

« Pourquoi le microscope électronique permet-il d'observer des structures inaccessibles au microscope optique ? »

DOCUMENTS À VOTRE DISPOSITION :

Document 1 : Huygens / Newton

« J'écrivis ce traité <sup>(1)</sup> pendant mon séjour en France, il y a 12 ans ; et je le communiquai en l'année 1678 aux personnes savantes, qui composaient alors l'Académie Royale des Sciences, à laquelle le Roi m'avait fait l'honneur de m'appeler. Plusieurs de ce corps, qui sont encore en vie, pourront se souvenir d'avoir été présents quand j'en fis la lecture ... »

*On voit bien que pour Huygens, comme pour Newton, la question de l'antériorité de certaines découvertes compte beaucoup dans ce contexte de rivalité. Mais ce qui nous intéresse ici, c'est une divergence d'opinion entre ces deux grands savants sur la nature de la lumière :*

*Newton conçoit la lumière comme formée par un ensemble de petites particules lumineuses. Ce modèle, dont l'origine remonte à l'Antiquité, rend compte de sa propagation rectiligne dans un milieu homogène ainsi que des phénomènes de réflexion et de réfraction. Dès son premier chapitre, Huygens écrit :*

« quand on considère l'extrême vitesse dont la lumière s'étend de toutes parts, et que quand il en vient de différents endroits, même de tout opposés, elles se traversent l'une l'autre sans s'empêcher, on comprend bien que quand nous voyons un objet lumineux, ce ne saurait être par le transport d'une matière, qui depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous, ainsi qu'une balle ou une flèche traverse l'air : car assurément cela répugne trop à ces deux qualités de la lumière, et surtout à la dernière. C'est donc d'une autre manière qu'elle s'étend, et ce qui peut nous conduire à la comprendre c'est la connaissance que nous avons de l'extension du son dans l'air. »

<sup>(1)</sup> Christian Huygens, Traité de la Lumière, 1690

Document 2 : onde / particule

En 1923, le physicien français Louis de Broglie, l'un des pionniers de la mécanique quantique, a formulé l'hypothèse suivante : à toute particule animée d'une quantité de mouvement  $p$  est associée une longueur d'onde  $\lambda = h/p$ , où  $h$  est la constante de Planck. Autrement dit, tout corpuscule matériel possède des propriétés ondulatoires caractérisées par une longueur d'onde  $\lambda$  inversement proportionnelle à sa masse  $m$  et à sa vitesse  $v$  (car  $p = mv$  pour les vitesses  $v$  petites par rapport à la vitesse de la lumière). Cette hypothèse généralisait aux particules dotées d'une masse la « dualité onde-corpuscule » que l'on constatait pour les photons.

Cette hypothèse fut confirmée la première fois en 1927 par Davisson et Germer lors de l'observation du phénomène de diffraction pour des électrons lancés sur la surface d'un cristal de nickel. Quelques années plus tard, plusieurs expériences ont ensuite été réalisées : diffraction des neutrons, interférence des électrons, ... validant ainsi complètement l'hypothèse de De Broglie.

Document 3 : microscope optique / microscope électronique

*En 1931, le prototype d'un microscope électronique a été conçu par une équipe de chercheurs allemands, Ernst Ruska et Max Knoll. Pourquoi un microscope électronique ?*

La résolution d'un microscope désigne sa capacité à séparer des détails très voisins, elle est limitée par le phénomène de diffraction. En effet, à cause de la diffraction, l'image d'un point n'est pas un point, mais une tache. Ainsi, deux points voisins séparés sont observés comme deux taches dont le recouvrement peut empêcher de les distinguer nettement (voir image ci-contre).

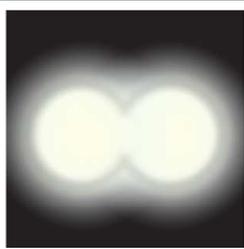


Image de  
2 points voisins

On appelle limite de résolution la plus petite distance, notée  $d$ , en dessous de laquelle deux points voisins ne seront plus distingués par le microscope. Cette limite étant proportionnelle à la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière utilisée, il suffit de diminuer  $\lambda$  pour diminuer  $d$ . Cependant, il n'est pas possible de descendre en dessous de 400 nm dans le cas du microscope optique, sinon la lumière n'est plus visible.

