

Les OLED :

marchés actuels et perspectives d'applications

Sounil BHOSLE

Oliscie

Georges ZISSIS, David BUSO, Gérald LEDRU, Cédric RENAUD, Marc TERNISIEN

Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie - Université Paul Sabatier

Manuel LOPES

Toulouse Tech Transfer

sounil.bhosle@oliscie.fr

Les OLED, diodes électroluminescentes organiques, suscitent actuellement beaucoup d'enthousiasme et apportent de nouvelles perspectives dans le domaine de l'éclairage. Aujourd'hui employées à l'échelle industrielle dans des écrans d'appareils mobiles, elles commencent à percer le marché des téléviseurs. Quels seront les prochains marchés, et à quelles échéances ? C'est pour répondre à cette question que nous présentons ici un bilan des propriétés des OLED, de leurs performances actuelles et à venir et des verrous technologiques qui restent à lever.

Le marché des OLED

L'OLED représente aujourd'hui une technologie de source de lumière extrêmement prometteuse. Ses propriétés naturelles permettent d'envisager à l'avenir un éclairage large, diffus, non éblouissant, sur une surface extrêmement fine, éventuellement incurvée voire même flexible. Ainsi, elle ne se présente pas comme une solution de substitution à une technologie existante, mais elle offre bel et bien des perspectives inédites pour appréhender et concevoir l'éclairage de demain. De nombreuses anticipations et images de synthèse montrent à quel point ces sources sont capables de réaliser des fonctions inenvisageables avec les technologies actuelles. On peut par exemple citer des fenêtres OLED, qui laisseraient passer la lumière le jour et s'illumineraient la nuit, des murs éclairants ou des véhicules carrossés de lumière. Les OLED déchainent à l'évidence l'imaginaire des créatifs, mais elles n'en sont encore qu'aux premiers balbutiements dans le domaine de l'éclairage.

Cependant, il existe un marché sur lequel l'OLED a déjà pris une part importante : il s'agit des écrans pour appareils portables, avec les fameux AMOLED

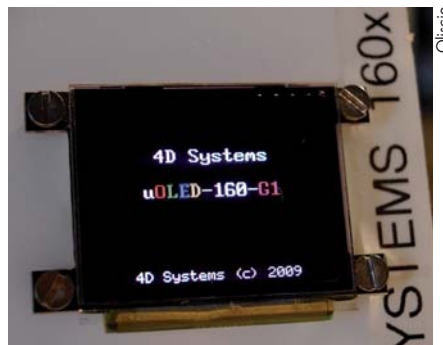


Figure 1. Écran PMOLED.

(active matrix of OLED), qui équipent toute une gamme de téléphones mobiles.

Les écrans

Les OLED ont trouvé leur place ces dix dernières années dans le domaine des écrans pour appareils mobiles, sous forme de pixels associés en matrice.

Contrairement à un écran LCD qui produit une image en occultant certains points d'un rétro-éclairage, l'écran OLED produit lui-même sa lumière, chaque pixel étant une source lumineuse en soi. Il en résulte un gain de poids, d'épaisseur et d'efficacité lié à l'absence du rétro-éclairage. Le contraste de l'image s'en trouve également

renforcé. La fréquence de rafraîchissement de l'image peut également être portée à des valeurs supérieures à celle d'un écran LCD et reproduire ainsi les mouvements avec une très grande fluidité.

Dans le domaine des écrans OLED, on distingue la technologie PMOLED (*passive matrix of OLED* - figure 1) et l'AMOLED. La première technologie est la plus ancienne. Elle est basée sur une matrice de pixels OLED qui sont alimentés séquentiellement par ligne. Ainsi, les pixels d'une image ne restent allumés qu'une fraction du temps de rafraîchissement de l'image et doivent donc être instantanément beaucoup plus brillants qu'ils n'apparaissent visuellement en moyenne. Ceci est d'autant plus marqué que l'écran est grand et que le temps de rafraîchissement de l'image est important. La technologie PMOLED, compte tenu de son coût attractif, reste employée pour des écrans de petite taille, de faible résolution et présentant une faible gamme de couleurs. Elle reste moins durable et moins fiable que la technologie AMOLED.

