

EXTRAITS

**Biosphère et chimie**  
Un laboratoire naturel

## ***Grenoble Sciences***

Grenoble Sciences est un centre de conseil, expertise et labellisation de l'enseignement supérieur français. Il expertise les projets scientifiques des auteurs dans une démarche à plusieurs niveaux (référés anonymes, comité de lecture interactif) qui permet la labellisation des meilleurs projets après leur optimisation. Les ouvrages labellisés dans une collection de Grenoble Sciences ou portant la mention « Sélectionné par Grenoble Sciences » (*Selected by Grenoble Sciences*) correspondent à :

- des projets clairement définis sans contrainte de mode ou de programme,
- des qualités scientifiques et pédagogiques certifiées par le mode de sélection (les membres du comité de lecture interactif sont cités au début de l'ouvrage),
- une qualité de réalisation assurée par le centre technique de Grenoble Sciences.

### ***Directeur scientifique de Grenoble Sciences***

Jean BORNAREL, Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1

Pour mieux connaître Grenoble Sciences :

<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

Pour contacter Grenoble Sciences :

Tél : (33) 4 76 51 46 95, e-mail : [grenoble.sciences@ujf-grenoble.fr](mailto:grenoble.sciences@ujf-grenoble.fr)

### ***Livres et pap-ebooks***

Grenoble Sciences labellise des livres papier (en langue française et en langue anglaise) mais également des ouvrages utilisant d'autres supports. Dans ce contexte, situons le concept de pap-ebook. Celui-ci se compose de deux éléments :

- un **livre papier** qui demeure l'objet central avec toutes les qualités que l'on connaît au livre papier,
- un **site web compagnon** qui propose :
  - › des éléments permettant de combler les lacunes du lecteur qui ne posséderait pas les prérequis nécessaires à une utilisation optimale de l'ouvrage,
  - › des exercices pour s'entraîner,
  - › des compléments pour approfondir un thème, trouver des liens sur internet, etc.

Le livre du pap-ebook est autosuffisant et certains lecteurs n'utiliseront pas le site web compagnon. D'autres l'utiliseront et ce, chacun à sa manière. Un livre qui fait partie d'un pap-ebook porte en première de couverture un logo caractéristique et le lecteur trouvera la liste de nos sites compagnons à l'adresse internet suivante :

<https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr/pap-ebooks>

Grenoble Sciences bénéficie du soutien du **ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche** et de la **région Rhône-Alpes**.

Grenoble Sciences est rattaché à l'**Université Joseph Fourier** de Grenoble.

ISBN 978 2 7598 1267 7

© EDP Sciences 2014

# **Biosphère et chimie**

## **Un laboratoire naturel**

**Robert LUFT**

**edp sciences**

17, avenue du Hoggar  
Parc d'Activité de Courtabœuf - BP 112  
91944 Les Ulis Cedex A - France

## **Biosphère et chimie - Un laboratoire naturel**

Cet ouvrage, labellisé par Grenoble Sciences, est un des titres du secteur Sciences de la Vie de la collection Grenoble Sciences d'EDP Sciences, qui regroupe des projets originaux et de qualité. Cette collection est dirigée par Jean BORNAREL, Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1.

### ***Comité de lecture de l'ouvrage :***

- Didier ASTRUC, Professeur à l'Université Bordeaux 1, membre senior de l'Institut Universitaire de France
- Rutger DE WIT, Directeur de Recherche CNRS, Montpellier
- Guy HERVÉ, Directeur de Recherche émérite CNRS, Paris
- Claude LANCE, Professeur honoraire, Université Pierre et Marie Curie, Paris
- Thierry LISSOLO, Maître de Conférences, directeur du département des Sciences de la Vie, Université de Savoie
- Paulette VIGNAIS, Directeur de Recherche honoraire CNRS, Grenoble

Cet ouvrage a été suivi par Stéphanie TRINE pour la partie éditoriale et par Sylvie BORDAGE & Anne-Laure PASSAVANT du centre technique de Grenoble Sciences pour sa réalisation pratique, avec le concours de Patrick DESSENNE pour les figures. L'illustration de couverture est l'œuvre d'Alice GIRAUD.

