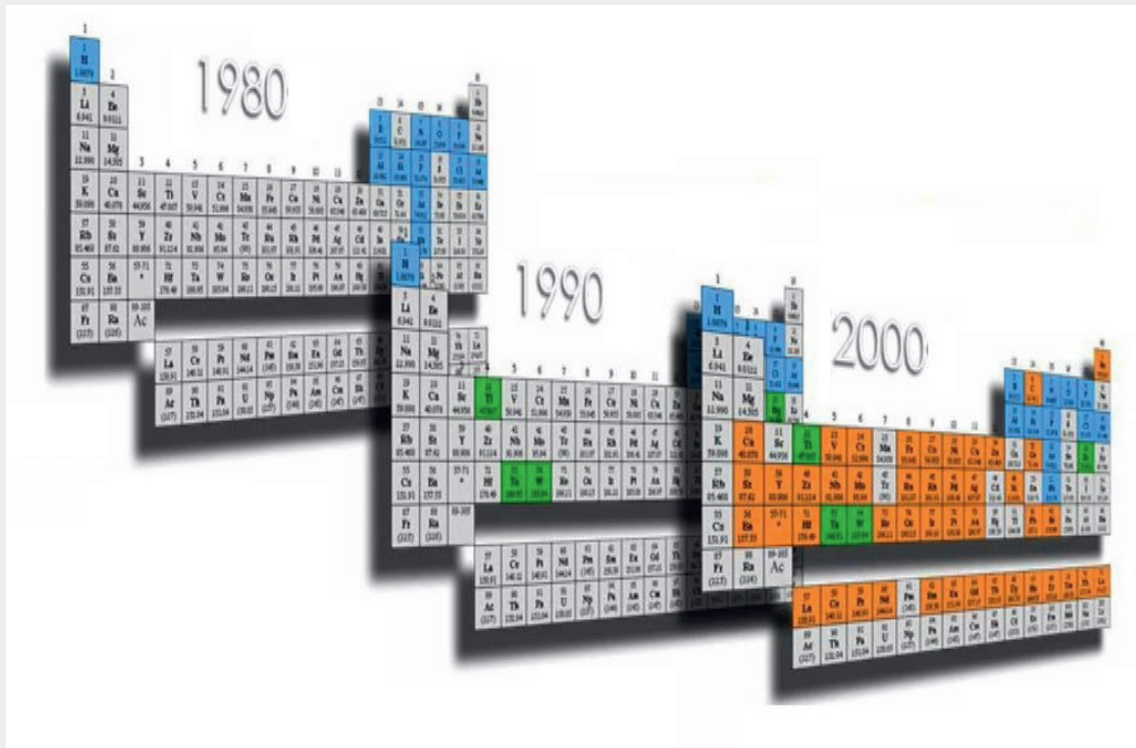


Gardien Massaï au téléphone en Tanzanie
© É. Bausson

PLAN ET RESSOURCES POUR TRAITER CETTE QUESTION DU GRAND ORAL

En suivant le questionnement ci-après et en vous appuyant sur les ressources proposées lors du colloque Chimie et matériaux stratégiques qui a eu lieu le 09/11/22, il est possible de répondre à cette problématique.

- Qu'entend-on par « matériaux stratégiques » ?
- Les polymères, un exemple de matériaux stratégiques
- Le P.V.D.F. et l'Elium[®], exemple de deux polymères stratégiques



En 20 ans, l'industrie électronique a utilisé de plus en plus d'éléments chimiques passant de 12 en 1980, à 16 en 1990 jusqu'à 61 en l'an 2000. (Source : Intel Corporation)

• Qu'entend-on par « matériaux stratégiques » ?

Actuellement, une grande majorité des éléments du tableau périodique de Mendeleïev est nécessaire pour les industries. Mais, pour certains d'entre eux, ils sont rares et/ou difficilement accessibles. Ils sont inégalement répartis sur notre planète, mais mondialement indispensables dans des utilisations industrielles stratégiques. Les conflits géopolitiques récents font découvrir au grand public l'existence et l'importance de quelque-uns de ces matériaux.

Plusieurs critères permettent de définir le caractère stratégique d'un matériau.

En premier lieu, s'il s'agit d'un composé issu d'un produit minéral, comme par exemple un métal issu d'un minerai, celui-ci devient stratégique si la demande croît alors que la ressource est rare ou si l'accès à la matière première est difficile, soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons géostratégiques.

Mais cette notion peut être élargie :

- à des matériaux de synthèse qui deviennent stratégiques s'ils possèdent des propriétés très spécifiques indispensables à la fabrication de certains objets en fort développement et si leurs fabrications sont le monopole d'un nombre limité de pays ou d'entreprises. Parmi ceux-ci on rencontre certains polymères tel que le P.V.D.F, car la croissance rapide des véhicules électriques et hybrides entraîne une demande sans précédent pour ce polymère.
- à des matériaux de synthèse répondant aux exigences de l'économie circulaire et du développement durable, c'est à dire à des critères de recyclabilité totale, et pouvant remplacer des matériaux très largement utilisés qui eux ne répondent pas à ces critères. L'Elium® en est un bon exemple.

Ainsi, certains types de plastique, le carton de base pour la logistique, les composants des microprocesseurs, le cuivre indispensable à l'électrification et le magnésium nécessaire aux alliages d'aluminium, les terres rares (indispensables pour les ordinateurs, les écrans, les LED, les aimants des éoliennes, etc.), le lithium... sont actuellement en tension. Et la liste, déjà très longue, risque de s'amplifier.

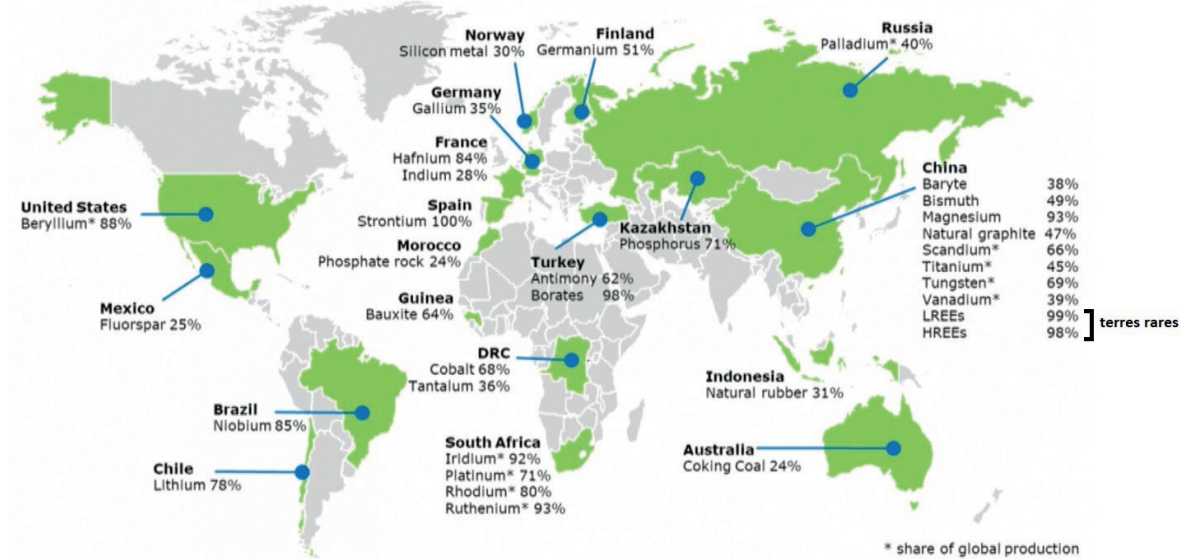
Les matériaux stratégiques sont indispensables à la politique économique d'un État, à sa défense, à sa politique énergétique ou à celle d'un acteur industriel spécifique (exemple : les matériaux pour la transition énergétique).