Dans son principe de base, un pixel d'écran AMOLED est constitué d'une OLED associée à un transistor qui assure

son allumage ou son extinction selon un signal de commande. Ainsi, un pixel allumé le reste durant tout le temps de rafraîchissement de l'image et il n'est donc plus nécessaire de le « suralimenter ». Les tensions de fonctionnement sont ainsi moindres, la fiabilité et la durée de vie accrues, et surtout, ce mode de fonctionnement n'impose plus de contraintes sur le temps de rafraîchissement entre deux images et donc sur la taille et/ou la résolution de l'écran. C'est ainsi que depuis 2007-2008, années de pénétration du marché de cette technologie, les écrans AMOLED gagnent du terrain dans les applications mobiles telles que les écrans de téléphones portables, les tablettes et même les téléviseurs.

Samsung et LG commercialisent actuellement (en faible volume) des téléviseurs AMOLED de grande taille (140 cm de diagonale) qui bénéficient de tous les atouts de la technologie OLED (*figure 2*) : profil incurvé, épaisseur de l'ordre du centimètre, fréquence d'image élevée au point de pouvoir diffuser simultanément deux programmes différents adressés individuellement aux spectateurs munis de lunettes synchronisées.



Samsung Electronics

Figure 2. Téléviseur AMOLED, profil incurvé.

Le transfert de la technologie AMOLED de l'écran de téléphone au téléviseur n'est pas la simple application d'un facteur d'échelle. L'enjeu est d'envergure. En effet, les exigences de performances et surtout de stabilité dans le temps sont largement plus contraignantes pour un téléviseur, que l'on est supposé garder autour de 10 ans, que pour un téléphone qui se change en moyenne tous les deux ans. La technologie OLED souffre actuellement encore d'une faible durée de vie par rapport aux autres technologies. Ainsi, ces nouveaux téléviseurs doivent prouver leur robustesse dans le temps et dans un environnement autre qu'un laboratoire de test ou un salon commercial.

L'automobile

On sent aujourd'hui une forte effervescence autour de l'OLED dans le domaine de l'automobile. Même s'il n'y a pas aujourd'hui d'équipements OLED produits en masse pour ce marché, la plupart des grandes marques ont démontré leur intérêt pour la technologie au travers de prototypes plus ou moins futuristes.

L'emploi de cette technologie concerne parfois l'écran de l'ordinateur de bord mais également l'éclairage de l'habitacle ou même les feux extérieurs. L'un des concepts les plus ambitieux dans le domaine est la Smart Forvision, produit de la collaboration entre Smart et BASF, où des OLED transparentes placées sur le toit laissent passer la lumière du jour et produisent de la lumière la nuit (*figure 3*).

Les grandes entreprises du domaine des OLED que sont Osram, Philips ou Astron Fiamm ne sont pas en reste et ont toutes participé à l'élaboration de concept-cars avec des géants de l'automobile.

Les OLED, grâce à leur finesse et à leur facilité d'intégration, apportent à l'industrie automobile de formidables perspectives en matière de conception de nouveaux éclairages d'habitacles, mais également une plus grande flexibilité et une réduction des coûts de montage des éclairages extérieurs et de signalisation. Cependant, les OLED ne sont pas aujourd'hui au niveau du coût de production exigé par l'industrie automobile et de nombreux travaux de recherche sont actuellement menés dans le domaine. Ils rassemblent des acteurs majeurs de l'industrie automobile et du domaine des OLED, certains étant même financés en partie par les pouvoirs publics. Ainsi, le projet allemand So-Light (*figure 4*) a-t-il été financé à hauteur de 14,7 millions d'euros par le ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche. Il a rassemblé des acteurs de premier plan tels que Hella et Novaled et a débouché sur de nouveaux concepts et procédés pour l'adaptation des OLED aux contraintes spécifiques à l'automobile.

Osram, de son côté, a dévoilé l'été dernier ses projets de développement d'une gamme d'OLED spécialement destinées à l'automobile. Ces OLED bénéficient en particulier d'une tenue à des températures



Smart Forvision

Figure 3. Utilisation d'OLED transparentes dans un habitacle automobile.



Hella

Figure 4. Feu arrière issu du projet SoLight.

supérieures à 85 °C pendant plusieurs milliers d'heures. Cette condition, qui fait partie du cahier des charges des équipements automobiles, représente un véritable défi technologique pour un composant organique qui supporte traditionnellement mal les températures supérieures à 60 °C.

