

Perspectives

N°23/332 – 8 décembre 2023

Chimie – Le graphène va-t-il détrôner la fibre de carbone ?

- Tous deux matériaux à base de carbone, la fibre de carbone se distingue du graphène principalement par la présence dans sa structure d'éléments tels que l'oxygène et l'azote. Si la fibre de carbone est considérée depuis sa découverte à la fin du XIX^e siècle comme révolutionnaire, c'est principalement grâce à ses propriétés physiques comme sa résistance, sa densité et sa conductivité ; ce qui lui a permis de s'imposer comme un matériau incontournable. Avec un volume mondial de vente d'environ 120 000 tonnes fin 2022, la fibre de carbone est en effet utilisée dans quasiment tous les grands segments de l'industrie comme l'aéro-nautique-défense, l'énergie, l'automobile et la construction.
- Cependant depuis 2004 avec la découverte du graphène¹, la suprématie de la fibre de carbone en tant que super matériau s'est vue bousculée par ce nouveau matériau de carbone, qui porte la promesse de caractéristiques et de propriétés encore plus intéressantes.
- Ainsi, avec respectivement un marché de 556 millions de dollars et 3,5 milliards de dollars en 2022 pour le graphène et la fibre de carbone, les analystes prévoient une forte croissance du graphène d'ici à 2027 avec un TCAM de 34%, contre 7% pour la fibre de carbone².
- Quelles sont donc les caractéristiques du graphène qui lui permettront de concurrencer fortement la fibre de carbone ?

Figure 1 – Taille marché en valeur du graphène et de la fibre de carbone en 2022 (millions \$)

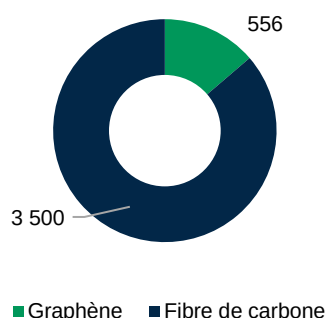
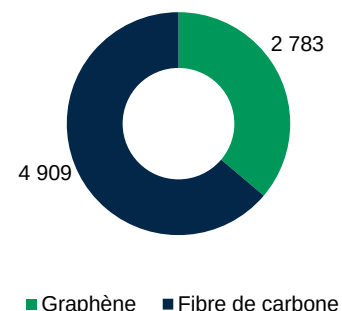


Figure 2 – Taille marché en valeur du graphène et de la fibre de carbone attendu en 2027 (millions \$)



Sources : Insight Partners, Mordor, Technavio, Crédit Agricole SA/ECO

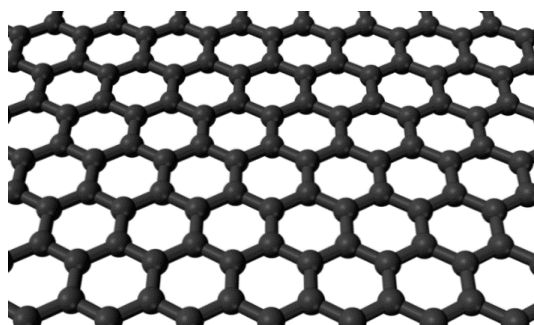
¹ La première extraction du graphène a été réalisée par les physiciens Andre Geim et Konstantin Novoselov. Par la suite, ils recevront le prix Nobel de physique en 2010.

² Soit un marché de 2,8 milliards de dollars pour le graphène, contre 4,9 milliards de dollars pour la fibre de carbone.

C'est quoi le graphène ?

Le graphène est un matériau polyvalent solide et composé d'atomes de carbone proches les uns des autres en formant un hexagone. Le graphène a une épaisseur atomique et est donc beaucoup plus mince qu'un cheveu humain. La proximité des atomes de carbone entre eux confère au graphène une très grande stabilité.

Figure 2 – Structure d'une couche de graphène

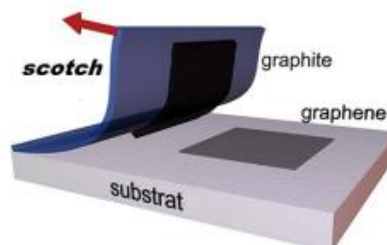


Comment obtient-on donc ce super matériau ?

À l'instar de certains matériaux, le graphène n'existe pas à l'état naturel. La forme la plus proche à l'état naturel est le graphite³. La première extraction du graphène a été réalisée en 2004 à partir de graphite et de ruban adhésif. Le procédé a consisté à utiliser un ruban adhésif pour arracher une fine couche du graphite de sorte à obtenir les

granulométries les plus fines possible. Depuis, plusieurs procédés se sont développés afin d'obtenir un procédé à l'échelle industrielle.