Salar d'Uryuni (Bolivie), désert de sel et plus grand gisement mondial de lithium
© Vladimir Melnik (Fotolia)

Sur la carte ci-après, nous voyons que certains pays, de par leurs grandes superficies et/ou leurs géologies, sont des fournisseurs importants de matières premières critiques pour l'Union européenne. Ces matériaux sont dits « critiques » car ils peuvent entraîner des impacts industriels ou économiques négatifs importants en raison des risques de rupture d'approvisionnement.

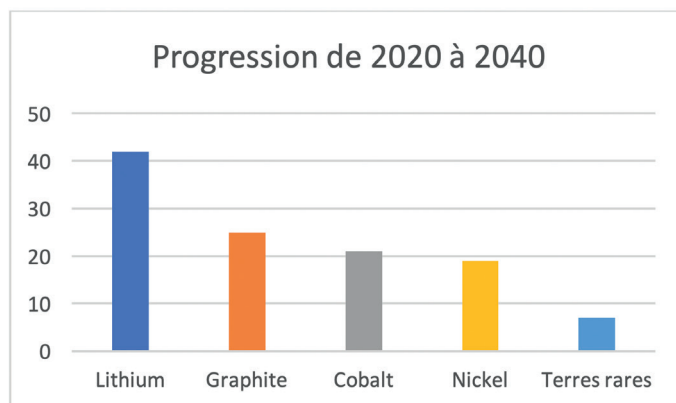
Principaux pays fournisseurs de matières premières critiques à l'UE



Source: rapport de la Commission européenne sur l'évaluation de la criticité en 2020.

Pour réussir la transition énergétique indispensable pour limiter à court et moyen termes l'usage des énergies fossiles, il faudra, quel que soit le scénario envisagé, augmenter considérablement l'extraction des matières premières minérales et métalliques dans le monde entier et, en parallèle, recycler le maximum d'objets en fin de vie.

En prenant comme référence l'année 2020, il faudrait au moins 42 fois plus de lithium en 2040 d'après les projections effectuées par l'Agence internationale pour l'énergie. Voici les facteurs multiplicateurs pour d'autres matériaux stratégiques toujours entre 2020 et 2040 :

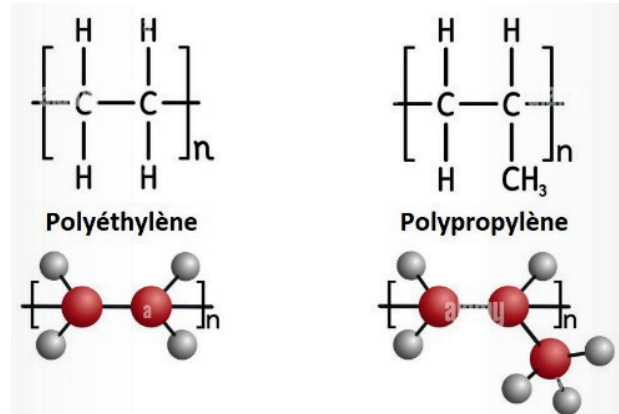


Les besoins en certains matériaux seront donc colossaux. Ils méritent l'appellation « stratégiques », car cela doit interpeller tous les décideurs publics et privés pour anticiper leurs choix en prenant les bonnes décisions qui permettraient de préserver une souveraineté économique.

• Les polymères, un exemple de matériaux stratégiques

Quelques rappels préliminaires à propos des polymères

Nous sommes entourés de polymères, depuis les polymères solubles utilisés dans les cosmétiques aux polymères et composites de très haute performance pour l'automobile, l'aéronautique ou l'électronique, en passant par les polymères plus connus sous le terme de « plastiques » (dont le polyéthylène PE, et le polypropylène PP, qui sont les deux polymères les plus fabriqués dans le monde avec respectivement 130 et 81 millions de tonnes par an, etc.), sans oublier ceux que nous portons (polyamides, polyester, etc.).