### **Autres ouvrages labellisés sur des thèmes proches (chez le même éditeur) :**

Bactéries et environnement (J. Pelmont) • Respiration et photosynthèse (C. Lance) • Hydrothermalisme (M. Chenevoy & M. Piboule) • Abrégé de biochimie appliquée (A. Marouf & G. Tremblin) • Biodégradations et métabolismes (J. Pelmont) • Glossaire de biochimie environnementale (J. Pelmont) • Mémento technique, à l'usage des biologistes et des biochimistes (A. Marouf & G. Tremblin) • Chimie, le minimum à savoir (J. Le Coarer) • De l'atome à la réaction chimique (R. Barlet *et al.*) • Chimie organométallique et catalyse (D. Astruc) • Electrochimie, concepts fondamentaux illustrés (C. Lefrou, P. Fabry & J.-C. Poignet) • Electrochimie des solides. Exercices corrigés avec rappel de cours (A. Hammou & S. Georges) • Electrochimie des solides (C. Déportes *et al.*) • Thermodynamique chimique (M. Ali Oturan & M. Robert) • Radiopharmaceutiques (sous la direction de Michel Comet & Michel Vidal) • Méthodes et techniques de la chimie organique (D. Astruc, en collaboration avec l'Institut Universitaire de France) • Chemogénomique (sous la direction de E. Maréchal, S. Roy & L. Lafanechère) • Bioénergétique (B. Guerin) • Énergie et environnement, les risques et les enjeux d'une crise annoncée (B. Durand) • L'énergie de demain (Groupe Energie de la Société Française de Physique, sous la direction de J.-L. Bobin, E. Huffer & H. Nifenecker) • Science expérimentale et connaissance du vivant (P. Vignais) • Histoire de la science des protéines (J. Yon-Kahn) • La biologie des origines à nos jours (P. Vignais) • Cinétique enzymatique (A. Cornish-Bowden, M. Jamin & V. Saks) • Enzymes (J. Pelmont) • Enzymologie moléculaire et cellulaire, tomes 1 et 2 (J. Yon-Kahn & G. Hervé) • Éléments de biologie à l'usage d'autres disciplines (P. Tracqui & J. Demongeot) • Physique et biologie (B. Jacrot) • L'air et l'eau. Alizés, cyclones, Gulf Stream, tsunamis et tant d'autres curiosités naturelles (R. Moreau) • Sous les feux du Soleil, vers une météorologie de l'espace (J. Lilensten & J. Bornarel) • La spectroscopie de résonance paramagnétique électronique, tomes 1 et 2 (sous la direction de P. Bertrand)

et d'autres titres sur le site internet : <https://grenoble-sciences.ujf-grenoble.fr>

Selon le point de vue auquel on se place, la délimitation de la biosphère peut présenter des différences considérables. En théorie elle peut être étendue au système solaire et au-delà, puisque des chutes de météorites, des pierres venues d'ailleurs, peuvent modifier les conditions de vie de notre planète, ainsi qu'en témoigne la chute, il y a environ un siècle, de la météorite qui a ravagé la Toungouska, en Sibérie orientale. On pourrait aussi y adjoindre les secteurs profonds de notre globe, car les activités volcaniques et tectoniques qui y trouvent leur origine peuvent exercer une influence et provoquer des modifications de la biosphère. C'est ainsi qu'en 1883, en Indonésie dans le Détroit de la Sonde, l'île Krakatoa a disparu à la suite de l'explosion de son volcan éponyme (depuis 1930 un nouveau cône volcanique a émergé, formant l'île d'Anak Krakatoa ou *filles de Krakatoa*). Entendue jusqu'à 5000 km de là, cette explosion a conduit non seulement à 35 000 morts, mais a été accompagnée d'une pluie de cendres répandues sur des centaines de km<sup>2</sup>, d'un énorme tsunami dont la vague a été observée jusque dans la Manche, ainsi que d'un nuage de poussières qui a tourné plusieurs mois autour de Terre et influé pendant un certain temps sur le climat en faisant écran au rayonnement solaire.

Plus raisonnablement, nous limiterons la biosphère, considérée au sens large, à l'espace compris entre la tropopause et la zone de contact de la croûte terrestre avec le manteau supérieur. Cet espace peut être subdivisé en trois secteurs, solide, liquide et gazeux, que nous analyserons successivement sous un angle abiotique. Dans un second temps nous examinerons les apports dus au phénomène de la vie qui a commencé à se manifester au début du second milliard d'années d'existence de Terre et qui nous permet de parler de biosphère.

