

DOSSIER PEDAGOGIQUE

Enseignants premier et second degré

ÉTERNITÉ

RÊVE HUMAIN ET RÉALITÉS
DE LA SCIENCE

Citation: Edoardo Giarola Mili

SOMMAIRE

L'exposition « Eternité, Rêve humain et réalités de la science »	p 3
L'animation pour les classes	p 4
Liens avec les programmes scolaires	p 5
Quelques pistes d'exploitation pédagogiques	p 7
Le tardigrade, un organisme super résistant	p 7
Le vieillissement cellulaire et le vieillissement des organes	p 11
L'Espace des sciences en pratique	p 19

L'exposition « Eternité, Rêve humain et réalités de la science »

Depuis l'Antiquité, des croyances variées animent chaque civilisation : la résurrection chez les Égyptiens, le paradis pour les Perses, la réincarnation des Hindous. Au Moyen Âge, c'est l'alchimie qui tente de répondre à la question de la vie éternelle par la confection d'élixirs et de la pierre philosophale. Aujourd'hui, ce rêve d'éternité s'insinue dans notre réalité grâce aux progrès technologiques et médicaux. L'Homme peut-il être considéré comme une machine dont on remplacera les pièces défectueuses par des prothèses bioniques ? Pourra-t-il, à l'instar d'autres animaux comme la salamandre, régénérer tout ou partie de son corps ?

Pourrons-nous faire repousser des tissus ou même des organes entiers ? Les nouvelles technologies semblent pouvoir nous aider à nous battre contre la mort, à repousser toujours plus loin les limites de la vie. Et les autres ? Afin de replacer l'Homme dans la diversité du vivant et de l'histoire de la Terre, l'exposition propose un voyage dans le temps : le temps de vie des autres êtres vivants, le temps d'existence des espèces et le temps de la Terre et de l'Univers.

L'animation pour les classes

Animation de 30 minutes : Vieillir demain ? (à partir de 10 ans)

Un être humain de 122 ans, une palourde de 507 ans, un arbre de 80 000 ans...

Pourquoi certains vivent plus longtemps que d'autres ?

Pourquoi et comment notre corps vieillit ?

Est-il possible de ralentir voire même d'inverser ce phénomène ?

Venez à la rencontre de l'Homme « réparé » et de l'Homme « augmenté » : un médiateur présente certaines découvertes étonnantes de scientifiques qui travaillent sur ces questions.

Liens avec les programmes scolaires

Liens avec les programmes Cycle 3

LE VIVANT, SA DIVERSITE ET LES FONCTIONS QUI LE CARACTERISENT

Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes

- Identifier les changements de peuplement de la Terre au cours du temps
- Diversité actuelle et passée des espèces
- Evolution des espèces vivantes

Ils appréhendent la notion de temps long (à l'échelle des temps géologiques) et la distinguent de celle de l'histoire de l'être humain récemment apparu sur Terre.

Lien possible avec l'histoire des arts : les pyramides les momies

Lien possible avec la littérature : filtres de vie éternelle et mythologie

Liens avec les programmes Cycle 4

En français :

En 5^{ème} : regarder le monde, inventer des mondes : imaginer des univers nouveaux

Questionnement complémentaire : l'être humain est-il maître de la nature ?

En classe de 4^{ème} : regarder le monde, inventer des mondes : la fiction pour interroger le réel.

En classe de 3^{ème} : questionnement complémentaire : progrès et rêves scientifiques

Enseignement moral et civique : la morale et l'éthique

SVT : le vivant et son évolution

Apparition et disparition d'espèces au cours du temps

Liens avec les programmes du lycée :

- Classe de seconde

En SVT :

L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie. La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.

La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces.

➤ Classe de Terminale S :

En EMC : Biologie, éthique, société et environnement

La notion de bioéthique. Les problèmes bioéthiques contemporains (la recherche génétique, les OGM, les thérapies géniques...). Le rôle du Haut Conseil des biotechnologies.

En philosophie : la raison et le réel

En SVT : De la diversification des êtres vivants à l'évolution de la biodiversité

➤ Bac pro ASSP (accompagnement, soins et services à la personne) :

Techniques professionnelles et les savoirs associés : pôle 2 sciences médico-sociales

Personne aux différentes étapes de la vie et les réponses institutionnelles

Personne âgée : vieillissement biologique

Quelques pistes d'exploitation pédagogiques

Le tardigrade, un organisme super résistant

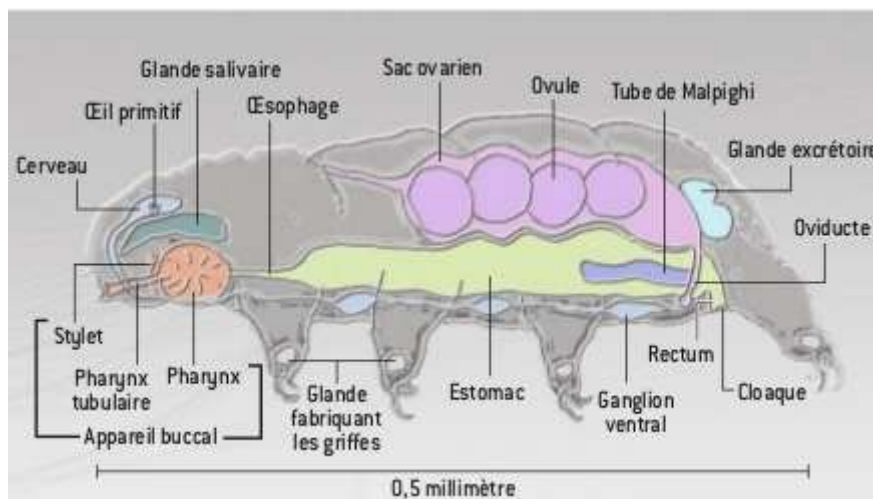
➤ La place des tardigrades dans la classification

Les tardigrades, surnommés oursons d'eau, forment un groupe appartenant au super embranchement des ecdysozoaires, c'est-à-dire des animaux dont le développement s'effectue par 1 ou plusieurs mues cuticulaires.

On les regroupe avec les Arthropodes pour former le clade des panarthropodes.

Ils sont également proches du groupe des nématodes, avec lesquels ils présentent des similitudes au niveau de nombre de gènes HOX (5 au lieu de 10 chez les arthropodes), impliqués dans le développement.

Ces animaux possèdent une tête, 4 segments portant chacun une paire de pattes mobiles avec des griffes et des ventouses, un corps segmenté, un plan de symétrie bilatérale, un système nerveux ventral avec des ganglions ventraux, un cœur dorsal et des appendices péribuccaux modifiés pour la prise de nourriture. Leur corps est recouvert d'une cuticule.



<http://jeanzin.fr/2012/03/01/revue-des-sciences-0312/>

Le tardigrade n'a pas de système respiratoire ou circulatoire. Les cellules sont en contact direct avec un liquide interne, avec lequel elles assurent des échanges.



On compte plus de 1200 espèces différentes de tardigrades. Ces organismes, d'une taille comprise entre 0,1 et 1 mm, vivent en milieux terrestres, mais aussi dans des milieux aquatiques d'eau douce et d'eau salée. On les trouve notamment dans les mousses, les lichens et l'humus des forêts, qui retiennent les gouttes d'eau. On qualifie ainsi le tardigrade terrestre comme limno-terrestre. En cas d'évaporation de l'eau, ces animaux peuvent entrer en vie ralentie.

➤ **Mode de reproduction**

Plusieurs modes de reproduction ont été observés : reproduction sexuée notamment pour les espèces marines, hermaphrodisme, parthénogenèse thélytoque (les femelles engendrent des femelles qui sont leurs clones).

Le cycle de développement est proche de celui des nématodes comme *Caenorhabditis elegans* et dure 10 à 16 jours.

Le nombre de cellules d'un tardigrade est à la fois fixe pour une espèce donnée et pour un individu donné depuis la naissance jusqu'à la mort. Il avoisine 40 000. Ces cellules ne se divisent pas, mais grossissent.

➤ **De grandes capacités d'adaptation aux conditions extrêmes grâce à la cryptobiose**

Face à des conditions extrêmes, les tardigrades peuvent entrer en cryptobiose. Il s'agit d'un état réversible au cours duquel le métabolisme est interrompu. Ce phénomène permet au tardigrade de résister à des stress extrêmes (manque d'oxygène, froid, chaleur, pression, ...).



*Tardigrade vu au microscope électronique à balayage
Source : Eye of Science*



Tardigrade en cryptobiose Source : Eye of Science

Lors d'un épisode de sécheresse, le tardigrade perd beaucoup d'eau (jusqu'à 97 % de son eau). Il entre progressivement en anhydrobiose en formant une demi sphère inerte, comme un tonnelet. Il peut rester dans cet état pendant une dizaine ou une centaine d'années.

Face à la dessiccation, de nombreux organismes (champignons, nématodes, artémies) produisent un sucre, le tréhalose, qui empêche la cristallisation de l'eau. Or, chez de nombreux tardigrades, la concentration en tréhalose est faible et l'équipement enzymatique nécessaire à sa production est absent.

En 2017, les chercheurs de l'équipe de Thomas Boothby de l'université de Caroline du Nord (Etats-Unis) ont montré l'existence d'une classe de molécules particulières : des protéines intrinsèquement désordonnées (PID).

Lors d'une dessiccation progressive, les gènes codant ces protéines sont surexprimés. En induisant la production de ces protéines dans une levure et une bactérie par une manipulation génétique, des organismes plus résistants à la dessiccation ont été obtenus. Cette expérience a mis en évidence le rôle de ces protéines dans la cryptobiose des tardigrades. Ces protéines joueraient un rôle de matrice de protection des molécules internes. Ces protéines pourraient servir pour lyophiliser des médicaments ou des vaccins.

<https://www.pourlascience.fr/sd/biologie-animale/un-super-pouvoir-des-tardigrades-elucide-12560.php>

[https://www.cell.com/molecular-cell/fulltext/S1097-2765\(17\)30133-8](https://www.cell.com/molecular-cell/fulltext/S1097-2765(17)30133-8)

➤ **La découverte d'une protéine protectrice de l'ADN : la protéine D sup**

En septembre 2016, l'équipe de recherche japonaise de Takekazu Kunieda (université de Tokyo) a publié une étude montrant le rôle d'une protéine de protection de l'ADN chez une espèce de tardigrade *Ramazzottius varieornatus*. Ils ont ainsi identifié une protéine nommée D sup (Damage suppressor) qui se lie à l'ADN pour aider à protéger les cellules contre les effets des radiations, contribuant à expliquer la tolérance de l'espèce aux forts rayonnements.