Motif répétitif dans les molécules du polyéthylène et du polypropylène.



Cocon de ver à soie © Wikimedia.org

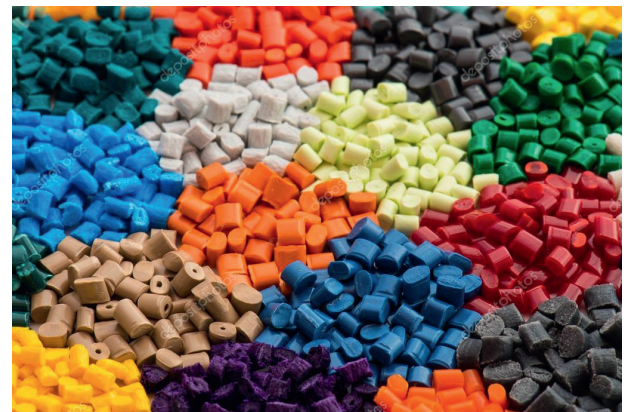
Mais la nature n'a pas attendu que l'Homme crée des polymères car nous trouvons aussi des polymères naturels sous forme de polysaccharides (amidon, cellulose, gomme arabique, etc.), polypeptides et protéines (laine, soie, etc.), sans oublier le cis-1,4-polyisoprène naturel issu du latex de l'hévéa qui sert à fabriquer les caoutchoucs, dont les pneumatiques.

Les polymères sont indispensables à notre vie quotidienne grâce aux performances qu'ils offrent et à la diversité de leurs fonctions. Mais il faut concilier l'utilisation des polymères pour améliorer la vie humaine avec une autre nécessité, celle de préserver l'environnement.

Rappelons quelques définitions et propriétés des polymères.

Les polymères **thermoplastiques** (bouteilles en polyéthylène ou polypropylène, etc.) et **thermodurcissables** (colles, peintures, etc.) se différencient par leur comportement en présence de chaleur.

Les polymères thermoplastiques peuvent être refondus, contrairement aux thermodurcissables qui demeurent à l'état solide une fois durcis. Les matériaux thermoplastiques ont des points de fusion bas, tandis que les thermodurcissables peuvent supporter des températures élevées.



Polymères plastiques pour l'industrie © depositphotos

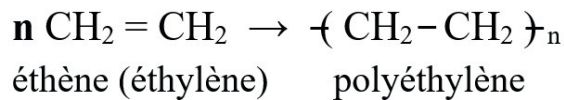
FOCUS sur la polymérisation de l'éthène

La polymérisation est une réaction chimique où de petites molécules, dénommées monomères, réagissent entre elles pour former une macromolécule, le polymère.

Une polymérisation peut avoir lieu suivant différents schémas réactionnels mais quel que soit celui-ci, il est possible d'identifier le motif d'un polymère à partir de sa formule.

Voici le bilan schématique de la polymérisation de molécules d'éthène permettant de former le polyéthylène par polyaddition :

Le motif qui se répète est $-CH_2 - CH_2-$.

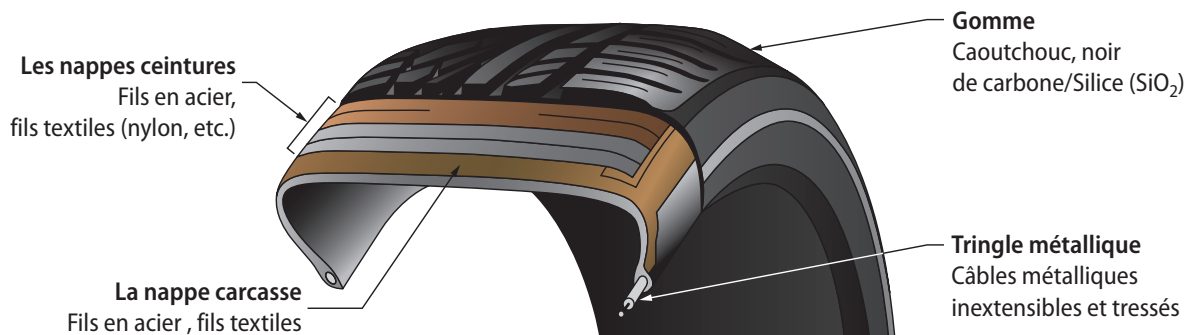


Un matériau composite est constitué de matériaux dont les propriétés individuelles se combinent pour former un matériau hétérogène ayant des performances globales fortement améliorées. Voici les constituants d'un matériau composite :

| Matrice | + | Renforts | + | Charges et/ou additifs |
|---|---|-------------------------|---|---|
| Polymère thermoplastique ou polymère thermodurcissable. | | Fibres, tissus, nappes. | | Pour apporter ou modifier certaines propriétés. |

Pour réaliser le matériau, la matrice et les additifs, ainsi qu'éventuellement d'autres monomères réactifs, sont en général initialement dilués sous forme d'un mélange liquide appelé résine.

Parmi les matériaux composites, bien que non stratégique, nous pouvons citer le pneu qui en est une belle illustration avec le caoutchouc comme polymère. Voici sa structure :



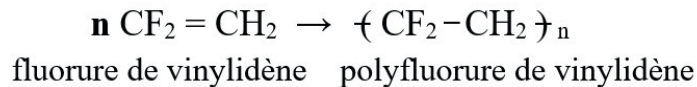
Structure et matériaux d'un pneu © Nathan

Les propriétés recherchées avec les polymères sont vastes. En premier lieu la légèreté pour limiter la consommation énergétique en cas de mobilité, puis bien d'autres comme l'élasticité, l'inertie face aux produits chimiques (capacité à résister à différents types d'agressions chimiques liquides ou gazeuses), la transparence ou l'opacité, etc.

● Le P.V.D.F. et l'Elium[®], exemple de deux polymères stratégiques

Le polyfluorure de vinylidène (P.V.D.F.) obtenu par polymérisation du fluorure de vinylidène est stratégique car nécessaire au bon fonctionnement des batteries au lithium. Il doit faire face à l'explosion de la demande qui devient exponentielle tout en répondant aussi à d'autres marchés où il a d'autres utilisations.

Le monomère est un éthène substitué par deux atomes de fluor sur un même atome de carbone.



Le motif qui se répète est ici $-\text{CF}_2 - \text{CH}_2 -$.

Le P.V.D.F. est un polymère thermoplastique dont les propriétés essentielles sont une excellente inertie chimique, une très bonne résistance au vieillissement et de bonnes propriétés mécaniques. Il est un des composants essentiels des **batteries lithium-ion** en sa qualité de **séparateur d'espèces chimiques** entre les deux compartiments de la batterie, empêchant tout mélange indispensable à son bon fonctionnement. Il faut absolument contenir l'oxydant d'un côté et le réducteur de l'autre en forçant les électrons à parcourir le circuit externe. C'est son rôle dans les batteries indispensables à notre mobilité (téléphone, ordinateur, voiture, etc.).

L'Elium[®], un autre matériau très récent, issu de la recherche, est promis à un bel avenir pour la transition énergétique et s'avère déjà stratégique. Le marché concerné est tout particulièrement celui des pales d'éoliennes.

En effet, après plus de 20 ans de bons et loyaux services, les éoliennes doivent être démantelées ou remplacées par d'autres plus modernes. On estime, en France, à 1 500 le nombre d'installations à démonter d'ici 2025 et la programmation pluriannuelle de l'énergie précise que le recyclage des principaux composants sera obligatoire dès 2023. Nous y sommes !



Recyclage de pales d'éoliennes sur un site en Belgique © IPM Recypale

Ce n'est pas facile car les pales sont constituées de matériaux composites comportant des fibres de verre ou plus récemment de fibres de carbone assemblées avec d'anciennes résines thermodurcissables non recyclables. Et jusqu'à présent, notamment aux États-Unis, elles terminent en enfouissement ou découpées en morceaux comme en Belgique...