Il faudra donc plusieurs années avant que les voitures de série soient dotées d'éclairages OLED, mais plusieurs analyses prospectives indiquent qu'après les écrans, le prochain domaine d'application des OLED sera l'éclairage automobile (figure 5).

L'éclairage

Les OLED d'aujourd'hui souffrent typiquement de trois défauts :

- Leur efficacité, c'est-à-dire leur capacité à transformer l'énergie électrique en « énergie lumineuse » reste faible, entre 20 et 40 lm/W. C'est plus que les lampes à incandescence mais moins que toutes les autres.
- Leur durée de vie est trop courte : typiquement quelques milliers d'heures, contre 10 000 h pour un éclairage à tubes fluorescents.
- Leur flux, c'est-à-dire leur puissance rayonnée, reste trop faible pour vraiment éclairer. Le flux typique d'une

OLED d'environ 10 cm de diamètre est autour de 30 lm. À titre de comparaison, c'est la lumière que produit une ampoule de vélo. Bien sûr, on peut toujours multiplier les OLED pour obtenir le flux nécessaire.

L'efficacité, la durée de vie et le flux sont justement les trois propriétés essentielles pour qu'une technologie perce le marché de l'éclairage. En effet, compte tenu de la part de la consommation d'électricité dédiée à l'éclairage (10 %, hors éclairage public) et des contraintes de maîtrise de cette consommation d'énergie, une nouvelle technologie ne peut prétendre au domaine de l'éclairage que si elle est au moins aussi efficace que celles déjà présentes sur le marché. En la matière, les sources historiques (tubes fluorescents par exemple) font toujours bonne figure, sans parler des LED, dont les performances sont égales ou supérieures, et surtout en croissance constante.

Il y a quelques années, l'envol du marché des OLED pour l'éclairage s'envisageait courant 2013. Aujourd'hui, selon Nanomarkets, il n'est pas attendu avant 2017. Des verrous technologiques importants subsistent pour que les OLED aient des performances au niveau des exigences de l'éclairage général. En attendant, il reste l'imagination et la créativité

Summary of OLED Lighting Market by Application

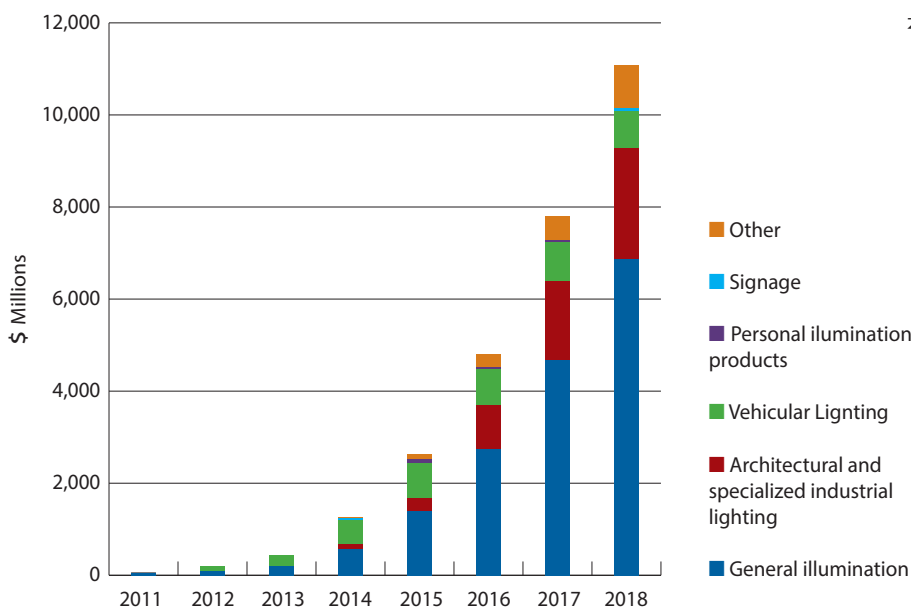
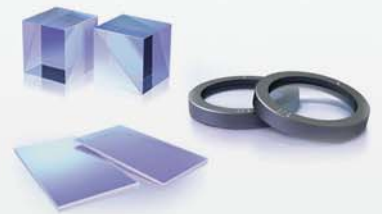


Figure 5. Taux de pénétration des OLED dans le marché automobile.