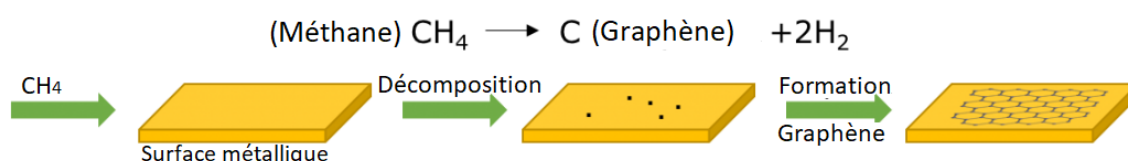
Figure 3 – Procédé d'extraction du graphène sur le graphite à l'aide d'adhésif



Afin d'obtenir un procédé de production plus performant à faible coût économique et environnemental, plusieurs développements se sont succédé et ont abouti à trois grands procédés.

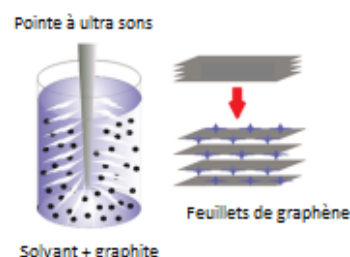
Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) : le principe de ce procédé est de mettre en contact un gaz carboné tel que le méthane ou l'éthylène avec une surface métallique (cuivre, silicium...) aboutissant à une décomposition catalytique à haute température et haute pression. Ainsi, selon le type de surface métallique utilisé et du fait de leur faible solubilité dans le métal, les atomes de carbone issus de la décomposition du gaz carboné restent en surface de la surface métallique, puis interagissent entre eux selon un réseau hexagonal parfait pour former une monocouche de graphène.

Figure 4 – Obtention du graphène via le procédé CVD



L'exfoliation en phase liquide : ce procédé utilise des ultrasons et un solvant pour agiter le graphite et séparer ses couches. Le principe est qu'à partir d'une poudre de graphite incorporée dans une solution, un apport d'énergie est effectué par sonication ou ultrasonication⁴ à haute puissance pour délaminer les feuilles de graphène du bloc de graphite. À l'issue, plusieurs couches de graphène sont obtenues à l'instar du procédé CVD.

Figure 5 – Obtention du graphène via le procédé d'exfoliation en phase liquide



³ Graphite : espèce minérale naturelle à base de carbone

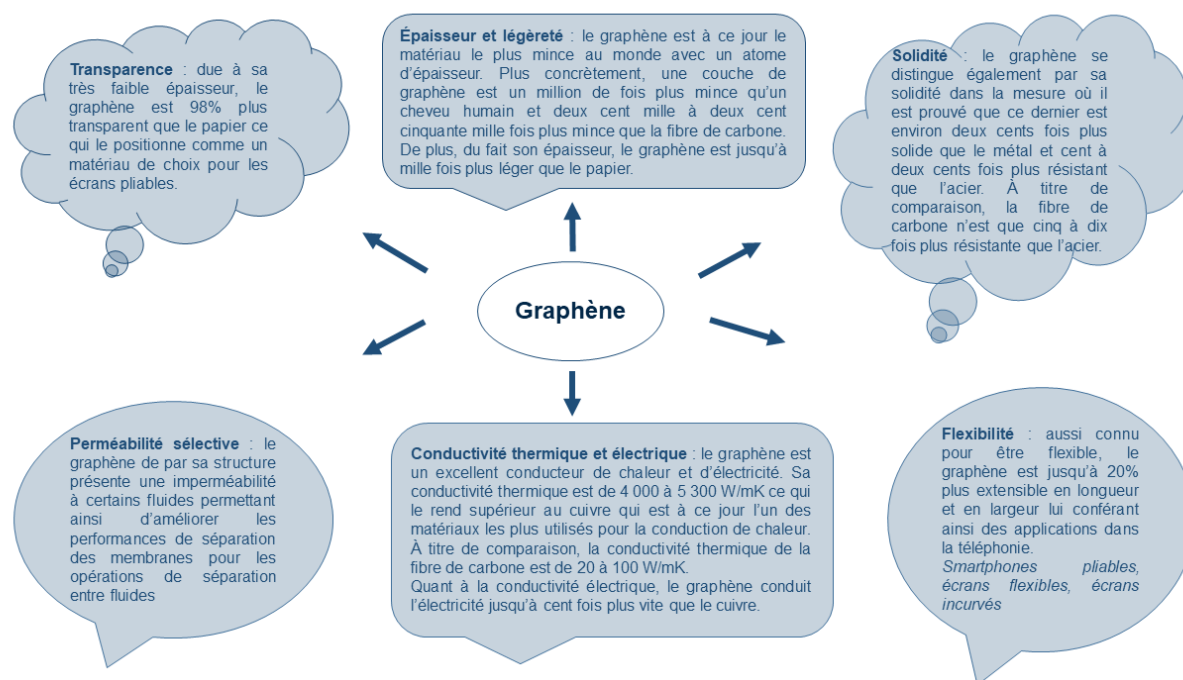
⁴ Sonication et ultrasonication : technique utilisée pour la désintégration des cellules et l'extraction de matériau

Un peu plus de 80% du graphène produit à l'échelle mondiale utilise un de ces procédés. Cependant, le procédé d'exfoliation en phase liquide se démarque de par ses vertus écologiques. En effet, il utilise principalement du solvant à base d'eau ce qui permet une faible utilisation de produits chimiques permettant une pureté plus élevée du graphène obtenu.

Le graphène : le superman des matériaux !

Le graphène se distingue par des propriétés impressionnantes, ce qui explique un combat qui semble déséquilibré avec la fibre de carbone. La Figure 6 ci-dessous met évidence ces propriétés *Marvelique* du graphène.

Figure 6 – Propriétés du graphène



Comme présenté ci-dessus, le graphène domine à tous les niveaux comparables la fibre de carbone. Ainsi, le tableau ci-dessous permet de récapituler ce rapport de charge entre ces deux matériaux.

Tableau 1 – Comparaison des propriétés du graphène par rapport à la fibre de carbone

Propriétés	Rapport charge graphène/fibre de carbone
Épaisseur	200 000 – 250 000
Solidité	10 - 40
Légèreté	1,2 - 4
Flexibilité	-
Transparence	-
Conductivité thermique	40 - 53
Perméabilité	-

Le graphène, un matériau incontournable ?

De par sa polyvalence et ses propriétés, le graphène deviendra dans les années à venir un matériau incontournable dans de nombreux domaines.

L'électronique et la télécommunication : dans un futur proche, nul doute qu'en plus d'être utilisé comme semi-conducteur au regard de sa bonne conductivité, le graphène pourra servir en tant qu'écran de smartphone, notamment grâce à sa transparence, sa solidité et sa flexibilité.

La santé et la biomédecine : utilisé dans le diagnostic comme biocapteurs optiques et électrochimiques pour la détection des biomolécules (glucose, ADN...), le graphène peut être également utilisé comme nano-transporteur, afin d'accroître la spécificité de certains médicaments grâce à sa

fonctionnalisation par des molécules de ciblage comme les anticorps⁵.

L'énergie et le stockage : le graphène s'avère également être un matériau important pour accompagner la transition énergétique.

- ✓ **Stockage** : les anodes à base de graphène permettent de mieux conserver l'énergie avec un temps de chargement jusqu'à dix fois plus rapide que les autres types d'anodes. De plus, couplé à d'autres composés, le graphène est utilisé comme matériau cathodique pour améliorer la stabilité et la capacité de débits des batteries.
- ✓ **Cellules solaires** : du fait de ses propriétés semi-conductrices, le graphène peut être utilisé comme couche de transport, de trous et de blocage d'électrons. Aussi, comme couche interfaciale, il améliore significativement la durabilité des dispositifs en augmentant la stabilité de la couche active du module solaire. Par ailleurs, il peut contribuer également à augmenter de manière significative le rendement des modules solaires.
- ✓ **Éoliennes** : comme futur matériau ou matériau composite pour la structure des éoliennes et de leur pâles, il permettra d'alléger de manière significative le poids des éoliennes. De par sa résistance, le graphène se positionne également comme un matériau permettant aux éoliennes de faire face aux intempéries les plus extrêmes. Enfin, comme vecteur de chaleur, il pourra aider à la bonne conduction thermique pour résoudre les problématiques de dégivrage.

L'aérospatial et la défense : comme constituant de la structure des appareils (avions, fusées...), le graphène permettra de les rendre plus légers et résistants, répondant ainsi au défi du poids des appareils qui est l'une des plus grandes

préoccupations des fabricants dans une logique d'économies d'énergie.

La peinture et colorant : utilisé dans les peintures et colorants comme conducteur thermique pour la bonne diffusion de chaleur.

Les polymères et additifs : pour améliorer la performance des colles, la malléabilité et résistance des polymères.

L'automobile : comme matériaux et revêtements des véhicules et aussi comme composant du système électronique.

