

> normale. Pour le graphite (absorbant), une surface taillée parallèlement aux plans de graphène renvoie 33% de la lumière incidente. En outre, pour que la réflexion soit faible, il faut que l'indice optique du matériau soit proche de celui de l'air, ce qui signifie qu'il doit être très peu dense...

Puisque les conditions de l'opacité (matériau dense et absorbant) sont aussi celles qui favorisent la réflexion, la situation semble insoluble. Il y a toutefois une solution : texturer la surface afin que l'interface ne soit pas plane. Un procédé élémentaire est de réduire le graphite en poudre la plus fine possible. Le résultat est beaucoup plus noir que le matériau massif. Pourquoi ? Parce qu'avant de repartir vers l'observateur, la lumière subit de multiples réflexions à l'intérieur des anfractuosités de la surface. Mais on ne contrôle pas grand-chose, notamment l'agencement et la forme des agrégats dont la poudre est constituée.

DES SURFACES STRUCTURÉES

On peut faire beaucoup mieux avec les techniques récentes de lithographie ou de nanotechnologie. Au moyen d'impulsions laser, il est ainsi possible de texturer une surface lisse de silicium de façon à y creuser une forêt de pics microscopiques de forme conique. Cela réduit considérablement le pouvoir réfléchissant initial de la surface de silicium, qui est d'environ 30%.

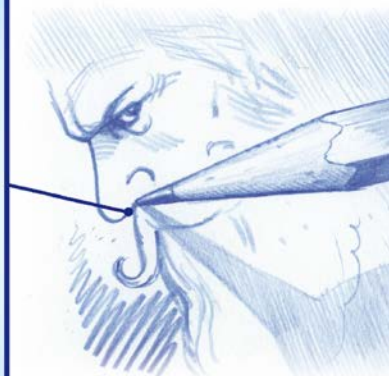
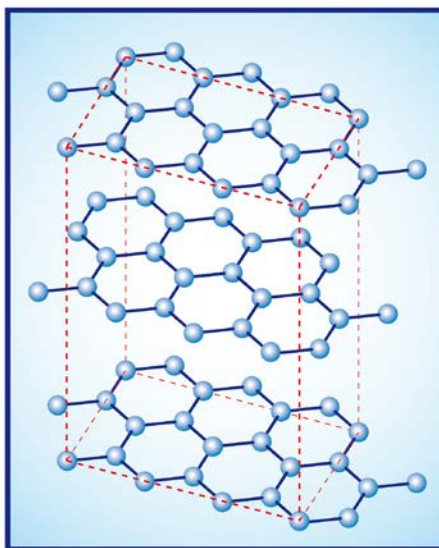
Et si l'on structure une surface à une échelle plus petite que la longueur d'onde lumineuse, l'effet est de réduire la densité de la matière et tout se passe comme si l'on réduisait l'indice optique. Celui-ci est alors une moyenne entre l'indice de l'air et l'indice du matériau massif. Plus la porosité sera élevée, plus l'indice effectif diminuera et se rapprochera de celui de l'air, et donc moins la réflexion sera importante.

La texturation « ultime » est atteinte par le Vantablack (acronyme de *Vertically aligned nanotube array black*) du fabricant britannique Surrey NanoSystems. Il s'agit d'un revêtement d'environ 20 à 30 micromètres d'épaisseur et constitué de nanotubes de carbone d'une vingtaine de nanomètres de diamètre, orientés perpendiculairement à la surface. La densité de ces nanotubes est très faible : ils occuperaient seulement une fraction de 1% du volume du revêtement, ce qui assure un indice optique très proche de l'air.

Les performances sont stupéfiantes. Une surface ainsi revêtue absorbe 99,965% de la lumière visible : le noir obtenu est tel

LA MAGIE DU CRAYON NOIR

Les mines de crayon noir sont en graphite, une forme de carbone constituée de feuillets parallèles de graphène espacés d'environ 0,4 nanomètre. Chaque plan de graphène est formé d'atomes de carbone chimiquement liés entre eux en un réseau hexagonal. Un feuillet de graphène a un pouvoir d'absorption optique relativement élevé : il absorbe 2,3 % de l'intensité lumineuse incidente. Avec quelques dizaines de couches de graphène, un trait de crayon sur du papier blanc apparaît alors noir : le pouvoir d'absorption atteint 50 % au bout de 30 couches seulement, et 90 % au bout de 100 couches.



qu'aucun reflet ne vient aider l'œil à discerner détails ou reliefs. Un objet tridimensionnel recouvert de Vantablack semble ainsi bidimensionnel... au grand plaisir des admirateurs des œuvres d'Anish Kapoor, qui en a l'usage artistique exclusif. Les utilisations professionnelles ne s'arrêtent pas là : déflecteurs, absorbeurs de lumières parasites ou de la lumière solaire, cavités à corps noir...

Mais le Vantablack n'est pas si facile à appliquer, car il faut faire croître les nanotubes à partir de la surface originale. Cela nécessite une technologie de dépôt chimique en phase vapeur ou, sous une forme un peu moins performante (99,8% d'absorption), un processus de pulvérisation exclusif suivi d'un post-traitement.

Cela explique aussi pourquoi la recherche du noir vraiment noir n'est pas achevée. Grâce à un financement participatif, Stuart Semple a ainsi commercialisé une peinture acrylique, le Black 3.0, dont l'absorption dans le visible est comprise entre 98% et 99%. C'est moins bien que le Vantablack, mais mieux que toutes les autres peintures noires applicables au pinceau. Seule condition pour l'acheter : ne pas être Anish Kapoor ou l'un de ses affiliés, c'est expressément écrit ! ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Lehman et al., **Carbon nanotube-based black coatings**, *Applied Physics Reviews*, vol. 5, article 011103, 2018.

Z.-P. Yang et al., **Experimental observation of an extremely dark material made by a low-density nanotube array**, *Nano Letters*, vol. 8(2), pp. 446-451, 2008.

Site de financement participatif du Black 3.0 : <https://bit.ly/2Pyf3QM>

Site de Surrey NanoSystems sur le Vantablack : www.surreynanosystems.com/fr/vantablack

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 499 (mai 19)
réf. PL499



N° 498 (avr. 19)
réf. PL498



N° 497 (mar. 19)
réf. PL497



N° 496 (févr. 19)
réf. PL496



N° 495 (jan. 19)
réf. PL495



N° 494 (déc. 18)
réf. PL494



N° 493 (nov. 18)
réf. PL493



N° 492 (oct. 18)
réf. PL492



N° 491 (sept. 18)
réf. PL491



N° 490 (août 18)
réf. PL490



N° 489 (juillet 18)
réf. PL489



N° 488 (juin 18)
réf. PL488

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science, au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ 0 1 x 9,90 € = 9,90 €
 2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social: 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret: 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2019 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques. Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



**RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR**