

Le corps humain est tout à fait capable de comburer l'eau

La 'combustion' de l'eau constitue un mode de vie pour tous les organismes vivants, pour les animaux comme pour les plantes, avec peut-être un petit peu d'aide de la lumière solaire, selon le [Dr. Mae-Wan Ho](#)

Rapport de l'ISIS en date du 17/06/2009

La version illustrée avec toutes les références bibliographiques de l'article original en anglais, intitulé *Water and Fire* [The Body Does Burn Water](#) est accessible par les membres de l'ISIS à partir du ISIS :

www.i-sis.org.uk/theBodyDoesBurnWater.php

Une version électronique du rapport complet peut être téléchargée à partir du magasin en ligne ISIS. [Télécharger maintenant](#)

Le matériel sur ce site ne peut être reproduit sous aucune forme sans la permission explicite. PERMISSION DE REPRODUCTION ET EXIGENCES, S'IL VOUS PLAÎT [CONTACTEZ-ISIS](#). Lorsqu'une autorisation est accordée **TOUS LES LIENS** doivent rester inchangés



Les organismes vivants, comme les animaux et les êtres humains, peuvent-ils "brûler" de l'eau? La combustion ou oxydation de l'eau, c'est ce que les plantes vertes réalisent avec la plus grande facilité. Elle dépend de l'absorption de l'énergie des photons à partir de la lumière du soleil pour faire en sorte que l'eau donne des électrons. Une grande partie des efforts actuels est notamment consacrée à la photosynthèse artificielle [1]] ([Harvesting Energy from Sunlight with Artificial Photosynthesis](#), *SiS* 43), mais l'oxydation de l'eau (H_2O) en l'oxygène (O_2) n'est effectivement que la moitié de la réaction : l'autre moitié réside dans la production d'hydrogène (H_2) qui peut s'enflammer comme un combustible ou un carburant.

Mais d'autres organismes, tels que les animaux et les êtres humains, peuvent-ils en faire autant ? Pas de cette manière, mais ils "brûlent" toutefois cette même eau. Ils oxydent l'eau, pas seulement pour obtenir de l'énergie, mais aussi pour créer des sortes d'armes locales dirigées pour tuer des bactéries et autres microbes.

(La récente découverte selon laquelle l'eau dans les cellules et les tissus des organismes vivants peut être chargée par une exposition à la lumière infrarouge, suggèrent que les animaux peuvent aussi dépendre de la lumière du soleil pour s'énergiser eux-mêmes [2] ([Water Electric](#), *SiS* 43). Je me suis souvent demandé pourquoi je me sens tellement énergique après un bain de soleil.)

Les anticorps qui "brûlent" de l'eau

Il y a quelques années, une équipe de chercheurs californiens a découvert la surprenante capacité des **anticorps** produits par le **système immunitaire**, afin de créer des produits chimiques hautement réactifs, que les cellules peuvent utiliser pour se purifier et pour empoisonner leurs envahisseurs, par combustion ou oxydation de l'eau.

Les chimistes Richard Lerner et Paul Wentworth, de l'Institut de recherche Scripps, à La Jolla aux Etats-Unis, sont tombés sur ce nouveau rôle des anticorps par accident [3]. Ils ont trouvé des anticorps générateurs d' H_2O_2 (peroxyde d'hydrogène) en cas d'exposition à la lumière UV. Ils ont testé de nombreux autres anticorps et le résultat a été le même à chaque fois. Les anticorps génèrent H_2O_2 à partir de l'oxygène singulet (1O_2), une forme énergétique et très réactive de la molécule d'oxygène produite quand une source d'énergie, telle que la lumière UV, excite l'oxygène ordinaire triplet (3O_2), catalysé par l'anticorps.

L'oxygène singulet et le peroxyde d'hydrogène appartiennent à une classe de molécules appelées espèces réactives de l'oxygène (ERO, ou *ROS* en anglais) qui ont fait l'objet de beaucoup d'efforts de recherche au cours des dernières années (voir encadré).

Les espèces réactives de l'oxygène, *ERO - Reactive oxygen species (ROS)*

Les espèces réactives de l'oxygène sont de petites molécules qui contiennent de l'oxygène et qui sont plus réactives que l'oxygène moléculaire ordinaire, parce qu'elles ont été activées à partir de l'état de base, certains sont des radicaux libres, qui contiennent un d'électron non apparié. Les ERO comprennent l'oxygène singulet, le superoxyde, le peroxyde, le radical hydroxyle et l'ion hypochlorite.

Les structures d'électrons extérieurs des ERO sont représentées ci-après sur la droite. Pour comparaison, les espèces d'oxygène simples, "non réactives" sont données sur la gauche du tableau ci-dessous.

Non ERO - Non-ROS

Triplet oxygène $\cdot O-O\cdot$

Ion hydroxyle $H:O:\bar{\cdot}$

Eau $H:O:H$

ERO - ROS

Oxygène singulet $O-O:$

Superoxyde $\cdot O-O:\bar{\cdot}$

Radical perhydroxyle $\cdot O-O:H$

Peroxyde d'hydrogène $H:OO:H$

Radical hydroxyle $H:O\cdot$

Hypochlorite $\cdot O-Cl:\bar{\cdot}$

L'oxygène triplet ordinaire est un radical double parce que ses deux électrons externes ne sont pas appariés et en spin parallèle ; il est dans l'état d'énergie le plus faible. Il peut être activé en recevant suffisamment d'énergie pour inverser la rotation de l'un de ses électrons non appariés. Lorsque cela se produit, il formera l'oxygène singulet activé dans laquelle les deux électrons ont des spins anti-parallèles et deviennent appariés. L'oxygène singulet peut participer à des réactions impliquant le transfert simultané de deux électrons, ce qui le rend plus réactif.