acal bfi

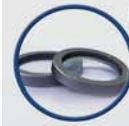
European leader in advanced technology solutions

Composants Optiques
L'innovation permanente



Optiques Laser

- Longueur d'onde 0.19 à 25 µm
- Haute réflectivité R>99.99 %
- Traitement femtoseconde GDD<20 fs²
- Haut seuil de dommage 50J/cm²



Lames d'onde haute puissance

- Achromatique, ZO, LO, MO
- Contraste>2000 : 1



Cubes polariseurs

- Longueur d'onde 250 à 2200 nm
- Contraste>500 : 1
- Haut seuil de dommage 50J/cm²
- Contact optique et bonding



Cristaux

- Ti:Sa, Nd:YAG, Yb:YAG, Yb:KGW...
- BBO, LBO, KTP, KDP...



Produits Catalogue, stock, cahier des charges
l'équilibre optimal entre
faible coût et haute performance

Pour plus d'informations
N'hésitez pas à solliciter nos ingénieurs
Tel +33 (0)1 60 79 59 06 photonique.fr@acalbfi.fr

Nanomarkets

que suscite cette technologie et on la trouve par exemple employée dans des applications expérimentales ou pour de l'éclairage de prestige (figure 6).

Technologie des OLED

Fondamentalement, une OLED est une source de lumière basée sur le rayonnement d'un semi-conducteur organique, c'est-à-dire issu de la synthèse chimique. La structure de base d'une OLED est constituée d'un substrat, c'est lui qui assure la base mécanique de la structure, couvert d'une électrode transparente sur laquelle est déposé un ensemble de couches organiques (d'une épaisseur individuelle typique de 0,1 micron). Vient enfin la dernière couche métallique qui constitue la seconde électrode. Le composant est ainsi alimenté par le biais de ces deux électrodes, qui polarisent l'ensemble des différentes couches sur toute leur surface. C'est cette structure qui explique le caractère fin, étendu et éventuellement flexible d'une OLED.

Deux technologies se distinguent aujourd'hui. Il s'agit des P-OLED (ou PLED, pour *polymer OLED*) et les SM-OLED (*small molecules OLED*). Elles diffèrent par le type de molécules employées dans les différentes couches (polymères à longues chaînes carbonées ou petites molécules, souvent des organométalliques), mais également par la méthode de dépôt employée.

Les PLED sont généralement déposées en phase liquide, par *spin-coating* alors que les couches des SM-OLED le sont par évaporation sous vide. Cette dernière technique nécessite de nombreuses étapes dans le procédé de fabrication ainsi que l'immersion du substrat dans une enceinte sous vide poussé. Par conséquent, cette dernière technologie est beaucoup plus coûteuse et les prix s'envolent en fonction de la taille du substrat. C'est pourtant celle qui est utilisée dans la plupart des OLED disponibles sur le marché actuellement, compte tenu d'une efficacité et d'une durée de vie supérieure aux PLED.

La pénétration des OLED dans de nouveaux marchés, en particulier celui de l'éclairage, nécessite encore l'amélioration



Figure 6. Luminaires à base d'OLED.

de leur flux, de leur efficacité et de leur durée de vie. Ce sont des verrous technologiques qui restent à lever.

Augmenter le flux

Pour augmenter le flux d'une OLED, soit on augmente la densité surfacique de puissance rayonnée, soit on augmente sa surface.

À efficacité constante, augmenter la densité surfacique de puissance engendre également un accroissement de la densité de chaleur à dissiper. Or, les semi-conducteurs organiques sont beaucoup plus sensibles à la chaleur que les semi-conducteurs cristallins. Certains composés subissent même des dommages irréversibles au-delà de 60 °C. Aujourd'hui, la luminance typique d'une OLED pour l'éclairage est de 1000 cd/m², avec une densité de puissance absorbée d'environ 10 mW/cm². À ces niveaux, dans une encapsulation en verre, l'OLED est environ à 35 °C pour une température ambiante de 20 °C. On conçoit donc que la marge de manœuvre est faible.

La seconde solution, pouvoir fabriquer des sources de lumière sur de grandes surfaces, représente une des grandes attentes vis-à-vis des OLED mais elle pose

également problème. En effet, l'uniformité d'épaisseur de chaque couche organique est essentielle au bon fonctionnement de l'OLED. Assurer l'uniformité parfaite d'une couche de 100 nm ne serait-ce que sur 1 cm² est déjà un défi en soi. L'augmentation de la surface des OLED représente ainsi une difficulté technique de taille. La surface émissive des OLED pour l'éclairage aujourd'hui est d'environ 100 cm².