Dans la dernière partie nous passerons en revue un certain nombre d'activités anthropogéniques pouvant avoir une incidence sur l'état de cette biosphère et son évolution. Nous y dépasserons les aspects strictement chimiques, pour mettre en lumière un ensemble de problèmes de société qui y ramènent indirectement. Nous en espérons une meilleure prise de conscience, tant au niveau des individus que des collectivités, de l'existence de limites à leurs activités, à leurs déplacements, à leur mode de vie, en un mot à leur biosphère. Car, si dans le passé le développement technique a conduit en l'espace de quelques décennies, en Amérique du Nord et dans l'Union Européenne du moins, à une abondance et une diversité des biens matériels, provoquant une transformation profonde de la vie domestique et professionnelle de leurs habitants, les nuisances collatérales qui en ont résulté, ainsi que le dénuement dans lequel vit le reste du monde obligeront à des révisions déchirantes dans les domaines économiques et sociaux, sous peine de voir l'humanité se diriger vers son suicide collectif.

Pour offrir au lecteur une vue vraiment complète du sujet, nous avons placé en première partie un abrégé de l'histoire de la naissance de l'Univers, focalisé sur celle des éléments chimiques, car, sans eux, il n'y aurait pas de biosphère.

cette énergie potentielle atteint une valeur minimale, on dit que l'espèce chimique est au repos, ou dans son état fondamental ; elle ne peut quitter cet état qu'en absorbant de l'énergie pour passer dans un état excité.

Toutes les réactions entre espèces chimiques font intervenir des échanges d'énergie. En fonction de la valeur de l'énergie de réaction  $E_R$ , c'est-à-dire du bilan des échanges d'énergie (représenté par la différence d'énergie entre les états initial et final du système en réaction), on appelle «exo-énergétiques» ou «exergoniques» les réactions qui conduisent à une libération d'énergie ; inversement, celles qui ont lieu avec absorption d'énergie sont appelées réactions «endo-énergétiques» ou «endergoniques» (fig. 3.2). Selon la forme sous laquelle l'énergie est échangée avec le milieu extérieur, on parle de réactions thermiques (émission ou absorption de chaleur) ou bien photochimiques (émission ou absorption de lumière visible ou UV).

Cependant, en ne prenant en compte que l'énergie de réaction, on occulte un fait important. En effet, pour pouvoir réagir, les molécules qui sont initialement dans l'état énergétique fondamental doivent recevoir d'abord une certaine quantité d'énergie, appelée énergie d'activation  $E_A$ , destinée à faire passer l'un (ou plusieurs) des réactifs de son (leur) état énergétique fondamental vers un état excité, une disposition favorable à la réaction, l'état activé. Cette énergie d'activation est fournie selon le cas par chauffage ou irradiation.

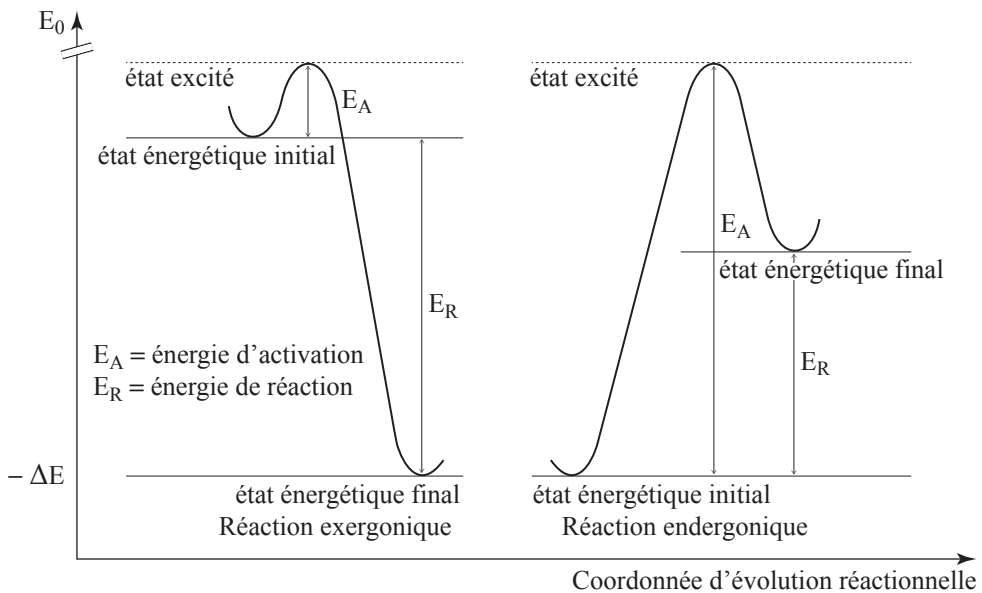


Figure 3.2 - Aspects énergétiques des réactions moléculaires

## 4.4 - La composition en ions de l'hydrosphère

Il est aisé de décrire le devenir des solides transportés par les réseaux hydrologiques. Déversés dans les bassins terminaux que sont les océans et les mers ouvertes d'une part, les mers fermées et les grands lacs intracontinentaux d'autre part, ils sortent du cycle hydrologique et forment des dépôts sédimentaires détritiques dont la vitesse de constitution est fonction de la taille et de la masse volumique des particules, les plus fines pouvant rester longtemps en suspension, sous l'effet de courants par exemple.

Reste à voir ce qui advient des ions transportés par les réseaux hydrologiques. Si la dissolution progressive des roches sédimentaires et éruptives était le seul phénomène présent, la concentration en ions des bassins terminaux devrait être évolutive et croître sans cesse. Ce n'est pas cela que l'on observe, mais l'instauration d'un état stationnaire, la résultante d'interactions régulières entre le milieu et les apports. Certains des solides présents dans le milieu continuent à subir une dissolution lente avec libération d'ions, certains ions interagissent et conduisent à la formation de précipités. Les créations et les disparitions d'ions conduisent à des équilibres spécifiques dans chacun des bassins hydrologiques terminaux.

Ainsi, la composition en ions n'est pas strictement la même dans la mer Méditerranée, un bassin hydrologique quasi fermé, soumis à forte évaporation et fortement salin, que dans la mer polaire des environs du Groenland et de l'Islande, froide et ouverte au large. Par rapport aux eaux douces, les eaux marines se distinguent aussi par leur contenu en ions bromure, fluorure, borate et strontium, peu ou pas du tout représentés dans les eaux douces.

Le contenu en ions des eaux de pluie et des glaciers est encore plus faible ; il provient des poussières transportées par les vents, des embruns arrachés à la mer, ainsi que des oxydes du carbone, de l'azote et du soufre, formés ou véhiculés dans l'atmosphère.

La différence de composition moyenne en ions entre les eaux de ruissellement et les eaux marines est concrétisée par les deux séries de valeurs suivantes :

		Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	[SO <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	[HOCO <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>
Mer	[mg/L]	19 500	10 750	2700	1300	410	400	140
	[10 <sup>-3</sup> mol/L]	550	467	28,1	53,5	10,2	10,2	2,29
Terre	[mg/L]	8	6	11	4	15	2,5	60
	[10 <sup>-3</sup> mol/L]	0,254	0,26	0,12	0,17	0,37	0,06	0,098

Mais, comme nous l'avons dit, la composition moyenne en substances dissoutes ne traduit qu'un équilibre, elle n'est qu'un reflet d'une réalité bien plus complexe. En particulier, dans les eaux de surface des mers et des océans les organismes vivants exercent un effet régulateur important, à côté des réactions chimiques. C'est ainsi

que l'on observe une chute brutale de la concentration en ions  $\text{Ca}^{2+}$  entre les eaux des bassins d'eau douce et les eaux océaniques.

Il n'y a pas là un effet de dilution, mais plus simplement consommation des ions calcium, tant par combinaison avec des ions carbonate et formation de carbonate de calcium solide, que par ingestion de la part des coquillages et des coraux qui les incorporent dans leur carapace calcaire au fur et à mesure de leur croissance. Il en va de même pour l'acide silicique, capté par les diatomées et les animaux à squelette de silice, tels que les éponges.

À la mort de ces organismes les parties calcaires et siliceuses sont fossilisées et sédimentées, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas dégradées et réintégrées dans le milieu liquide, sauf si elles tombent sur des fonds de plus de 200 m, profondeur au-delà de laquelle la pression affecte les limites de concentration en ions du calcium et du silicium, facilitant ainsi la dissolution des carapaces et squelettes. De leur côté, les végétaux marins extraient du milieu les ions magnésium, nitrate et phosphate qu'ils rencontrent et qui sont essentiels pour leur développement. Mais ces mêmes ions sont restitués au milieu marin lors de la putréfaction des végétaux, contrairement à ce qui se passe pour les ions calcium et la silice.