L'ajout de cette protéine sur des cellules humaines a permis une protection de l'ADN face aux rayons X. Cependant les chercheurs estiment que l'ajout de D Sup à l'ADN humain pourrait bien affecter la viabilité cellulaire ou la façon dont notre ADN se réplique.

L'indestructible tardigrade au secours de l'homme

Des chercheurs japonais ont découvert que ce minuscule invertébré possède une **protéine spéciale** le protégeant des radiations

Ramazzottius varieornatus
«Ourson d'eau»
Taille : 0,5 à 1,5 mm
8 pattes griffues

Vit dans

- Zones humides, mousses
- Hautes altitudes
- Fosses marines
- Glace

Survit à

- Températures - 273°C - +100°C
- Vide de l'espace
- Radiations, fortes pressions

Cryptobiose

- Peut vivre 10 ans sans eau ni nourriture
- Se déshydrate
- Activité vitale : 0,01% de la normale

Protéine Dsup*

ADN

Cellule humaine

Dsup agit comme un bouclier

*Damage Suppressor

En laboratoire 2 X moins de dégâts à l'ADN humain

Source : Nature, Tanaka S. / Sagara H. / Kunieda

AFP

➤ **Un exemple d'illustration du transfert horizontal de gènes (Programme de Terminale S)**

L'étude complète d'un génome de tardigrade publiée en 2015 par l'équipe de Thomas C Boothby de l'université de Caroline du Nord a montré que le tardigrade *Hypsibius dujardini* a intégré environ 6000 gènes provenant de bactéries, de plantes, de champignons et d'archées. Cela correspond à 17,5 % de ses gènes. Ce mécanisme de transfert horizontal existe aussi chez d'autres organismes, mais cet « ADN étranger » ne constitue que 1 % du génome. Cette variété de gènes permettrait aux tardigrades de pouvoir survivre dans des conditions extrêmes.

Le lien vers l'étude : <https://www.pnas.org/content/early/2015/11/18/1510461112.abstract>

Le vieillissement cellulaire et le vieillissement des organes

Le vieillissement est un phénomène naturel qui est sous l'influence de différents facteurs internes et externes. La durée de vie d'une cellule est variable selon le tissu, l'organe et l'individu auxquels les cellules appartiennent. La durée de vie des cellules saines est programmée. On parle de mort programmée de la cellule ou apoptose. La capacité de renouvellement cellulaire diminue avec l'âge de l'organisme.

http://campus.cerimes.fr/anatomie-pathologique/enseignement/anapath_2/site/html/5.html

➤ **Les facteurs extérieurs à l'origine du vieillissement**

Le vieillissement des cellules est lié à l'altération de la molécule d'ADN. Celle-ci peut être altérée par des facteurs chimiques comme les agents intercalant ou des facteurs physiques comme les rayons UV. Ces agents sont appelés agents mutagènes.

Ces agents chimiques peuvent être des analogues des bases dont la structure se rapproche de celle des bases azotées (ex bromo uracile) ou des agents intercalant (bromide d'éthidium).

Les facteurs physiques comme les rayonnements entraînent la production de radicaux libres qui vont interagir avec la molécule d'ADN. Ils peuvent bloquer la division cellulaire ou entraîner la mort de la cellule. Parmi ces rayons, les rayons UV ont des longueurs d'onde comprises entre 100 et 400 nm. On distingue ainsi les UV-A (longueur d'ondes : 320-400 nm), les UV-B (longueur d'ondes : 280-320 nm) et les UV-C (longueur d'ondes : 100-280 nm). Certaines longueurs d'ondes sont absorbées par les bases de l'ADN.