Augmenter l'efficacité

L'efficacité d'une OLED est liée à de nombreux facteurs. On peut mentionner en premier lieu les matériaux qui, selon leur type (fluorescents, phosphorescents, petites molécules, polymères...) présentent des efficacités radicalement différentes. Un autre facteur est l'extraction de la lumière, produite essentiellement dans l'une des couches organiques appelée couche émissive : elle doit traverser plusieurs matériaux avant de sortir du composant et participer à son rayonnement. Dans son cheminement, elle peut subir des réflexions multiples et donc une forte atténuation. L'efficacité maximale d'un composant OLED a été obtenue au début de l'année 2013 par NEC Lighting : elle est annoncée à 156 lm/W, mais très probablement dans des conditions sévères de laboratoire. Elle est d'environ 30 lm/W pour les produits disponibles sur le marché.

Augmenter la durée de vie

Les composés organiques utilisés dans les OLED sont extrêmement sensibles à certains composants de l'air ambiant, tels que l'oxygène ou l'humidité. Traiter la problématique de la durée de vie consiste en premier lieu à mettre une couche barrière entre le semi-conducteur organique et le milieu environnant. C'est ce qu'on appelle l'encapsulation.

L'encapsulation par double paroi de verre (dont l'une est le substrat) est aujourd'hui largement utilisée pour les applications d'éclairage : c'est celle qui offre la plus grande durée de vie à un coût de procédé acceptable. Typiquement, on obtient des valeurs de l'ordre de 10 000 heures de la part des fabricants.

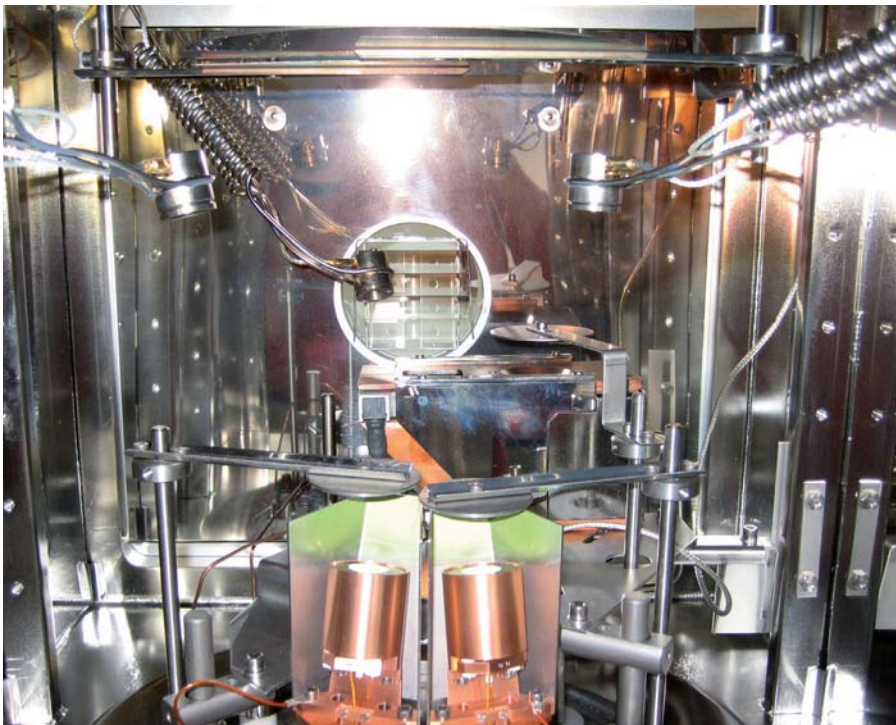


Figure 7. Enceinte d'évaporation de composés organiques.

Cette problématique d'encapsulation est d'actualité et elle anime aujourd'hui de nombreux chercheurs et ingénieurs.