La deuxième façon d'activer l'oxygène triplet est d'acquérir un seul électron pour former un ion superoxyde (qui a une charge négative), et virant en radical perhydroxyle (non chargé, avec un électron non apparié) ; le peroxyde d'hydrogène et le radical hydroxyle (encore une fois non chargé et avec un électron non apparié). Un autre ERO est l'hypochlorite, qui est aussi un radical.

Les ERO sont formées dans le corps et sont le résultat de plusieurs mécanismes différents.

1. Interaction des rayonnements ionisants avec des molécules biologiques
2. Par transport d'électrons au cours du métabolisme cellulaire
3. Synthèse par des enzymes dans les cellules phagocytaires, telles que les **neutrophiles** et les **macrophages** qui utilisent les ERO pour tuer les bactéries et d'autres microbes
4. Synthèse par des enzymes similaires dans tous les tissus et cellules destinés à la **signalisation cellulaire**, comme cela a été récemment découvert.

Les **ERO**, en particulier celles qui sont des radicaux avec des électrons non appariés, peuvent être très dommageables pour les cellules, du fait qu'elles réagissent avec d'autres molécules pour obtenir une configuration stable d'électrons appariés ; elles transforment leur molécule cible en un radical, donc une réaction en chaîne commence à se propager, jusqu'à ce que deux radicaux se réunissent pour former une liaison covalente. Dans le processus, les molécules peuvent être réticulées, avec déformation des structures, telles que les membranes dont les molécules font partie.

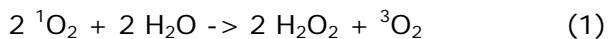
Les cellules ont une grande variété de moyens de défense contre les ERO. Il s'agit notamment les enzymes de la superoxyde dismutase, qui convertissent deux anions superoxydes en une molécule de peroxyde d'hydrogène et une d'oxygène, ainsi que les catalases, qui décomposent le peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau.

La différence d'énergie entre l'oxygène triplet et l'oxygène singulet est d'environ 1 eV, bien au-dessous de l'énergie d'un photon d'UV absorbé par les protéines, qui peut ensuite être transféré à l'oxygène triplet. Mais d'où proviennent les électrons pour réduire l'oxygène singulet en H_2O_2 ?

Dans un premier temps, les chercheurs ont pensé que la réaction assurait la combustion [l'oxydation] de la protéine elle-même, pour produire H₂O₂, mais beaucoup trop de H₂O₂ a été produit pour que cela soit le cas.

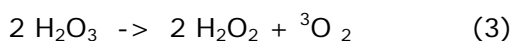
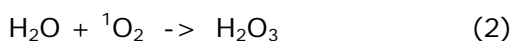
La production de H₂O₂ par les anticorps a été maintenue pendant de longues périodes sous lumière UV, en restant linéaire jusqu'à plus de 40 moles équivalent de H₂O₂. Lorsque l' H₂O₂ est supprimé, les anticorps reprennent la production d' H₂O₂ aux mêmes taux initiaux, et cette production est restée pratiquement inchangée, même après 10 cycles d'irradiation UV, suivie par l'enlèvement de l' H₂O₂ [4].

Après l'élimination d'autres sources pour le peroxyde d'hydrogène, tels que des ions Cl⁻ et des ions métalliques, l'équipe a eu l'idée que l'oxygène singulet pouvait réagir avec ou 'brûler' l'eau pour donner H₂O₂. En présence d'oxygène singulet, l'irradiation UV des anticorps conduit à l'incorporation de l'oxygène de l'eau en H₂O₂. Par marquage de l'eau avec un isotope lourd de l'oxygène, l'équipe de Lerner a confirmé que de l'oxygène contenu dans H₂O₂ vient bien en effet de l'eau, dans la proportion d'environ 1:2.2 relativement à l'oxygène moléculaire en fonction de l'équation :



Les chercheurs de l'Institut Scripps ont fait équipe avec l'expert en modélisation des réactions, William Goddard III de l'Institut de Technologie de Californie à Pasadena et avec son élève Xin Xu. Ils ont suggéré que les molécules d'eau pourraient se combiner avec l'oxygène singulet pour produire du trioxyde d'hydrogène (H₂O₃), qui se réorganise finalement pour produire H₂O₂.

A cause de barrières énergétiques, la réaction initiale de l'eau et de l'oxygène singulet ne pourrait probablement jamais avoir lieu toute seule. Mais Xu et Goddard ont calculé que si la réaction a commencé avec au moins deux molécules d'eau, l'une d'elle peut agir comme un catalyseur en permettant à la réaction de se poursuivre. Cela diminue la barrière d'énergie d'activation de 64,7 kcal / mol à 31,2 kcal / mol, si les deux molécules d'eau sont impliquées, et à 12,0 kcal / mol si 3 molécules d'eau sont en cause. Les réactions inverses ont des barrières énergétiques de 9,2 kcal / mol et 0 kcal / mol, respectivement, ce qui suggère que H₂O₃ n'est pas stable dans l'eau libre. Les réactions proposées se déroulent comme ceci : l'oxygène singulet réagit avec l'eau pour former H₂O₃ et un dimère de H₂O₃ qui se réarrange ensuite rapidement pour donner H₂O₂ et de l'oxygène.



Mais il n'est pas facile d'imaginer comment se réalise l'arrangement des molécules d'eau et de l'oxygène singulet. Peut-être que l'anticorps a un rôle à jouer? Pour le savoir, Wentworth et Lerner se sont tournés vers Ian Wilson, un spécialiste de la **cristallographie** par rayons X, à l' Institut Scripps. En utilisant les Rayons X une haute résolution, Wilson a fait des cartes de densité d'électrons de la structure atomique de quatre anticorps différents [5].

En examinant toutes les régions que les anticorps ont en commun, le groupe de Wilson a identifié trois sites proches les uns des autres qui pourraient lier les molécules d'oxygène, ainsi que les sites susceptibles de contenir les molécules d'eau dans les bons endroits.

Un étiquetage isotopique a confirmé que les anticorps jouent un rôle de catalyseur dans la conversion de $^1\text{O}_2$ en H_2O_2 .