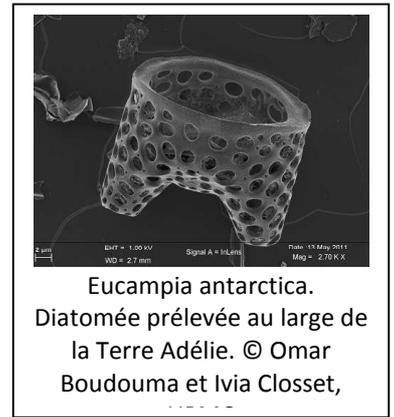
Lorsque Louis de Broglie introduit la notion d'ondes de matière, une nouvelle possibilité apparaît : le faisceau de lumière est remplacé par un faisceau d'électrons dont la longueur d'onde est inférieure à 400 nm, et la résolution de l'appareil s'améliore : c'est le microscope électronique.

Alors que la limite de résolution d'un microscope optique est au mieux de  $0,2 \mu\text{m}$ , elle est au moins 100 fois plus petite pour un microscope électronique.

Le microscope électronique est composé d'un canon à électrons (qui fournit le faisceau électronique), de lentilles électromagnétiques et d'un système de détecteurs d'électrons. Ces éléments sont placés dans un vide poussé. Le microscope électronique en transmission (MET) analyse le faisceau d'électrons « transmis » à travers l'échantillon très mince à observer. La résolution peut atteindre  $0,08$  nanomètre.

Un microscope électronique à balayage (MEB) utilise un faisceau d'électrons très fin qui balaie, point par point, la surface de l'échantillon à observer. Sous l'impact des électrons incidents, des électrons dits secondaires sont émis par l'échantillon. Leur analyse fournit une image en relief mais la résolution est un peu moins élevée que celle obtenue avec un MET.

Nathan, collection Sirius, 2012



Eucampia antarctica.  
Diatomée prélevée au large de  
la Terre Adélie. © Omar  
Boudouma et Ivia Closset,

### TRAVAIL À RÉALISER :

À l'aide des documents fournis et en utilisant vos connaissances, rédiger, en 25 lignes maximum, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

**« Pourquoi le microscope électronique permet-il d'observer  
des structures inaccessibles au microscope optique ? »**

Sur quel sujet portait le désaccord entre Huygens et Newton ?

Vous rappellerez ensuite la réponse actuelle que la science apporte à ce débat.

Vous présenterez dans un troisième paragraphe l'hypothèse de De Broglie et sa justification expérimentale en enrichissant votre réflexion de vos connaissances acquises en terminale sur les propriétés des ondes.

Vous présenterez ensuite brièvement le fonctionnement d'un microscope électronique et vous conclurez enfin sur la problématique posée.

## Éléments de correction

Compétences	Indicateurs	Niveaux de maîtrise			
		A	B	C	D
<b>S'approprier</b>	<p><i>Mobiliser ses connaissances</i></p> <p><i>Rechercher, extraire et organiser les informations essentielles en lien avec la situation :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Huygens : onde ; newton : particules</li> <li>- De Broglie : à une particule est associée une longueur d'onde</li> <li>- Composition du microscope électronique : lentilles et faisceaux d'électrons</li> </ul>				
<b>Analyser</b>	<p><i>Organiser les informations :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opposition n'a pas été tranchée : les deux comportements de la lumière sont admis</li> <li>- Les propriétés ondulatoires de la lumière (diffraction, interférences,...) ont pu être vérifiées avec des faisceaux de particules donc validation de l'hypothèse de De Broglie</li> </ul> <p><i>Identifier les grandeurs physiques pertinentes et faire preuve d'esprit critique</i></p> <p><u>Réponse à la question :</u> Les microscopes sont limités par la diffraction (long d'onde = dim de l'obstacle) : pour voir de plus en plus petit, il faut long d'onde de plus en plus faible donc les faisceaux de particules (relation de De Broglie) permettent de descendre en dessous de 400 nm</p>				
<b>Communiquer</b>	Rédiger un paragraphe argumenté répondant finalement à la question posée : pas de paraphrase des documents, les connecteurs logiques sont correctement employés. Le vocabulaire employé est adapté, rigoureux et scientifique. Le nombre de lignes est respecté.				
Note		/5			