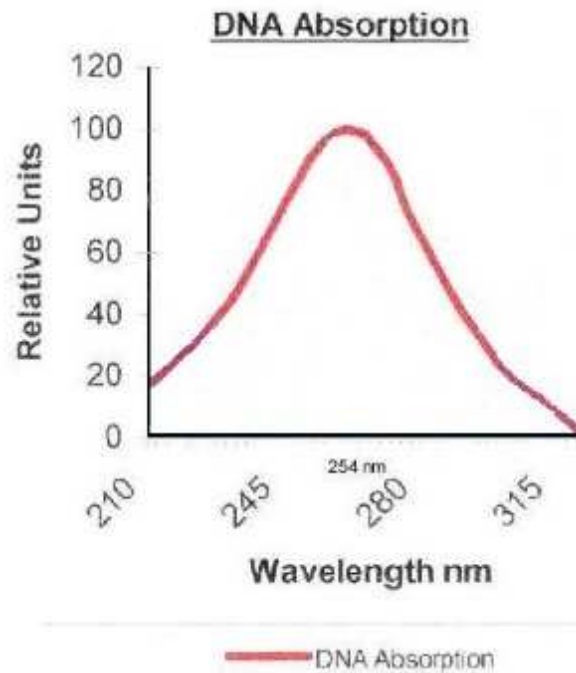
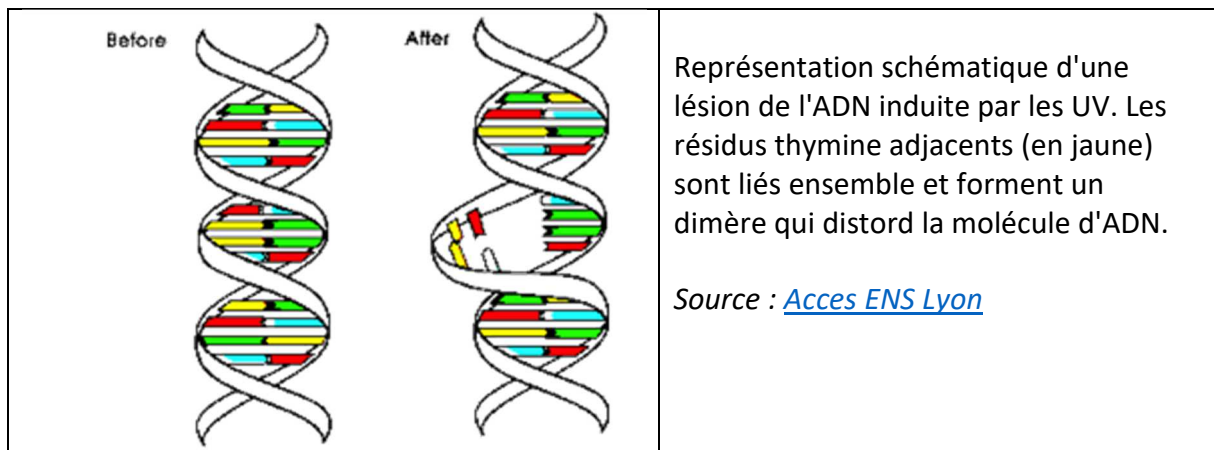


Figure 1 : les radiations absorbées par l'ADN (source : [access ENS Lyon](#))

Les UV-C (absorbés par la couche d'ozone) et les UV-B ont les effets les plus graves. Ils entraînent la formation de dimères entre bases pyrimidiques (T-T, C-C ou T-C) sur un même brin. La formation de ces dimères rompt les liaisons entre bases complémentaires des deux brins de la molécule d'ADN, ce qui crée une distorsion dans la molécule. Ces dimères bloquent la transcription et la réplication.



Les UVA n'affectent pas directement l'ADN, mais ils provoquent la formation dans les cellules de radicaux oxygénés comme H_2O_2 qui sont agressifs vis-à-vis de l'ADN provoquant des ruptures dans les brins d'ADN et aussi la formation de dimères.

Les UV provoquent la formation de liaisons entre 2 Thymines adjacentes, ce qui déforme la molécule d'ADN et bloque la plupart des ADN polymérases- ce blocage est à l'origine de l'effet létal des UV. Lorsque certaines polymérases réussissent à passer ces dimères, elles génèrent souvent des mésappariements

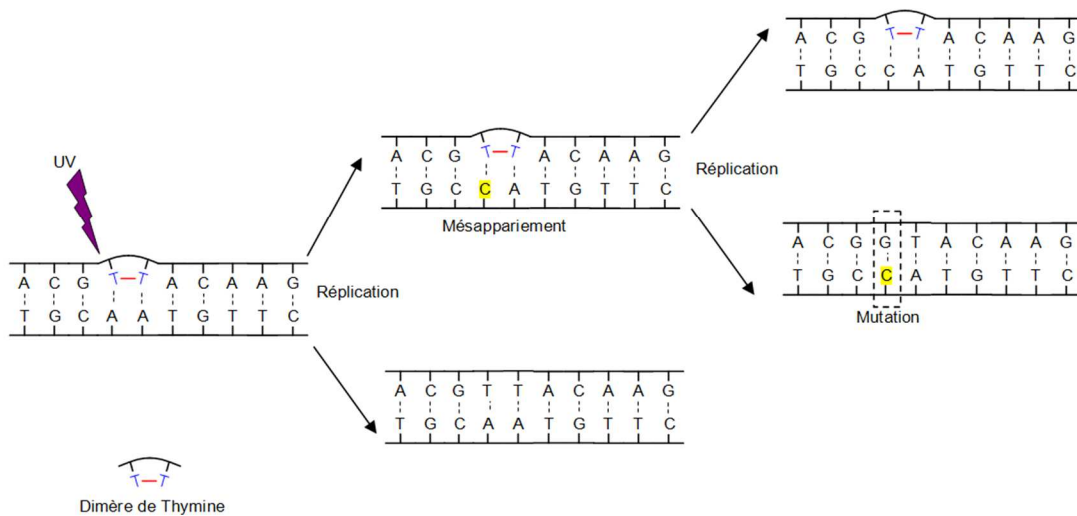


Figure 2 : les effets des UV sur la molécule d'ADN, d'après <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/IMG/dimerUV.gif>

Pour aller plus loin :

<https://biologiedelapeau.fr/spip.php?article70>

<http://acces.ens-lyon.fr/biotic/genetic/mutation/html/mutagen.htm>

➤ **Les causes génétiques du vieillissement cellulaire**

Le vieillissement des cellules du corps humain est variable selon les cellules. Les cellules intestinales, qui se divisent beaucoup, vieillissent plus rapidement. D'autres cellules ont un faible taux de renouvellement (neurones, cellules musculaires, ...) et ont l'âge de l'individu.