## 4.5 - Les temps de résidence océanique des ions

Grossièrement, on peut évaluer les flux annuels des ions depuis l'altération d'une roche jusqu'au dépôt d'un sédiment comme suit :

Espèce atomique	Ca	S	Mg	Na	Si	Cl	K	P
Flux [ $10^9$ kg/an]	500	400	300	200	200	200	50	1

Par ailleurs, l'analyse des sédiments formés au cours des derniers 100 millions d'années montre qu'au cours de cette période la composition de l'eau de mer est restée à peu près constante en tous lieux. On attribue cette constance à la circulation des eaux océaniques et à leur brassage permanent.

Les halogènes fluor, chlore, brome et iode se retrouvent toujours sous forme d'anions simples dans l'eau de mer, le soufre sous celle d'anion simple sulfure  $\text{S}^{2-}$  et d'anions complexes, surtout sulfate  $[\text{SO}_4]^{2-}$ , issus de l'oxydation des ions sulfure. L'oxygène et l'azote sont présents sous leur forme moléculaire  $\text{O}_2$ , et  $\text{N}_2$ . Mais l'azote se retrouve aussi sous celle d'un dérivé réduit, l'ion ammonium  $[\text{NH}_4]^+$ , et de dérivés oxydés, les ions nitrate  $[\text{NO}_3]^-$  et nitrite  $[\text{NO}_2]^-$ . Pour le carbone il ne faut pas seulement envisager les ions hydrogénocarbonate  $[\text{HOCO}_2]^-$  et carbonate  $[\text{CO}_3]^{2-}$ , mais aussi des molécules de composés organiques variés issus de la décomposition des organismes vivants.



Il est loin d'en être de même en ce qui concerne la biomasse. L'édification des organismes vivants réclame l'intervention d'un nombre élevé de briques de structure variée, des édifices moléculaires formés de centaines, voire de milliers d'atomes C, H, N, O, P, S, etc. ; certaines structures, telles que les enzymes, en comportent des milliers. De plus, de telles structures peuvent constituer des amas supramoléculaires regroupés par un effet de coordination autour d'un centre de réactivité, un atome ou ion le plus souvent métallique. D'autre part, beaucoup de composantes des organismes vivants et de métabolites sont des polymères ou copolymères d'oses, de peptides et d'acides nucléiques.

Enfin, contrairement aux réactions chimiques ioniques ou radicalaires du milieu inerte, la structure stéréochimique et la morphologie des molécules de la biomasse a souvent une importance décisive dans leurs réactions.

### 6.5.1 - Aspects stéréochimiques et conformationnels des biomolécules

La majorité des molécules carbonées présentent au moins une fonction chimique, un site préférentiel ou « foyer », le siège potentiel de réactions avec d'autres molécules. Ce site est flanqué de substituants dont le nombre d'atomes et leur mode d'enchaînement structural peuvent avoir une influence fondamentale sur la réactivité de la molécule. En effet, les réactions sont plus ou moins aisées en fonction de l'encombrement des foyers de la molécule attaquante et de la molécule substrat, c'est-à-dire de la nature et du volume des substituants des foyers des deux partenaires.

Pour un grand nombre de substances participant à des réactions métaboliques une contrainte supplémentaire d'ordre morphologique doit être prise en compte, au cours de ces réactions la structure de leur édifice moléculaire doit se présenter sous une conformation<sup>6</sup> stéréosélective. Cela signifie que parmi toutes les dispositions spatiales envisageables pour la totalité des atomes de la molécule une seule, parfaitement définie, est capable d'intervenir dans un processus métabolique donné.

Un nombre plus restreint de biomolécules est soumis à une exigence supplémentaire, elles doivent présenter une configuration stéréospécifique.

Aussi, pour apprécier l'importance de l'énergie d'activation (voir chap. 3, section 3.2.1) à fournir dans une transformation chimique moléculaire, il y a lieu de prendre largement en compte la morphologie des molécules partenaires. Celle-ci peut fortement différer entre leurs états fondamental et de transition.

---

6 Pour les chimistes les conformations d'une molécule sont les dispositions résultant de la rotation de l'une des parties de la molécule par rapport à l'autre autour de l'axe de la liaison qui les unit ; aucune liaison n'est rompue. Il ne faut pas confondre les conformations avec les « configurations » qui sont des structures issues l'une de l'autre par rupture de 2 liaisons sur deux sites de la molécule puis échange de leurs substituants accompagné de la reconstitution de 2 liaisons.

- ▶ Aucune des deux structures ne présente un centre, axe ou plan de symétrie, elles sont asymétriques ou « chirales » [du grec  $\chi\epsilon\iota\rho$  (khe-ir) = main], terme retenu pour marquer l'analogie avec la disposition antisymétrique de nos deux mains.
- ▶ L'atome central, support des quatre substituants et siège de la chiralité, est appelé « carbone asymétrique ».

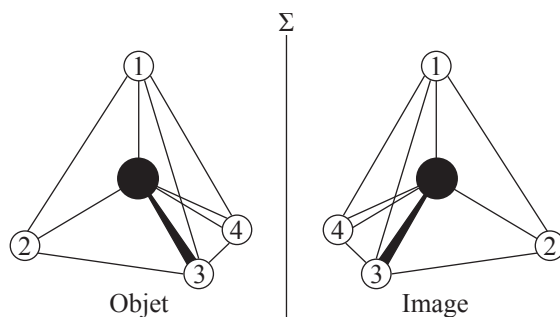


Figure 6.1 - Centre de chiralité. Le plan  $\Sigma$  du miroir est perpendiculaire au plan défini par l'atome central et les atomes ① et ②.

La théorie du carbone tétraédrique permet de fournir une explication d'ordre structural aux observations de PASTEUR.

Dans le cas des acides tartriques et de leurs dérivés, on est en présence de deux structures fondamentales distinctes, non réductibles l'une à l'autre, mais images dans un miroir (fig. 6.2) ; ce sont deux configurations stéréoisomères, des configurations chirales<sup>8</sup>. Notons en passant que l'acide tartrique possède deux carbones asymétriques, ce qui explique l'existence d'une troisième structure de cet acide, l'acide mésotartrique, qui possède un centre de symétrie (ou d'inversion). Il n'est pas chiral et par conséquent ne dévie pas la lumière polarisée.

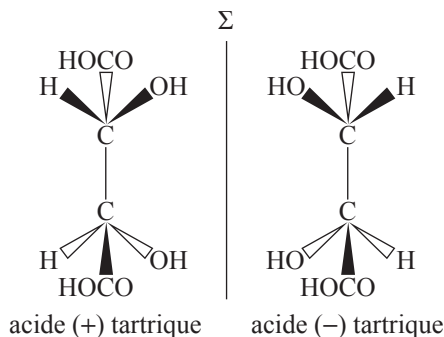


Figure 6.2 - Acides tartriques antipodiques

<sup>8</sup> Le lecteur désireux de se documenter sur les problèmes structuraux des molécules pourra consulter *Naissance de la chimie structurale* par A. DUMON & R. LUFT (2008) EDP Sciences, Paris.

Ces deux systèmes (fig. 8.3)<sup>3</sup> constituent des circuits intégrés dans lesquels les électrons voyagent le long du gradient du potentiel d'oxydo-réduction existant entre les parois externe et interne de la membrane du tylacoïde.

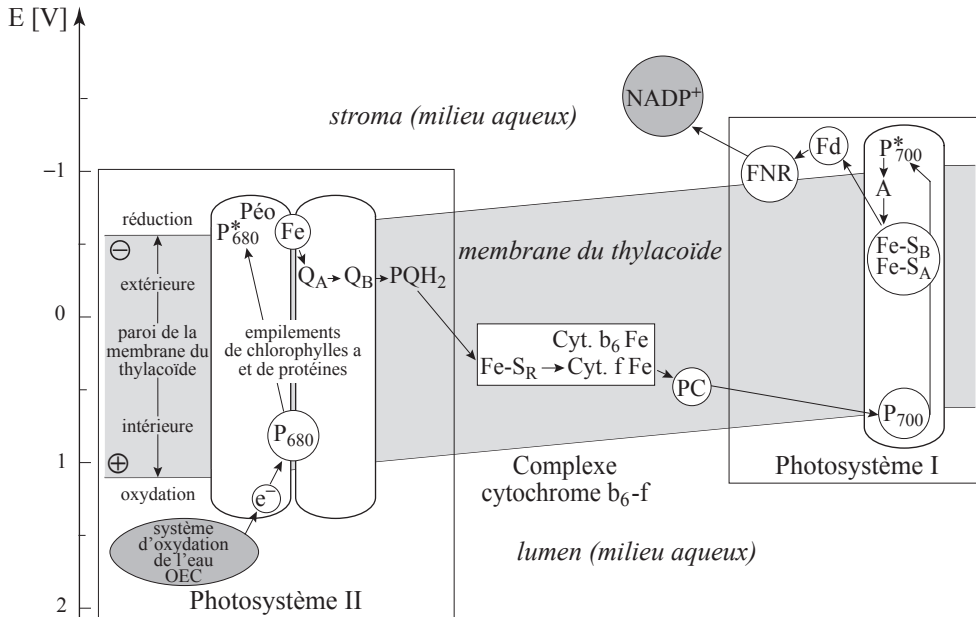
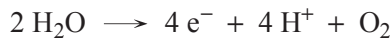