## Éléments de correction

Compétences	Indicateurs	Niveaux de maîtrise			
		A	B	C	D
<b>S'approprier</b>	<p><i>Mobiliser ses connaissances</i></p> <p><i>Rechercher, extraire et organiser les informations essentielles en lien avec la situation :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Huygens : onde ; newton : particules</li> <li>- De Broglie : à une particule est associée une longueur d'onde</li> <li>- Composition du microscope électronique : lentilles et faisceaux d'électrons</li> </ul>				
<b>Analyser</b>	<p><i>Organiser les informations :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opposition n'a pas été tranchée : les deux comportements de la lumière sont admis</li> <li>- Les propriétés ondulatoires de la lumière (diffraction, interférences,...) ont pu être vérifiées avec des faisceaux de particules donc validation de l'hypothèse de De Broglie</li> </ul> <p><i>Identifier les grandeurs physiques pertinentes et faire preuve d'esprit critique</i></p> <p><u>Réponse à la question :</u> Les microscopes sont limités par la diffraction (long d'onde = dim de l'obstacle) : pour voir de plus en plus petit, il faut long d'onde de plus en plus faible donc les faisceaux de particules (relation de De Broglie) permettent de descendre en dessous de 400 nm</p>				
<b>Communiquer</b>	Rédiger un paragraphe argumenté répondant finalement à la question posée : pas de paraphrase des documents, les connecteurs logiques sont correctement employés. Le vocabulaire employé est adapté, rigoureux et scientifique. Le nombre de lignes est respecté.				
Note		/5			

1	<p>Le document 1 nous rappelle que Newton concevait "la lumière comme formée par un ensemble de petites particules lumineuses", alors que Huygens pensait qu'elle correspondait à la propagation d'une onde (comme le son).</p>
5	<p>Actuellement la lumière est considérée à la fois comme une onde et à la fois comme un déplacement de particules ; plus exactement, selon les expériences à interpréter on utilise SOIT le modèle ondulatoire, en utilisant les longueurs d'onde, SOIT le modèle corpusculaire, la lumière étant alors décrite comme un déplacement de photons.</p>
10	<p>Dès 1923, De Broglie lance une hypothèse surprenante: quand ces particules (électrons, neutrons,...), de masse <math>m</math>, se déplacent à la vitesse <math>V</math>, <b>on peut associer une onde à leur déplacement</b> ! Cette onde aurait une longueur d'onde <math>\lambda = h / p</math>, où <math>h</math> est la constante de Planck et <math>p</math> la quantité de mouvement de la particule <math>p = m V</math>. Cette double description est nommée "dualité onde - corpuscule".</p>
15	<p>Cette hypothèse audacieuse a été ensuite vérifiée expérimentalement : il a été possible de réaliser des expériences : diffraction des neutrons, interférence des électrons (voir document 2). Or <b>diffraction</b> (onde à travers une fente ou contournant un obstacle de dimension <math>a</math>) et <b>interférences</b> (onde à travers deux fentes) sont deux propriétés ondulatoires qu'on a pu mettre en évidence pour les ondes mécaniques comme pour les ondes lumineuses. Ces deux propriétés étant aussi constatées pour un faisceau de particules, on en déduit que la matière peut également se comporter comme une onde.</p>
20	<p>Ainsi au lieu d'utiliser la lumière, comme dans un microscope optique classique, on a conçu des microscopes électroniques où la lumière est remplacée par un faisceau d'électrons. Dans un microscope électronique à balayage (MEB), on envoie un faisceau d'électrons "qui balaie... la surface de l'échantillon à observer". Cela correspond exactement à la lumière incidente qui frappe l'objet regardé dans un microscope optique : l'objet renvoie les électrons (incidents ou secondaires) qu'on observe à travers des lentilles, vers un capteur pour ensuite obtenir une image comme celle de la diatomée.</p>
25	<p>Mais pourquoi ne peut-on pas voir la diatomée (document 3) avec un microscope optique ? La résolution des microscopes est limitée par la longueur d'onde : un objet de taille voisine de celle-ci va la diffracter et donc empêcher une bonne visibilité. Ainsi pour voir des détails de dimension inférieure à 400 nm (limite du visible), il faut diminuer la longueur d'onde pour éviter la diffraction mais alors le microscope optique ne peut pas être utilisé, la lumière n'étant plus visible. Par contre les longueurs d'onde des faisceaux d'électrons (<math>\lambda = h / p</math>) sont bien plus petites que 400 nm (jusqu'à 0,08 nm selon le doc 3) <b>on peut ainsi obtenir avec un microscope électronique des images d'objets beaucoup plus petits qu'avec un microscope optique.</b></p>