Dans ces cellules, certains organites, comme les lysosomes se dégradent au cours du temps et forment des corps résiduels formant un dépôt appelé lipofuscine. On retrouve aussi ces dépôts dans les cellules épidermiques âgées ou exposées au soleil, qui forment des taches brunes appelées taches de vieillesse ou lentigo.

➤ **Une horloge biologique déterminée : le rôle des télomères**

<https://planet-vie.ens.fr/article/2114/stabilite-chromosomique-vieillesse-cellulaire-cancer-role-telomeres-telomerase>

<http://archives.cnrs.fr/insb/article/2014/m-teixiera>

<http://science.sciencemag.org/content/350/6265/1193>

<https://www.inserm.fr/actualites-et-evenements/actualites/atherosclerose-destin-tout-trace-par-telomeres>

Les télomères constituent les parties terminales des chromosomes. Ce sont des séquences non codantes qui permettent la stabilité de l'ADN et évitent la fusion entre chromosomes.

Ce sont des séquences nucléotidiques (TTAGGG) qui se répètent. La particularité de ces régions est la dissymétrie des 2 brins : le brin 3' est plus long que le brin 5'. Ces régions sont protégées par des protéines spécifiques.

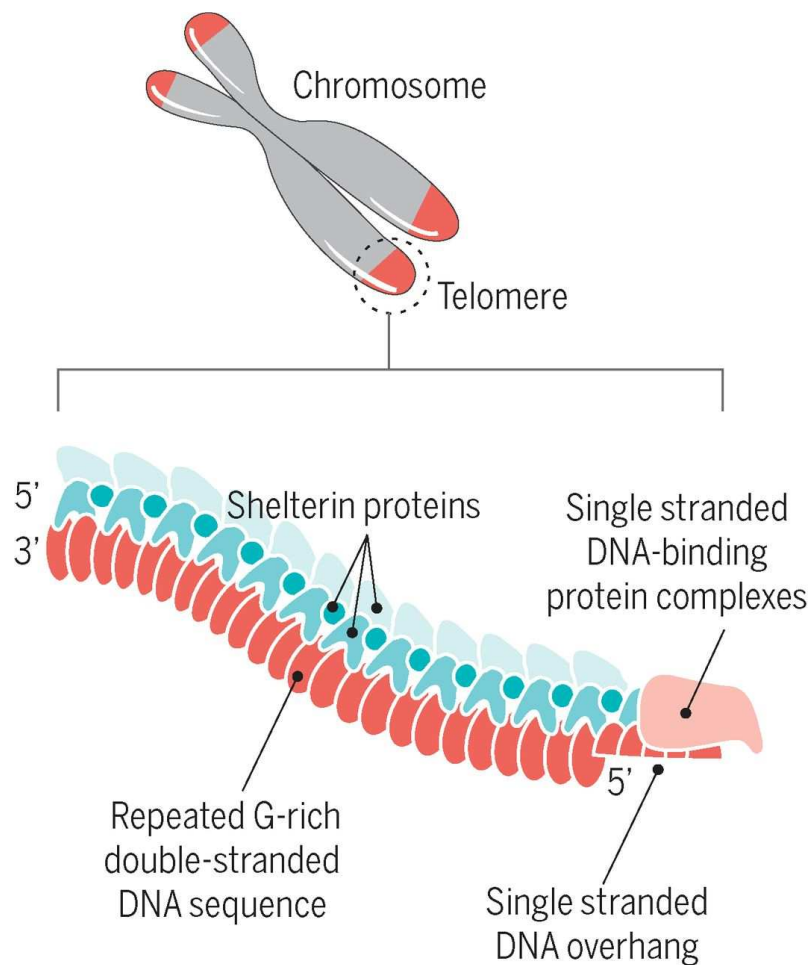


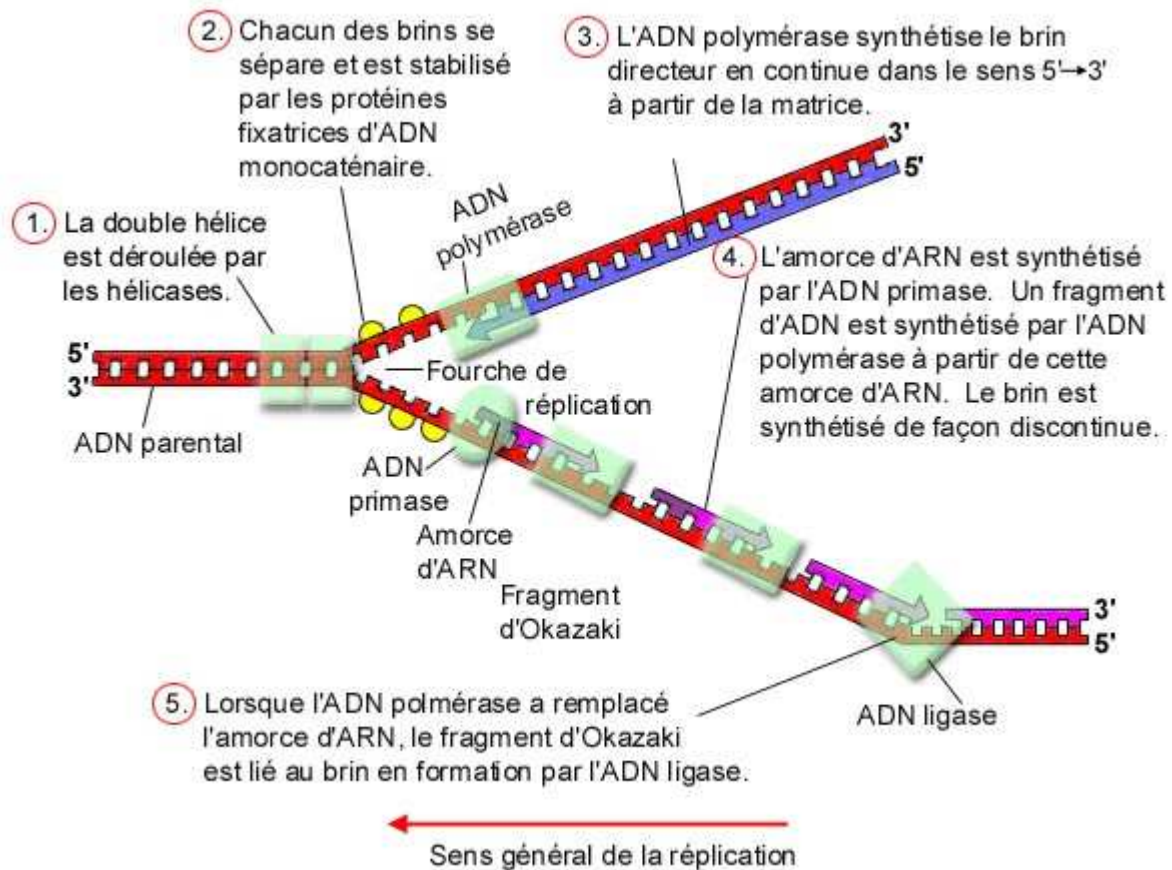
Schéma de la structure d'un télomère source : Sciencemag.org

La réplication de l'ADN se fait toujours dans le même sens : 5' vers 3' et nécessite la présence d'un brin précoce (ou primaire) qui est lu dans le sens de la fourche de réplication et un brin tardif (ou secondaire) qui est le brin lu dans le sens inverse de la fourche et qui est qualifié de brin discontinu.

L'ADN polymérase ajoute des nucléotides à l'extrémité 3', donc l'élongation se fait dans la direction 5'-3'.

Sur le brin complémentaire, la réplication doit aussi se faire dans le sens 5'-3', mais elle ne se fait pas en brin continu. L'ADN polymérase forme des fragments d'Okazaki.

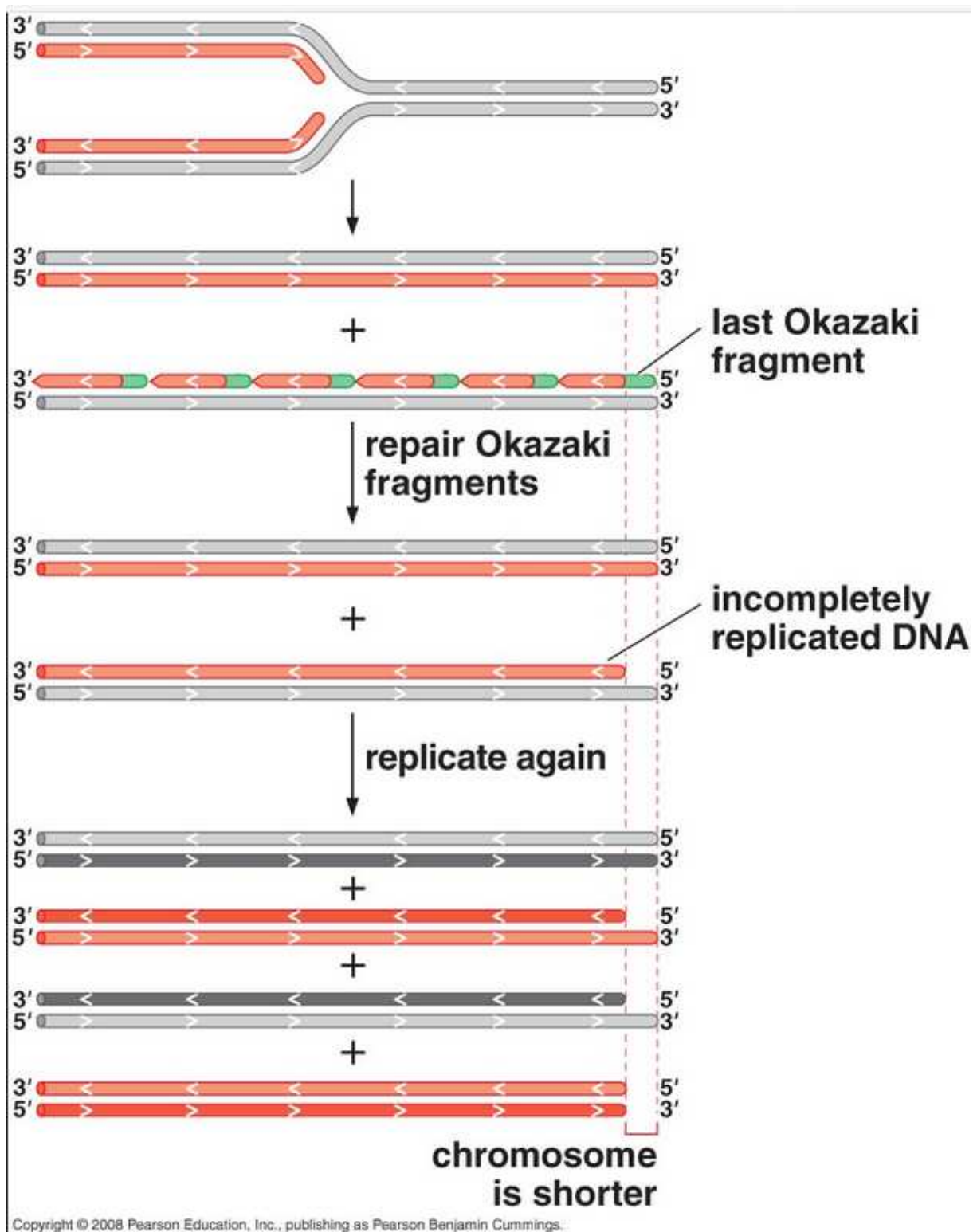
A partir d'une amorce d'ARN synthétisée par une enzyme primase, des nucléotides sont ajoutés en 3'. L'amorce d'ARN est ensuite enlevée et remplacée par de l'ADN. Une autre enzyme, l'ADN ligase, colle les fragments ensemble.