L'Elium[®] offre un niveau de performance similaire à celui des résines traditionnelles mais il ouvre la voie du recyclage après usage dans les matériaux composites des pales d'éoliennes, coques de bateau et bien d'autres applications, grâce à son caractère thermoplastique.

Il est en effet **100 % recyclable** soit mécaniquement soit chimiquement. Le premier recyclage, mécanique, consiste à broyer puis chauffer pour obtenir un matériau utilisable dans divers secteurs (BTP, transports, etc.). Le second, chimique, après broyage et chauffage à plus de 400 °C, permet d'obtenir à nouveau le monomère à l'état gazeux. Cela permet de recréer le polymère puis la résine pour la même application.

Conclusion

Les prochaines années seront cruciales pour la transition énergétique. Les bonnes décisions sont à prendre par les entreprises et les États si cela n'est pas encore fait ou en cours malgré l'urgence déclarée depuis quelques années déjà ! Mais, le sont-elles déjà ? Il en va de la souveraineté économique d'un pays. Les choix doivent mettre en perspective des aspects économiques, sociaux et environnementaux. La très forte croissance de la demande de minéraux, de métaux et de matériaux synthétiques, comme les polymères, devra s'accompagner d'une réflexion de la conception d'un produit à son recyclage en fin de vie dans une démarche d'économie circulaire.

Les chimistes sont en pointe pour apporter des solutions et sont toujours à la recherche d'innovations.

À terme, la chimie organique ou chimie du carbone devra trouver un substitut au pétrole comme source de carbone. Ainsi l'origine des matières premières des composés organiques devra être biosourcée, c'est-à-dire obtenue à partir de la biomasse (colza, maïs, blé, déchets végétaux...), ce qui peut entraîner un conflit stratégique entre besoins alimentaire, énergétique et de synthèse en chimie. La recherche est déjà en route.

Sources utilisées pour ce dossier du Grand oral

- Conférences du colloque « Chimie et matériaux stratégiques » du 09/11/2022
- [Comment définir le périmètre des matériaux stratégiques ?](#) – J.F. Gaillaud
- [Les enjeux matériaux pour la fabrication et le recyclage des éoliennes](#) – Frédéric Petit
- [Polymères stratégiques sensibles pour l'industrie : bioressources, recyclage, quelles stratégies ?](#) – Denis Bortzmeyer (directeur scientifique Arkema) et Patrick Maestro (directeur scientifique Solvay)
- [Que faire des pales d'éolienne ?](#) – Mediachimie – Jean-Claude Bernier – Novembre 2021