Ces résultats ont été confirmés par une autre équipe de recherche au *California Institute of Technology*, à Pasadena [6] en utilisant des calculs de mécanique quantique. Les intermédiaires de réaction proposés, HOOOH (H_2O_3) et son dimère, sont stabilisés à l'interface "**clé grecque**" de la lumière et de lourdes chaînes, typique dans les récepteurs des cellules T et des anticorps, et non présente dans microglobulines- β_2 . Cela est compatible avec l'observation des expériences : l'absence de HOOH (H_2O_2) dans ces dernières, par opposition aux précédents. Le site catalytique, sur lequel ont lieu ces réactions, a ordonné des *clusters* [regroupements moléculaires] d'eau (dimères et trimères) qui permettent à $^1\text{O}_2$ de réagir avec de multiples molécules d'eau. En revanche, le site de fixation pour le produit, H_2O_2 ne contient aucun *cluster* d'eau et est entouré dans une poche hydrophobe.

D'autres études, comparant la structure des fragments des sites de liaisons de l'antigène - à l'état natif en après irradiation aux rayons UV -, ont révélé des modifications spécifiques au niveau des résidus des acides aminés tryptophane L163 et glutamine H6, situés dans les régions interfaciales du site catalytique de l'anticorps précédemment identifié [7].

La "combustion" de l' eau tue les bactéries

Par la suite, le groupe de l'Institut Scripps a prouvé qu'en plus de H_2O_2 , de l'ozone (O_3) [8] ou d'autres espèces trioxygènes [9] sont également produits et distribués par les anticorps, ce qui souligne les puissantes propriétés bactéricides de tous les anticorps, indépendamment de leur spécificité antigénique.

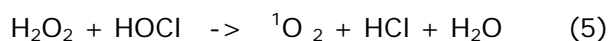
Ces découvertes sont d'autant plus surprenantes que les anticorps ont longtemps été confinés dans le rôle de "semi combattants" dans la guerre du système immunitaire contre l'invasion par des microbes [10] ; pour cela, les cellules du système immunitaire, comme les macrophages, qui vont tuer les bactéries en les engloutissant lors de la **phagocytose** et en les digérant dans les vacuoles ou les phagosomes formés à l'intérieur de la cellule.

Les neutrophiles, qui constituent les globules blancs les plus abondants de dans le sang, sont également les principaux phagocytes du système immunitaire. Ils tuent les bactéries et les champignons, en partie par le déclenchement d'une rafale oxydative, composée d'un ensemble de réactions enzymatiques et chimiques qui entraînent la formation des **ERO**. La première étape de cette cascade, la réduction de deux molécules d'oxygène, est initiée par l'enzyme NAD(P)H oxydase, qui se trouve assemblée dans la membrane, lorsque la cellule est activée par des bactéries munies d'une couche externe d'anticorps. L'oxydase produit l'anion peroxyde ($\text{O}_2^{*\cdot}$)



La réactivité de O_2^{*-} avec la cellule est relativement faible. Sa fonction est de générer davantage de puissantes ERO. La réaction principale au sein du phagosome est soit d'acquérir un proton pour devenir un radical hydroperoxyde (HO_2^*), suivie d'un réarrangement rapide (dismutation) en H_2O_2 et $\text{}^3\text{O}_2$, avec ou sans l'aide de l'enzyme superoxyde dismutase. L' H_2O_2 est alors utilisé pour oxyder Cl^- en hypochlorite OCl^- , une réaction catalysée par la myéloperoxydase. L'hypochlorite est très bactéricide, mais elle est également utilisée pour former des chloramines, dont certains sont encore plus toxiques pour les microbes que ne l'est l'hypochlorite. Une autre sorte de l' H_2O_2 est sa conversion en un radical hydroxyle (OH^*).

Compte tenu du fait que H_2O_2 et HOCl sont présents à des concentrations élevées dans le phagosome, il y a la possibilité pour une production chimique de l'oxygène singulet $\text{}^1\text{O}_2$ à de hautes concentrations.



Comme les anticorps peuvent catalyser la formation de H_2O_2 à partir de $\text{}^1\text{O}_2$ et H_2O par l'intermédiaire de H_2O_3 , avec la production d'ozone, les chercheurs de l'Institut Scripps ont recherché la preuve que les neutrophiles peuvent également produire de l'ozone et leur démarche a été couronnée de succès [11]. Le schéma qu'ils ont proposé pour la génération des ERO dans les neutrophiles est donné dans la Figure 1.

Figure 1. Espèces réactives de l'oxygène produites par les neutrophiles

Mais l'histoire n'est pas terminée : en 2008, une équipe de chercheurs japonais dirigée par Kouhei Yamashita, à l'Université de Kyoto, a constaté que quatre acides aminés (sans anticorps) - tryptophane, méthionine, cystéine et histidine - sont également capables de catalyser la conversion de l'oxygène singulet en ozone en cas d'exposition aux UVA dans une solution aqueuse. D'autres acides aminés solubles dans l'eau ont été testés : ils n'ont pas cette capacité [12].

En effet, la combustion de l'eau semble assez simple : il s'agit d'un mode de vie. Les animaux, y compris les êtres humains, le font en permanence à des fins de **signalisation cellulaire** et pour réguler l'état énergétique des tissus et des cellules [13] ([Living with Oxygen](#), SiS 43).

Définitions et compléments :

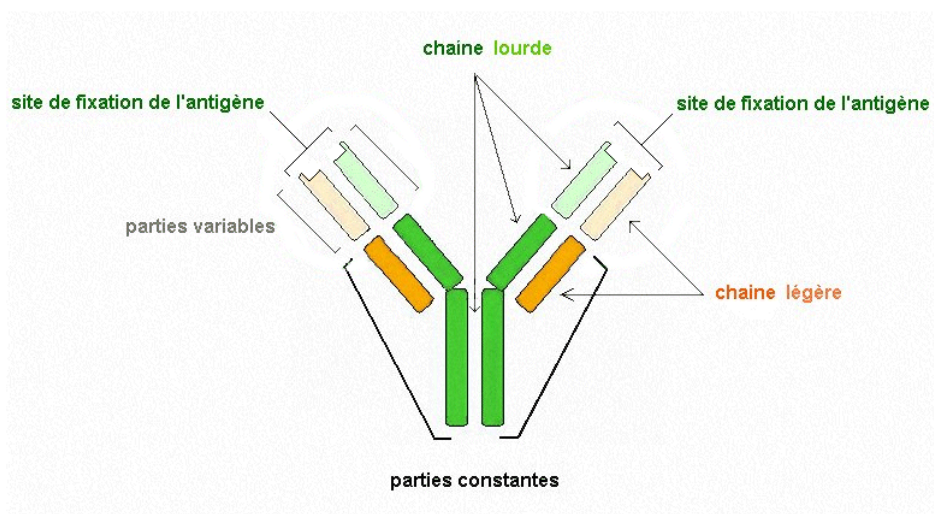
Anticorps ou immunoglobuline : « C'est une protéine du sang synthétisée par les cellules du système immunitaire en réponse à la pénétration d'un corps étranger (antigène) dans l'organisme. Plus précisément il s'agit d'une variété de protéine (globuline sérique) possédant la propriété particulière de se combiner de façon spécifique à une ou plusieurs substances étrangères pénétrant l'organisme, de nature soluble ou faisant partie d'une cellule. Ces éléments étrangers sont appelés antigènes. Les antigènes peuvent être essentiellement : **une bactérie, un virus, un parasite, un champignon, un venin, un vaccin, une cellule cancéreuse** et de façon générale tout

corps étranger pénétrant dans l'organisme.

Les anticorps sont des immunoglobulines appelées également globulines du système gamma ou globulines immunes, les immunoglobulines sont des protéines jouant un rôle essentiel dans la défense de l'organisme contre les agressions. Elles appartiennent au groupe des gammaglobulines présentes non seulement dans le sang (plus spécifiquement le sérum : partie liquide du sang, plasma débarrassé de certains agents de la coagulation) mais également dans d'autres liquides de l'organisme. Les anticorps ont été étudiés en particulier par Jerne, Ch. Salmon et R. André. »

Définition issue du site suivant : www.vulgaris-medical.com/.../anticorps-generalites-5560.html

Définition d'un **anticorps** : = protéine, immunoglobulines, circulantes du milieu intérieur constituées d'une partie constante et d'une partie variable. Structure d'un anticorps :



Source du schéma d'anticorps : <http://freesvt.free.fr/cours%207.html>

Clé grecque : Wikipédia précise que cette expression signifie « un motif répétitif utilisé fréquemment en [architecture](#), en [bijouterie](#) et pour les produits d'usage courant. Sa forme évoque l'[art de la Grèce antique](#), d'où son nom. La répétition de son tracé symbolise l'[infini](#). »



Un motif simple de clé grecque. Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Cl%C3%A9_grecque

Exemple schématique de clé grecque en biologie, emprunté à J. Walshaw & Alan Mills © Birkbeck College 1995

The **Greek Key** topology, named after a pattern that was common on Greek pottery, is shown below. Three up-and-down beta strands connected by hairpins are followed by a longer connection to the fourth strand, which lies adjacent to the first.



Source : www.cryst.bbk.ac.uk/.../8_folds/8_plasto.gif

Comburer : entrer en combustion. Selon la source CBRTL : en littérature = brûler, consumer ; en technologie : « Permettre la combustion d'un corps en se combinant avec lui. *La nitroglycérine possède (...) un excès d'oxygène qui, dans l'explosion, peut être employé à comburer un corps avide d'oxygène* (A. LEDIEU, E. CADIAT, *Le Nouveau matériel naval*, 1890, p. 60). *L'oxygène nécessaire pour comburer les graisses* (Le Gendre ds *Nouv. Traité Méd.*, fasc. 7, 1924, p. 320). » Source CBRTL : <http://www.cnrtl.fr/definition/comburer>

Combustion : selon Wikipédia, « c'est une [réaction chimique exothermique](#) d'[oxydoréduction](#). Lorsque la combustion est vive, elle se traduit par une [flamme](#) voire une [explosion](#). » <http://fr.wikipedia.org/wiki/Combustion>

Selon Linternaute : **combustion**, nom féminin.

Sens Action de brûler entièrement. **Synonyme** oxydation **Anglais** combustion. Cinq **synonymes** : allumage, feu, incinération, inflammation, oxydation. Source : <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/combustion/>

Cristallographie : c'est, d'après Wikipédia, « la [science](#) qui se consacre à l'étude des substances cristallines à l'échelle atomique. Les propriétés physico-chimiques d'un cristal sont étroitement liées à l'arrangement spatial des [atomes](#) dans la matière. L'état cristallin est défini par un caractère périodique et ordonné à l'échelle atomique ou moléculaire. Le cristal est obtenu par [translation](#) dans toutes les directions d'une unité de base appelée [maille élémentaire](#).

Elle est en rapport avec des disciplines aussi diverses que la [physique](#), la [chimie](#), les [mathématiques](#), la [biophysique](#), la [biologie](#), la [médecine](#), la [science des matériaux](#), la [métallurgie](#) ainsi que les [sciences de la terre](#). » Pour plus de détails, se reporter au site : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cristallographie>

ERO = **Espèces Réactives** de l'**Oxygène**, ou '**espèces réactives oxygénées**' encore '**espèces activées de l'oxygène**', en anglais **ROS** = **Reactive oxygen species**.

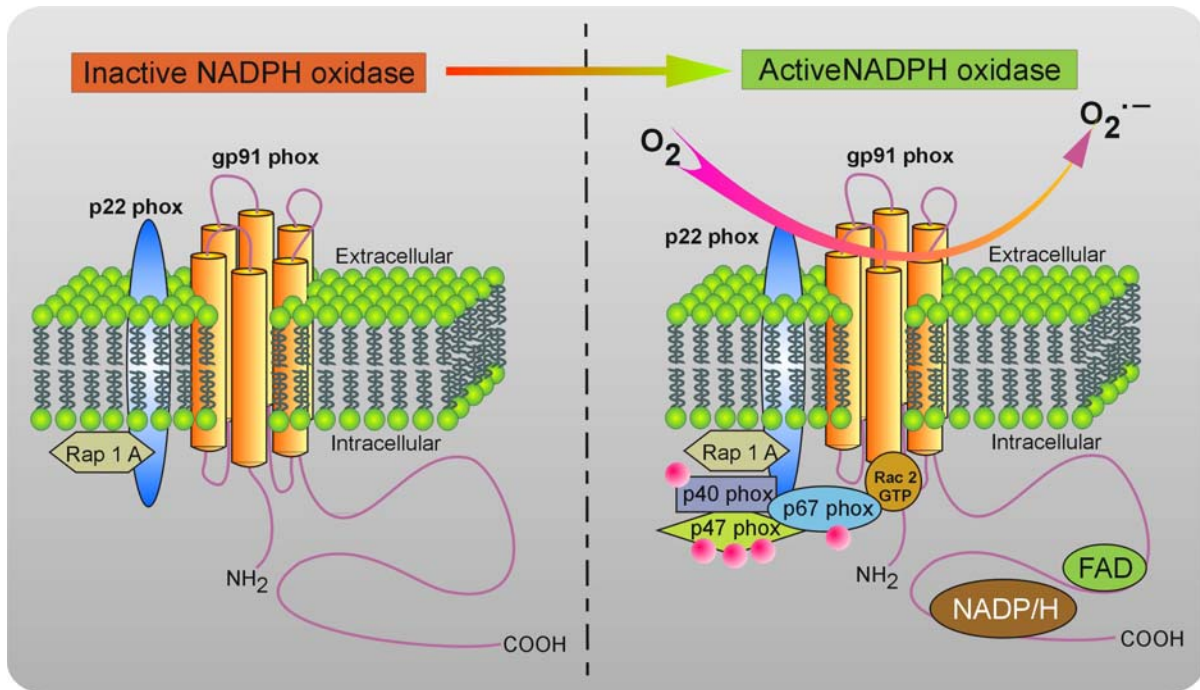
Présentation des **ERO** d'après Monique Gardès-Albert, Dominique Bonnefont-Rousselot, Zohreh Abedinzadeh, *in* **Espèces réactives de l'oxygène - Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ?**

« L'oxygène (ou dioxygène, O₂) est un gaz indispensable à la vie, apparu sur la Terre il y a plus de 2 500 millions d'années, simultanément au développement de la photosynthèse

par les algues bleues. A l'exception de certains organismes anaérobies et aérotolérants, l'oxygène est nécessaire à tous les animaux, plantes et bactéries pour produire de l'énergie par l'intermédiaire de chaînes de transport d'électrons telles que celle existant dans les mitochondries des cellules eucaryotes. Au cours de l'évolution, l'adaptation des espèces vivantes à l'oxygène s'est traduite par l'apparition d'enzymes facilitant non seulement sa consommation, mais également la détoxification de ses métabolites réduits que sont le radical superoxyde $O_2 \cdot^-$ (voir *encadré*) et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 . Ces espèces sont appelées espèces réactives de l'oxygène (ERO) car elles sont beaucoup plus toxiques que ne l'est l'oxygène lui-même... » Lire la suite sur le site : <http://ist.inserm.fr/basisdiaggen/AC/2003-11-12/Gardes.pdf>

Définition des **ERO** selon A. Liskay Krieger (anja.krieger-liskay@cea.fr) : « Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) se forment dans les cellules à la suite de nombreux processus, stress biotiques ou abiotiques, déséquilibres rédox, interventions ou synthèses d'hormones, développement, mort cellulaire programmée... Ces molécules sont généralement produites par des enzymes spécifiques (chaîne de transport d'électrons, peroxydases) dans les organites comme le chloroplaste, dans le cytoplasme ou le périplasma et peuvent être la conséquence de dysfonctionnements cellulaires. Les ROS sont à l'origine d'un système de signalisation cellulaire, et leur concentration et leur influence sur le métabolisme cellulaire est régulée par des mécanismes de protection tels que la dissipation de l'énergie lumineuse excédentaire dans la membrane photosynthétique, ou l'intervention d'enzymes (superoxyde dismutase, peroxydases, catalases). Leur localisation, ainsi que l'importance et la durée de leur production, et leur stabilité dans le temps déterminent la spécificité de la réponse cellulaire. » In *Espèces réactives de l'oxygène (ROS) : production, détoxification et signalisation* (A. Liskay Krieger). Source : <http://www-dsv.cea.fr/instituts/institut-de-biologie-et-de-technologies-de-saclay-ibitec-s/unites-de-recherche/service-de-bioenergetique-biologie-structurale-et-mecanismes-sb2sm/laboratoire-bioenergetique-moleculaire-et-photosynthese-lbmp/equipe-bioenergetique-moleculaire-et-photosynthese-aw-rutherford/projets-de-recherche/especes-reactives-de-l-oxygene-ros-production-detoxification-et-signalisation-a-liskay-krieger>

Macrophages : d'après Wikipédia, « (du [grec](#) : "gros mangeur", *makros* = *grand*, *phagein* = *manger*), ce sont des cellules infiltrant les tissus, découvertes par [Elie Metchnikoff](#) en 1883. Ils proviennent de la différenciation de [leucocytes](#) sanguins, les [monocytes](#). Les monocytes et les macrophages sont des [phagocytes](#) (cellules capables de [phagocytose](#)). Ils participent à l'[immunité innée](#) en tant que défense non-spécifique, mais sont capables de participer à l'[immunité adaptative](#) via le phénomène d'[opsonisation](#). Leur rôle est de phagocyter les débris cellulaires et les pathogènes. À l'instar des [cellules dendritiques](#), ils sont capables de se comporter comme [cellule présentatrice d'antigène](#). C'est une grosse cellule arrondie avec un noyau excentré et des vacuoles dans son cytoplasme. Lire la suite sur <http://fr.wikipedia.org/wiki/Macrophage>