Source : http://mpronovost.profweb.ca/BIONP1/bionp1_molecules_acidesnucleiques.html

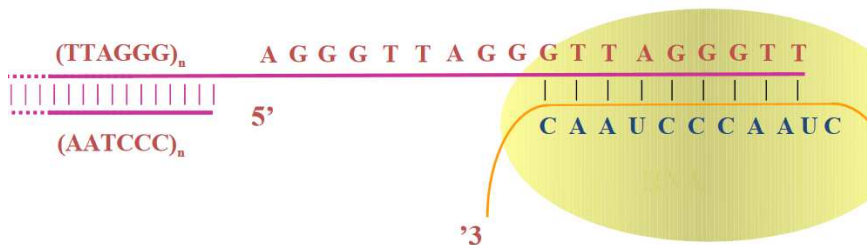
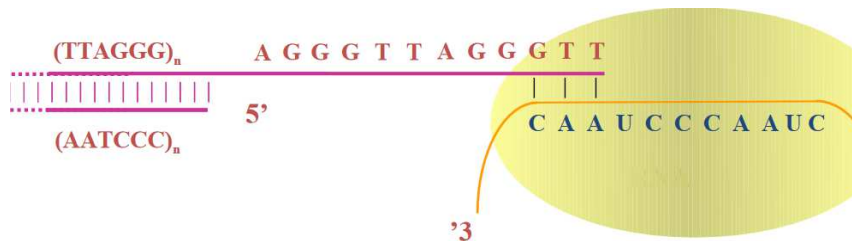
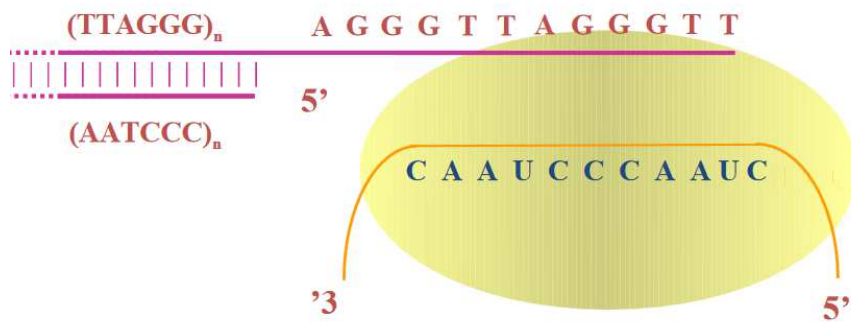
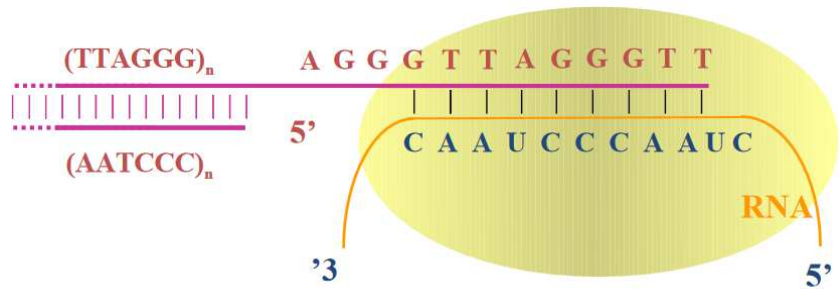
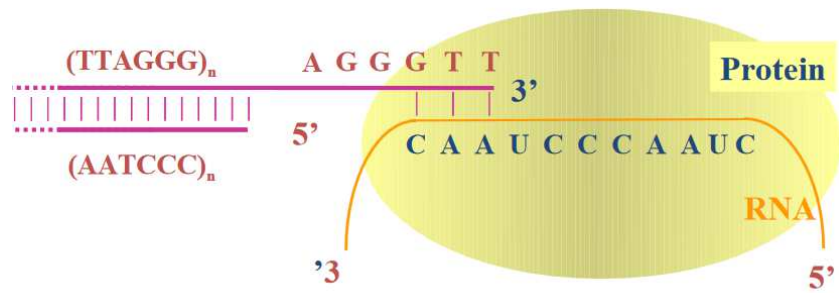
A l'extrémité du chromosome, l'extrémité 5' reste un brin simple (il n'y a pas d'enzymes qui travaillent dans le sens 3'-5'). Les nucléotides se détachent : les molécules d'ADN filles sont plus courtes que la molécule d'ADN mère.