Pour aller plus loin

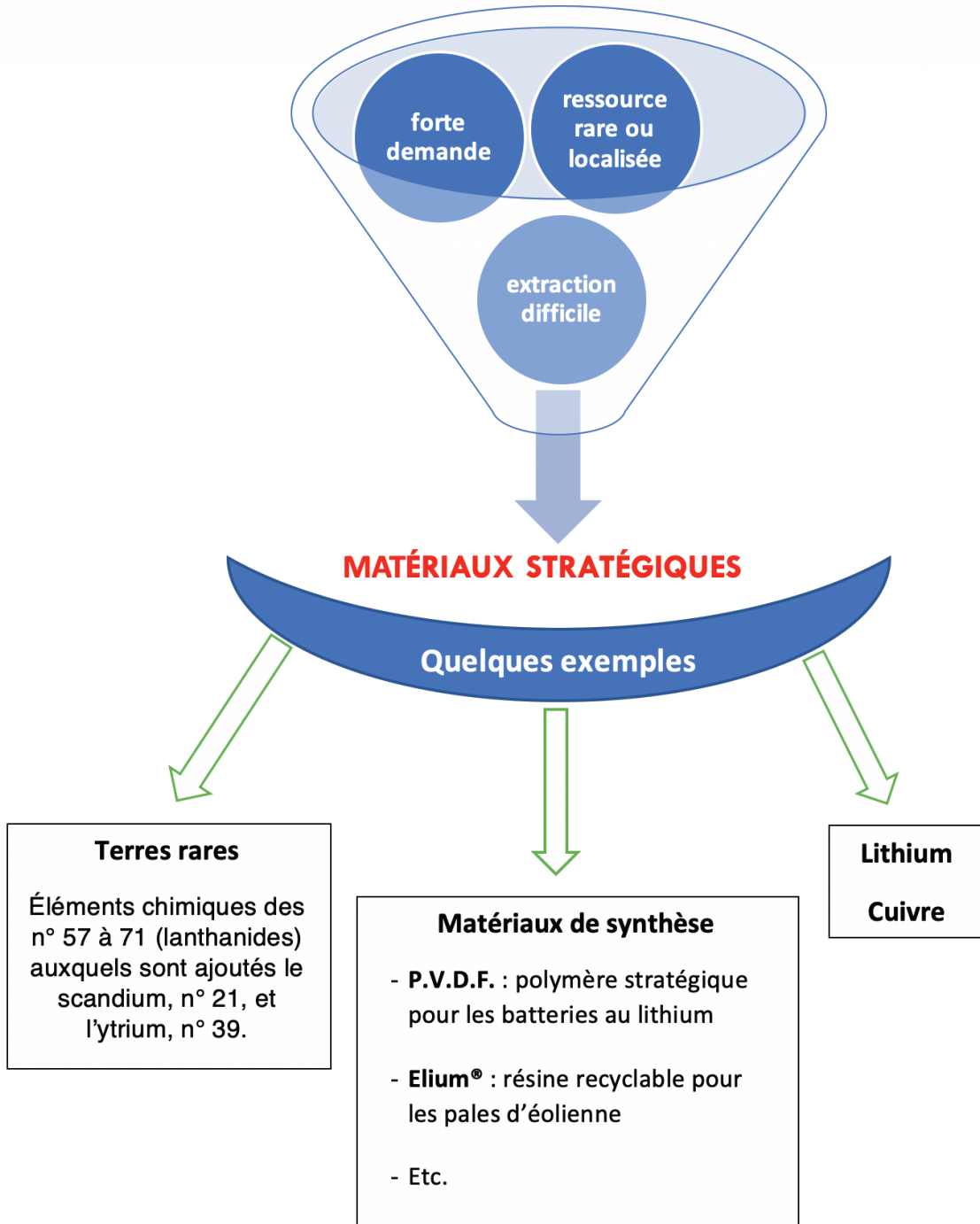
- [Mise au point d'un PVDF renouvelable](#) par la société Arkéma ; article de *Usine Nouvelle*

Nous vous invitons à revivre en vidéo l'ensemble du colloque « [Chimie et matériaux stratégiques](#) » et en particulier :

- [Chimie métallurgique pour résoudre les problèmes des métaux rares](#) – Jean-Claude Bernier | Professeur Émérite de l'Université de Strasbourg
- La conférence de [Matériaux critiques et axes stratégiques pour l'industrie automobile](#) – Gildas Bureau | Coordinateur Filière Automobile et Mobilité sur les matériaux critiques
- [La transition énergétique, un accélérateur de notre dépendance aux métaux stratégiques](#) – Patrick D'Hugues | Directeur du programme scientifique « Ressources minérales et Économie Circulaire », BRGM

Il peut être source pour vous de questionnements propices à la préparation d'un sujet pour votre Grand oral.

EN RÉSUMÉ



LE PROJET PROFESSIONNEL

Les chimistes ont un rôle majeur à jouer pour faire face à la pénurie des matériaux stratégiques.

Les matériaux les plus impactés à ce jour sont surtout des métaux dont les terres rares. Rappelons que la métallurgie est la science d'obtention des métaux et met en œuvre des procédés chimiques.

En premier lieu, les chimistes doivent améliorer les procédés d'obtention pour obtenir les meilleurs rendements tout en diminuant au maximum les impacts sur l'environnement, que ce soit au niveau de l'extraction du minerai ou pour le traitement de celui-ci. Pour faire face à la pénurie, il est indispensable qu'en fin de vie des objets qui contiennent ces métaux soient récupérés et donc réutilisés. Pour ce faire, les chimistes doivent mettre au point des procédés de séparation et de recyclage de ces métaux associés à d'autres matériaux.

En ce qui concerne les produits de synthèse comme les polymères et les composites, deux problèmes se posent auxquels les chimistes doivent apporter des solutions :

- **créer de nouveaux matériaux** dont on aura prévu dès leur conception le moyen de les recycler en fin de vie ;
- **chercher des sources de carbone autres que les hydrocarbures.** Si les sources végétales sont possibles, (matières premières biosourcées), de nombreuses recherches ont aussi lieu actuellement pour utiliser le CO₂ émis en tant que nouvelle matière première de produits carbonés.



Chimiste des matériaux (D.R.)

Pour découvrir des exemples sur les implications des chimistes dans ces domaines, on consultera les fiches :

- [Les chimistes dans l'aventure des nouveaux matériaux](#)
- [Les chimistes dans l'économie circulaire](#)
- [Les chimistes dans l'industrie chimique](#)
- La fiche Grand oral : [Que faire du CO₂?](#)
- [Les chimistes dans la chimie du végétal comme substitut du pétrole](#)

Ces sujets étant majeurs, plusieurs colloques ont eu lieu récemment à la Fondation de la maison de la chimie. En plus du colloque sur les matériaux stratégiques déjà cité, un colloque a été consacré aux **Sources de carbone** le 3/10/2022. Citons par exemple les conférences de la session « Le changement de matière première : des fossiles vers de nouvelles ressources ». Les résumés et les conférences sont consultables ici :

<https://actions.maisondelachimie.com/colloque/sources-de-carbone/>

Un autre colloque a concerné **Le recyclage chimique en science des matériaux : vers une économie circulaire**, deuxièmes Rencontres académie-industrie, dont les conférences et résumés sont proposés sur :

www.cncchimie.org/rencontres-cnc-2

Citons parmi celles-ci :

- [Recyclage de matériaux complexes : physico-chimie et procédés durables](#) par Dr Cyril Aymonier (DR CNRS, ICMCB CNRS-UB)
- [Le recyclage écologique des métaux : une filière verte à économie circulaire](#) par Dr Claude Grison (DR CNRS, Univ. Montpellier-CNRS, DS Bioinspir)
- [Le recyclage des polymères dans l'industrie](#) par Gérard Guilpain (Directeur Scientifique R&D ARKEMA)



Recyclage de batteries chez Rhodia © Samuel Mann - Flickr - C.C.

Un certain nombre de métiers répondent à cette thématique. On pourra consulter les fiches suivantes :

- [Ingénieur matériaux H/F](#)
- [Technicien matériaux H/F](#)
- [Ingénieur de recherche / chercheur H/F](#)
- [Technicien chimiste H/F](#)
- [Ingénieur brevet / responsable brevets H/F](#)

Comment accéder à ces formations ?

- En suivant les options « chimie des matériaux » d'un certain nombre d'écoles d'ingénieurs de la Fédération Gay Lussac <https://20ecolesdechimie.com/la-chimie-et-ses-metiers/les-metiers-de-la-chimie/> ou en choisissant un master pro sur cette thématique.
- Au niveau bac +2/3, en préparant un [BUT sciences et génie des matériaux](#) ou en préparant une licence pro concernant les matériaux.

On pourra consulter de façon plus générale les parcours pour devenir ingénieur(e) :

www.mediachimie.org/metier/35

Et pour devenir technicien(ne) :

www.mediachimie.org/metier/34

Ressources proposées en collaboration avec les équipes métiers/orientation de la Maison de la Chimie : Françoise Brénon et Gérard Roussel.