Figure 8.3 - Le fonctionnement combiné des photosystèmes I et II. E désigne le potentiel redox.

Le fonctionnement de l'ensemble de ce dispositif peut être décrit comme suit :

**Le complexe OEC** est constitué d'une structure protéinique contenant 4 ions de manganèse dont la variation du degré d'oxydation entre  $Mn^{2+}$  et  $Mn^{4+}$  est à la base de l'alimentation du processus photochimique en électrons. La dissociation de l'eau au niveau du complexe OEC peut être représentée globalement par



Le complexe OEC est adjoint au photosystème II et peut se présenter sous cinq états :  $S_0$  à  $S_4$  (fig. 8.4). Il décompose l'eau en une seule étape non photochimique, retenant initialement les 4 protons et les 4 électrons dans son état  $S_0$ . Le dioxygène n'entre pas dans le processus de la photosynthèse, il représente un sous-produit et passe dans les fluides du milieu biologique, d'où il peut s'échapper dans l'atmosphère.

Au cours de quatre étapes successives, le complexe OEC cède un à un les électrons et protons qu'il détient dans l'état  $S_0$ , avant de revenir à son état initial :

3 Seule la partie centrale du dispositif est représentée. Si le positionnement des centres  $P_{680}$ ,  $P_{680}^*$ ,  $P_{700}$  et  $P_{700}^*$  respecte leurs situations sur l'échelle des potentiels, les contingences qu'impose la lisibilité des inscriptions a créé des distorsions des autres parties des dessins.

# Chapitre 9

## Glucides, lipides et protéines

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent (section 8.4), l'acide pyruvique et l'acide acétique constituent le point de départ de biosynthèses qui, selon la structure des enzymes qui les gouvernent, mènent aux glucides, lipides, terpènes et stéroïdes, acétogénines et leurs dérivés, aminoacides et nucléotides, etc.

### 9.1 - Les glucides et leurs dérivés

Les glucides (glucides (oses) communément appelés sucres et leurs dérivés, les glucosides (osides) sont les composés carbonés les plus répandus dans la nature. Ils présentent tous des structures stéréospécifiques. Leurs principaux représentants sont des pentoses (chaîne de 5 atomes de carbone) et des hexoses (chaînes à 6 atomes de carbone), ainsi que leurs polymères et dérivés.

Certains pentoses jouent un rôle très important dans les biosynthèses :

- ▶ le **ribose** se retrouve dans les graines de ricin (*Ricinus communis*) ; avec le **désoxyribose**, il est l'un des constituants des acides nucléiques et de divers enzymes ;
- ▶ le **ribulose** est contenu dans des algues, les feuilles de betteraves, etc. Son 1,5-bisphosphate est le composé-clé de la biosynthèse du glucose ;
- ▶ le **xylose** est un constituant des matières boisées.

Les **hexoses** sont nombreux dans le monde végétal et animal. Ils s'y présentent tant sous la forme moléculaire isolée (monoses) que sous celle de polymères (polyoses) et de polycondensats (combinaisons de deux hexoses en général). En voici les principaux :

- ▶ le **glucose** (ou dextrose) qui se retrouve en particulier dans le jus de raisin et dans le sang ; c'est le monose le plus répandu ;
- ▶ le **fructose** (ou lévulose) est l'épimère<sup>1</sup> du glucose ; dans les organismes vivants, il se retransforme facilement en glucose. On trouve le fructose dans le miel, les pommes, les prunes, etc. ;

---

1 Au sens strict, on dit que deux aldoses sont épimères, lorsque leurs structures ne diffèrent que par la configuration du carbone asymétrique le plus proche de la fonction aldéhyde. La figure 6.3 (chap.6, section 6.5.2) représente deux couples de molécules épimères (D- et L-glycéraldéhyde, D- et L-sérine). La notion d'épimère a ensuite été élargie et appliquée à des composés possédant plusieurs centres de chiralité, mais ne différant entre eux qu'au niveau d'un seul de ces centres.

calcaires ( $\text{CaCO}_3$ ) et dolomitiques ( $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$ ), ainsi que des gîtes de trona ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ).