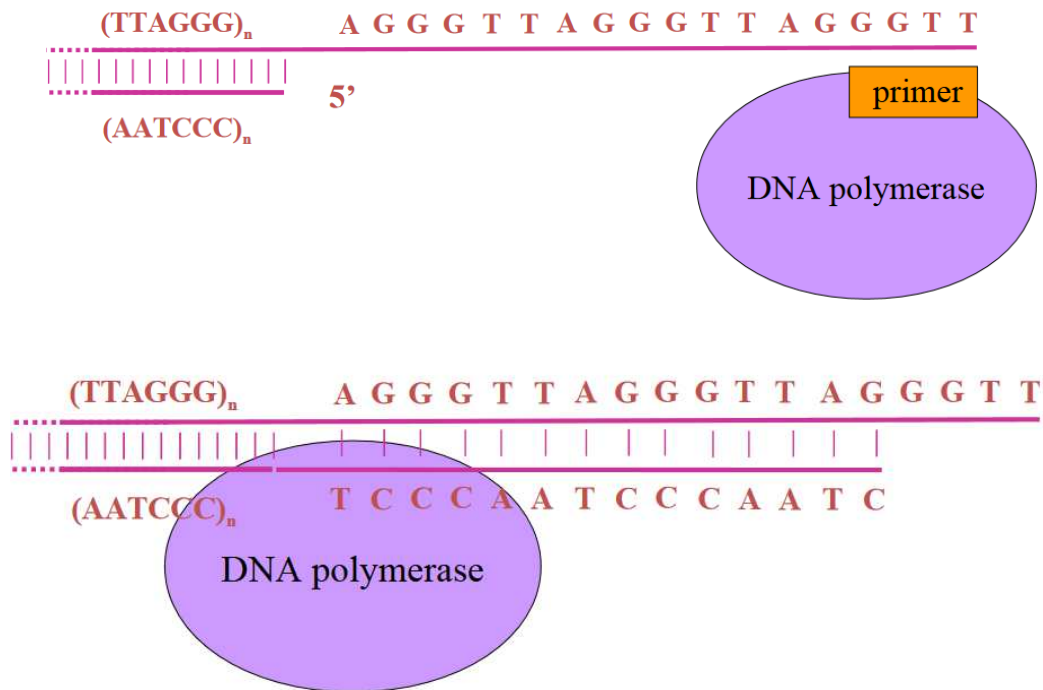
La réplication des extrémités chromosomiques entraîne un raccourcissement progressif des télomères (50 à 200 pb/division). Lorsque les télomères sont trop courts, les cellules ne se divisent plus. Elles s'accumulent dans les organes et sont à l'origine du vieillissement des tissus.



Afin de rétablir une structure télomérique normale, le simple brin télomérique 3' doit être recrée après répliation. Une enzyme, la télomérase, assure cette fonction.

Il s'agit d'un complexe formé d'une enzyme, la transcriptase inverse, d'un ARN et de protéines. La télomérase se fixe sur les télomères et, à partir de son ARN associé, synthétise de nouvelles séquences - TTAGGG chez l'homme.





La télomérase ne s'exprime que peu voire pas dans les cellules somatiques, alors qu'elle est très active dans les cellules germinales. Ce manque d'activité dans les cellules somatiques induit une entrée en sénescence des cellules.

La télomérase est également très active durant la période embryonnaire et fœtale.

➤ **La limite de Hayflick**

En 1961, Hayflick met en évidence le mécanisme de sénescence cellulaire, à partir de cultures de fibroblastes in vitro. Il montre que ces cellules ne peuvent se diviser qu'un certain nombre de fois, puis entrent en sénescence, l'équivalent d'une phase G1 permanente du cycle cellulaire. Elles ne peuvent plus se diviser et finissent par mourir (On parle de sénescence réplivative). Le nombre de divisions maximale est autour de 50. Cette limite est appelée limite de Hayflick.

Plus d'informations : <http://www.db-gersite.com/BDDMOL/fibroblaste/fibrobl01.pdf>

L'Espace des sciences en pratique



Espace des sciences

10, cours des Alliés

35 000 RENNES

Tel : 02 23 40 66 40

Fax : 02 23 40 66 41

www.espace-sciences.org

Visites pour les groupes scolaires:

- mardi, jeudi et vendredi à 9h ,10h30 , 14h et 15h30
- mercredi à 10h30

Toute **réservation est obligatoire** et se fait par téléphone au **02 23 40 66 00 du lundi au vendredi de 9h à 17h**

Tarifs groupes : 3 euros par enfant (gratuité pour un adulte accompagnateur pour 10 enfants).

Pour plus de renseignements :

➤ <https://www.espace-sciences.org/enseignants/visite>

➤ Les **professeurs conseillers-relais de l'Education nationale**

Premier degré : Anne SIMONOT anne.simonot@ac-rennes.fr

Second degré : Didier THIEURMEL didier.thieurmel@ac-rennes.fr