Activation mechanisms and tissue distribution of the different members of the family are markedly different. NOX enzymes also contribute to a wide range of pathological processes. NOX deficiency may lead to immunodeficiency and neurodegeneration... Lire la suite sur le site suivant : www.genkyotex.com/index.php?rubID=5

Neutrophiles : définition donnée dans Wikipédia : « les **granulocytes neutrophiles** ou **polynucléaires neutrophiles** (PNN) sont des cellules sanguines appartenant à la lignée blanche (leucocytes), qui ont donc un rôle dans le système immunitaire. On les appelle polynucléaires en raison d'une erreur historique : de par le caractère lobé de leur noyau (de deux à cinq lobes en général), on a longtemps cru que ces cellules possédaient plusieurs noyaux. Le qualificatif de « neutrophile » vient aussi d'une caractéristique visible en microscopie optique : après ajout des colorants vitaux usuels, ces cellules restent neutres (elles fixent les colorants acides et basiques). Lire la suite dans http://fr.wikipedia.org/wiki/Polynucl%C3%A9aire_neutrophile

	<p>Microscopie optique Quelques neutrophiles et globules rouges vus au microscope en lumière blanche. Colorés au Giemsa, le cytoplasme est rosé alors que le noyau polylobé du neutrophile apparaît mauve. (image jpeg 480 x 503 px, 100 kb)</p>
	<p>Microscopie électronique Coupe mince de neutrophile vu par microscopie électronique de transmission. En plus des trois lobes du noyau, de nombreux granules sont visibles dans le cytoplasme. (image jpeg 515 x 343 px, 148 kb)</p>

Photos de neutrophiles et texte extraits du site :

<http://www.marcpouliot.crchul.ulaval.ca/enseignement/index.html>

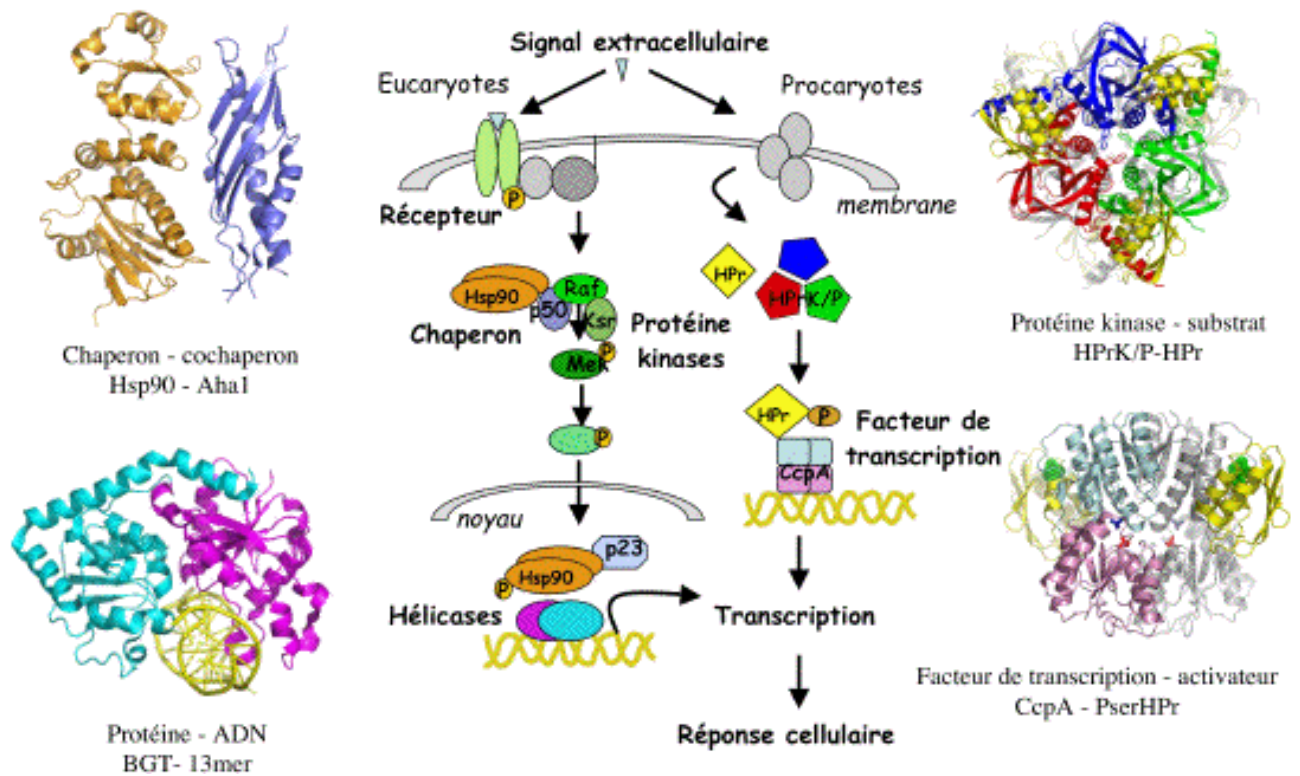
Phagocytose : selon Futura-Sciences, c'est « un mécanisme qui permet à certaines cellules spécialisées (**macrophages**, granulocytes neutrophiles) ainsi qu'à certains organismes unicellulaires (protistes) l'ingestion de particules étrangères tels que des **bactéries**, des débris cellulaires, des poussières... La phagocytose a un rôle important dans la fonction immunitaire, c'est en effet un moyen de défense de l'organisme, notamment lors d'infections bactérienne et parasitaire. » Source : http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/vie/d/phagocytose_223/