Diminuer les coûts de production

La technologie actuellement largement utilisée pour les OLED destinées à l'éclairage consiste en une évaporation de matériaux organiques sous vide (figure 7). Elle nécessite plusieurs traitements en boîte à gant, en salle blanche ou dans une enceinte sous vide, tels que le dépôt d'ITO (*indium tin oxide*), sa gravure, le dépôt de PEDOT:PSS, puis celui des couches organique, la métallisation et enfin l'encapsulation. Il s'agit de nombreuses opérations, souvent manuelles, réalisées avec des équipements extrêmement coûteux, par du personnel technique hautement qualifié. Ceci engendre un coût de fabrication très élevé et rend la technologie OLED environ 100 fois plus chère que l'incandescence.

Certaines pistes concernant le dépôt en phase liquide restent ouvertes et prometteuses. Mais plusieurs grandes entreprises ont annoncé la mise en service d'unités de production de masse. En mars dernier,

Philips a ainsi inauguré une ligne de production présentée comme la plus grande (avec ses 2000 m² de salles blanches) et la plus moderne du monde pour la production d'OLED destinées à l'éclairage.

La problématique du coût est aujourd'hui dépendante de l'entrée dans le cercle vertueux qui entraîne le volume du marché et celui de la production.

Des marchés encore à conquérir

La technologie OLED a réalisé de formidables progrès ces dix dernières années. Elle est sur le point de dominer le marché des écrans d'appareils mobiles et elle se présente aujourd'hui sur le segment des téléviseurs avec d'excellentes perspectives. La prochaine étape, à moyen terme, concerne l'automobile où de nombreux projets ont débouché sur des prototypes et des réalisations concrètes. Mais d'ici quelques années, lorsque les avancées techniques permettront d'obtenir des OLED puissantes, efficaces et à grande durée de vie, elles révolutionneront notre façon d'appréhender l'éclairage général, en ouvrant des possibilités encore jamais envisagées avec des sources traditionnelles.

Erratum

1 Illustrations manquantes

Deux illustrations de l'article « Comprendre ... Une pince optique » paru dans Photoniques n°66 étaient manquantes. Les voici avec leur légende et toutes nos excuses à Jean-Pierre GALAUP, auteur de l'article.

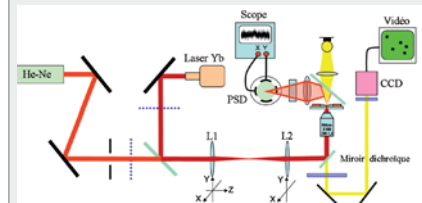


Figure 2. Montage expérimental d'une pince optique.



Tablette iPad utilisée comme interface entre la pince optique physique et l'utilisateur - Vidéo en ligne: <http://stacks.iop.org/JOPT/13/044002/mmedia>

Figure 8. Quand le pince se manipule du bout des doigts ... [J.Opt.13 (2011) 044022].

2 Erreur d'affiliations et d'unité

Une erreur s'est glissée dans les affiliations des auteurs de l'article « Explorer l'architecture du vivant à l'échelle moléculaire grâce à la microscopie de super-résolution PALM/STORM » paru dans Photoniques n°67.

Les bonnes affiliations sont :

Ignacio Izcedin et Xavier Darzacq : Functional Imaging of Transcription, CNRS UMR8197, Ecole Normale Supérieure, Institut de Biologie de l'ENS, IBENS, Paris, 75005 France.

Maxime Dahan : Laboratoire Physico-Chimie, Institut Curie et CNRS UMR168, Paris.

Autre erreur dans l'introduction de ce même article : des μm devenus des mm. Le texte exact est donc :

L'étude de nombreux mécanismes en biologie requiert de décrire de manière quantitative l'organisation spatiale et la dynamique de systèmes vivants. Par sa spécificité moléculaire et sa compatibilité avec le vivant, la microscopie de fluorescence est depuis longtemps un outil de référence en biologie. Cependant, un inconvénient de la microscopie optique est que sa résolution spatiale est limitée par la nature ondulatoire de la lumière, à typiquement 250 nm dans le plan x-y et 500 nm selon l'axe optique z (figure 1A). C'est donc un outil très puissant pour analyser la morphologie des cellules (dont la taille typique est comprise entre 1 et 100 μm) mais bien moins approprié pour étudier les propriétés d'assemblages macromoléculaires (à l'échelle 10-100 nm) dont on sait pourtant qu'ils sont essentiels pour le fonctionnement de nos cellules.

Nous présentons toutes nos excuses aux auteurs pour ces erreurs.