La construction : le graphène améliore les propriétés physiques et mécaniques du béton et peut être utilisé comme isolant pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments

Le graphène, un futur *blockbuster*, mais encore des défis à relever...

L'enjeu autour du graphène est énorme, car il s'inscrit dans plusieurs thématiques-clés et se présente comme une solution innovante et durable pour de nombreux secteurs comme l'énergie, la santé ou l'aéronautique. Le marché du graphène demeure toutefois un marché de niche du fait de certains freins, à savoir le manque de standardisation des procédés de production, le manque de fiabilité de la qualité des produits et la complexité de montée en échelle industrielle. Pour faire du graphène un matériau *blockbuster*, ces freins devront être résolus et cela passera par des efforts considérables en R&D, par des investissements massifs pour le développement de projets pilotes et industriels et, par la création d'une véritable filière du graphène accompagnée par les pouvoirs publics et par la construction d'un *corpus* réglementaire précis.

⁵ [Les avantages du graphène pour l'administration de médicaments et la thérapeutique \(ts2.space\)](#)

Consultez nos dernières parutions en accès libre sur Internet :

Date	Titre	Thème
06/12/2023	<u>France – La croissance révisée à -0,1% au troisième trimestre, une histoire pas tellement modifiée</u>	France
06/12/2023	<u>Allemagne – L'industrie bénéficiera de subventions sur les prix de l'électricité</u>	Allemagne
05/12/2023	<u>Zone euro – Se réjouir du reflux de l'inflation à 2,4%, mais veiller aux prochaines pressions à la hausse</u>	Zone euro
01/12/2023	<u>Monde – L'actualité de la semaine</u>	Monde
30/11/2023	<u>Parlons COP, parlons COP28, en route pour Dubaï</u>	Transition énergétique
30/11/2023	<u>Moyen-Orient - Afrique du Nord – un peu plus de croissance et un peu moins d'inflation en 2024</u>	Moyen-Orient - Afrique du Nord
29/11/2023	<u>Afrique sub-saharienne/États-Unis – L'AGOA offre des opportunités économiques pour la région</u>	Afrique, États-Unis
29/11/2023	<u>Italie – Un feu orange de la Commission européenne, suffisant pour éviter la tempête</u>	Italie
28/11/2023	<u>Zone euro – La Commission européenne prépare les pays à la réouverture des procédures de déficit excessif</u>	Zone euro
28/11/2023	<u>France – Le climat des affaires plombé par le commerce de gros et de détail</u>	France
24/11/2023	<u>Monde – L'actualité de la semaine</u>	Monde
23/11/2023	<u>À San Francisco, un déplacement de Xi Jinping aussi politique qu'économique</u>	Etats-Unis, Asie
23/11/2023	<u>Afrique sub-saharienne – Quelles conséquences du ralentissement de l'économie chinoise pour la région ?</u>	Asie, Afrique
22/11/2023	<u>France – L'Insee confirme la forte baisse de l'inflation en octobre</u>	France
22/11/2023	<u>Zone euro – Stagnation et désinflation confirmées</u>	Zone euro

Crédit Agricole S.A. — Direction des Études Économiques

12 place des États-Unis – 92127 Montrouge Cedex

Directeur de la Publication : Isabelle Job-Bazille

Rédacteur en chef : Dominique Rebouillat

Documentation : Stéphanie Jacob – **Statistiques :** Datalab ECO

Secrétariat de rédaction : Fabienne Pesty

Contact : publication.eco@credit-agricole-sa.fr

Consultez les Études Économiques et abonnez-vous gratuitement à nos publications sur :

Internet : <https://etudes-economiques.credit-agricole.com/>

iPad : application [Etudes ECO](#) disponible sur App store

Android : application [Etudes ECO](#) disponible sur Google Play

Cette publication reflète l'opinion de Crédit Agricole S.A. à la date de sa publication, sauf mention contraire (contributeurs extérieurs). Cette opinion est susceptible d'être modifiée à tout moment sans notification. Elle est réalisée à titre purement informatif. Ni l'information contenue, ni les analyses qui y sont exprimées ne constituent en aucune façon une offre de vente ou une sollicitation commerciale et ne sauraient engager la responsabilité du Crédit Agricole S.A. ou de l'une de ses filiales ou d'une Caisse Régionale. Crédit Agricole S.A. ne garantit ni l'exactitude, ni l'exhaustivité de ces opinions comme des sources d'informations à partir desquelles elles ont été obtenues, bien que ces sources d'informations soient réputées fiables. Ni Crédit Agricole S.A., ni une de ses filiales ou une Caisse Régionale, ne sauraient donc engager sa responsabilité au titre de la divulgation ou de l'utilisation des informations contenues dans cette publication.