Signalisation cellulaire : selon Encyclopédia Universalis, « La notion de signalisation au sens large donne une base commune aux actions des hormones, des facteurs paracrines, des phéromones, des neuromédiateurs, des cytokines, etc. Les signaux qui modulent les activités cellulaires, qu'il s'agisse d'endocrinologie, de neurologie ou d'immunologie, relèvent des mêmes modèles et des mêmes éléments primaires. Lire la suite sur le site :

http://www.universalis.fr/encyclopedie/SC01022/SIGNALISATION_CELLULAIRE.htm

Dans une publication du **CERIMES**, intitulée **Introduction à la signalisation cellulaire**, les auteurs se focalisent sur les processus qui assurent la communication entre la cellule et son environnement. Cette communication est assurée par de nombreuses molécules informatives ; les (premiers) messagers qui, selon leur localisation et leur fonction majeures, peuvent être des neurotransmetteurs, des hormones, des cytokines (dont les facteurs de croissance) ou encore des composants de la matrice extracellulaire. La molécule informative est reconnue par un récepteur (protéine de liaison) situé à la surface ou à l'intérieur de la cellule. La fixation du messenger induit un signal intracellulaire par un processus appelé « transduction du signal ». Les récepteurs et les signaux qu'ils transmettent, donnent à la cellule une représentation symbolique permanente de son environnement. Nous décrivons dans un premier temps les modalités générales (phosphorylation et déphosphorylation, échange de nucléotides, ubiquitination, ouverture des canaux) par lesquelles ces signaux intracellulaires perturbent l'homéostasie cellulaire et imposent un changement pour ajuster l'activité de la cellule aux besoins de l'organisme entier. Dans un deuxième temps nous démontrons avec plus de détails et dans différents thèmes (contexte), comment les voies de signalisation interviennent dans des processus physiologiques tels que la contraction musculaire ou la prolifération cellulaire.

Référence Auteurs : **IJsbrand Kramer / Gérard Tramu** Réalisateur : **AMIE Service d'Appui aux Méthodes Innovantes pour l'Enseignement** Producteur : **Université Bordeaux I Sciences et Technologies** Source http://www.cerimes.fr/index.php?page=fiches_view,2232601,8,7,377,,,2



²Schéma synthétique extrait du document **Biologie structurale des complexes de signalisation** dans **Signalisation structurale** Responsable : Solange Moréra LEBS , UPR 3082 CNRS - Bât. 34 - 91198 Gif-sur-Yvette Cedex Pour plus de détails, consulter la source : www.lebs.cnrs-gif.fr/morera/accueil.html

Système immunitaire (SI) : d'après la source sympatico.ca | « Le SI permet à notre organisme de se **défendre** contre les **envahisseurs** (bactéries, virus,...). Il permet aussi d'**éliminer les cellules anormales** qui apparaissent périodiquement dans l'organisme. Si ces cellules anormales ne sont pas éliminées, elles peuvent mener à un cancer. Notre système immunitaire nous **protège** donc contre les maladies.

ANATOMIE DU SI	DÉFENSES NON-SPÉCIFIQUES	<u>Défenses spécifiques</u>	
<u>Organes du SI</u>	<u>Protéines antimicrobiennes</u>	Antigène, anticorps, CMH	Réponse cellulaire
<u>Cellules du² SI</u>	<u>Réaction inflammatoire</u>	Réponse humorale	Sélection clonale
<u>Barrière externe</u>	<u>Complément</u>	-	

Anatomie du système immunitaire

Les organes du système immunitaire

Passer la souris sur le nom de l'organe pour visualiser sa position dans le corps humain.

Amygdales : Situées dans la cavité buccale, les amygdales servent à détruire la plus grande partie des envahisseurs qui entrent par l'air ou les aliments.

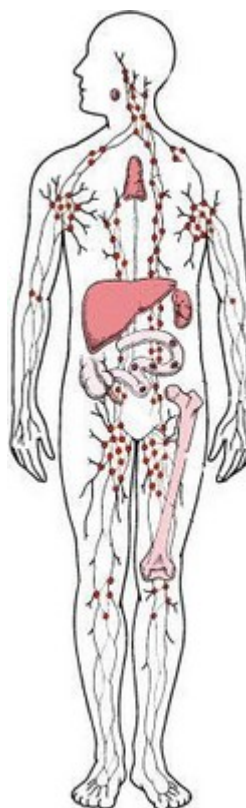
Ganglions lymphatiques : Situés dans tout le corps le long des vaisseaux lymphatiques, les ganglions filtrent la lymphe et en éliminent les envahisseurs.

Moelle osseuse : Site de maturation des lymphocytes B.

Rate : Située sur le côté gauche, la rate est un siège de prolifération des lymphocytes. C'est le plus gros des organes lymphoïdes.

Thymus : Situé dans le bas du cou, le thymus est le site de maturation des lymphocytes T. Surtout actif pendant l'enfance, le thymus s'atrophie avec l'âge.

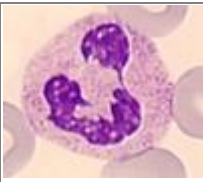
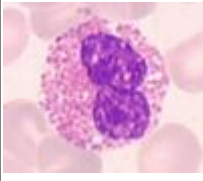
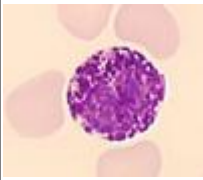
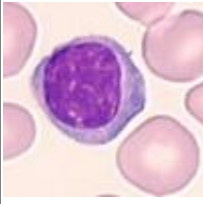
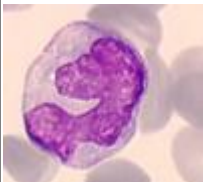
Vaisseaux lymphatiques : Situés dans tout le corps, les vaisseaux lymphatiques transportent la lymphe.



Les cellules du système immunitaire

Les cellules impliquées dans la défense de l'organisme sont les **globules blancs**, aussi appelés **LEUCOCYTES**. Ils circulent dans le sang et la lymphe : ce sont nos **soldats**. On en compte plusieurs types ayant des fonctions spécifiques.

Tableau des leucocytes

	Nom	% des leucocytes totaux	Fonction principale
	Granulocytes neutrophiles	40-70%	Phagocytose des bactéries
	Granulocytes éosinophiles	1-4%	Destruction des vers parasites
	Granulocytes basophiles et mastocytes	0.5-1%	Libération de médiateurs chimiques (réaction inflammatoire)
	Lymphocytes B	20-45%	Production d'anticorps (réponse humorale)
	Lymphocytes T		Attaque des cellules infectées (réponse cellulaire)
	Monocytes	4-8%	Phagocytose (les monocytes se transforment en macrophages dans les tissus)

Le système de défense non-spécifique ne peut pas distinguer les agents infectieux les uns des autres. Les défenses non-spécifiques comprennent la barrière externe et la réaction inflammatoire.

La barrière externe

Elle est constituée de la **peau** et des **muqueuses**. Lorsque celles-ci sont **intactes** (sans écorchure), elles forment une **barrière physique** qui empêche l'entrée des envahisseurs. La **sueur** et le **sébum** rendent la peau légèrement **acide** (pH 5), ce qui limite la propagation des microorganismes sur la peau. Le **mucus** sécrété par les cellules des muqueuses **emprisonne** les envahisseurs, ce qui facilite leur phagocytose par les macrophages. Finalement, la très **grande acidité** de l'**estomac** permet d'**éliminer** la majeure partie des envahisseurs qui entrent dans notre corps par la nourriture.

Les protéines antimicrobiennes

Les **sécrétions** du corps humain comme les larmes, la salive et les sécrétions vaginales contiennent une enzyme appelée le **lysosyme**. Le lysosyme a la capacité de **détruire les bactéries**.

L'interféron est une autre protéine antimicrobienne qui fait partie des défenses non-spécifiques. Une **cellule infectée par un virus** sécrétera des interférons, qui sont des petites protéines. Les **interférons diffusent** alors vers les cellules voisines (qui ne sont pas encore infectées par le virus). Sous l'influence de l'interféron, les **cellules voisines** vont synthétiser des protéines qui vont **interférer** avec la **multiplication du virus** lorsque celui-ci les infectera. Cela a pour but de **limiter la propagation du virus**.

La réaction inflammatoire

L'entrée de microbes par une blessure provoque une réaction inflammatoire. Celle-ci est caractérisée par les étapes suivantes :

1. **Lésion** du tissu et entrée de microbes
2. Libération de **médiateurs chimiques** (histamine) par les basophiles et les mastocytes
3. **Dilatation** des vaisseaux sanguins environnants
4. Augmentation de **l'apport sanguin** (rougeur, chaleur)
5. **Migration** des phagocytes (neutrophiles, macrophages) vers la lésion
6. **Phagocytose** des microbes
7. Libération de **facteurs de coagulation**
8. **Cicatrisation**

Le **système du complément** est composé d'une **vingtaine de protéines**, qui circulent dans le sang sous une forme **inactive**. Lorsque ces protéines sont activées, elles jouent un rôle autant dans la défense non-spécifique que dans la défense spécifique. Voyons d'abord les **quatre rôles** du complément.

- Lyse des cellules étrangères
- Facilitation de la phagocytose (opsonisation)
- Augmentation de la réaction inflammatoire
- Attraction des phagocytes (chimiotactisme)

Lorsqu'une cellule étrangère, par exemple une bactérie, entre dans le corps, il y a production d'anticorps contre elle (voir réponse humorale). Les anticorps produits vont se fixer à la cellule étrangère. À ce moment, une **protéine du complément** va **lier deux anticorps** adjacents (qui sont attachés à la cellule étrangère). Cette liaison va **activer** la protéine du complément, qui à son tour, va **activer** une deuxième protéine du complément, et ainsi de suite. On appelle cette chaîne d'activation une **activation en cascade**. Les protéines du complément activées vont **s'associer** pour former un **complexe d'attaque membranaire** (CAM) qui va s'insérer dans la membrane plasmique de la cellule étrangère. Ce CAM formera ainsi des **trous** dans la cellule étrangère, entraînant la mort par une **lyse cellulaire**. Cette voie d'activation du complément qui nécessite une liaison aux anticorps est appelée **voie classique**.

Il existe une **seconde voie d'activation** du complément appelée **voie alterne**. Celle-ci **n'exige pas** la coopération des anticorps. Le reste de l'activation se fait comme décrit précédemment.

[Cliquez ici](#) pour voir un schéma de la voie classique du complément.

Un **autre rôle** du complément est de **faciliter la phagocytose** des cellules étrangères. L'**opsonisation** (du latin *savourer*), c'est l'**enrobage** des cellules étrangères par des protéines du complément ou par des anticorps. Cela facilite la phagocytose par les macrophages car ceux-ci peuvent se lier aux protéines du complément ou à la portion constante des anticorps.

Certaines protéines du complément, lorsqu'elles sont activées, vont **contribuer à la réaction inflammatoire** en se liant à des cellules contenant de l'**histamine**, entraînant ainsi la libération de ce médiateur chimique (voir réaction inflammatoire).

Finalement, certaines protéines du complément, lorsqu'elles sont activées, vont **attirer les phagocytes** vers la région infectée. On appelle cela du **chimiotactisme**. »

Source de la documentation sur le **Système Immunitaire SI** :
www3.sympatico.ca/.../systemm.htm

Traduction en français, définitions et compléments:

Jacques Hallard, Ing. CNAM, consultant indépendant.

Relecture et corrections : Christiane Hallard-Lauffenburger, professeur des écoles honoraire

Adresse : 19 Chemin du Malpas 13940 Mollégès France

Courriel : jacques.hallard921@orange.fr

Fichier: Eau Biologie Water and Fire The Body Does Burn Water ISIS French.2