Nous avons déjà passé en revue une grande partie des transformations abiotiques du carbone, depuis leur point de départ, le dioxyde de carbone de l'atmosphère, jusqu'à leur aboutissement sous la même forme, le dioxyde de carbone qui s'échappe dans l'atmosphère (voir en particulier chap. 3, section 3.5.1).

Dans le contexte de la biosphère, le carbone se retrouve sous de multiples formes dans la biomasse vive et morte, ainsi que dans les composés intermédiaires résultant de son élaboration et de sa dégradation progressive (biocycles, fig. 10.1).

Le biocycle le plus court est celui de la respiration animale, caractérisé par l'inhalation de dioxygène et le rejet par l'organisme de dioxyde de carbone.

Les autres biocycles du carbone sont amorcés par la photosynthèse, puis continués par des chaînes réactionnelles (voir chap. 8 et 9) conduisant à la biosynthèse de molécules très diversifiées, indispensables au déroulement convenable du métabolisme des organismes vivants, puis à l'élimination biodégradative des matières organiques au cours de réactions aérobies ou anaérobies. Ces déchets de biomasse, solides, liquides et/ou gazeux, résident pendant des temps plus ou moins longs dans leur milieu propre tout en se dégradant, pour finir sous forme de méthane ou de dioxyde de carbone.

Dans le domaine végétal la respiration correspond à l'inversion, en l'absence de lumière, du processus de l'assimilation chlorophyllienne (voir chap. 8, section 8.2.2).

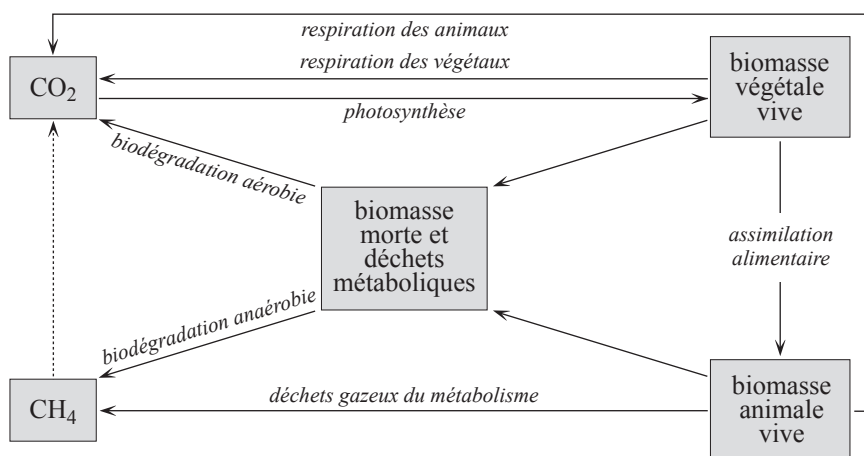


Figure 10.1 - Biocycles du carbone

Il est à noter qu'un cycle beaucoup plus long dans la durée correspond à la transformation de la biomasse morte en pétrole, gaz naturel, kérogènes, charbon, lignite,

Chauvet (~ – 35 000 ans), suivies quelques milliers d'années plus tard de celles des grottes d'Altamira, de Lascaux, des rochers du Tassili des Ajers, etc.

## 11.2 - Première exploration du biotope humain

Comme toutes les espèces animales et végétales, l'Homme doit dans un premier temps s'imposer face à la totalité des autres espèces vivantes et créer son propre biotope, c'est-à-dire affecter toute son énergie à sa survie, à l'observation et à l'exploration permanente de son environnement immédiat, modifié plusieurs fois sous l'effet de changements climatiques.

Dans ce contexte, son sort est peu enviable et son espérance de vie réduite à une vingtaine d'années de nomadisme. Il vit de la main à la bouche ; au hasard de ses pérégrinations, il se nourrit des produits de ses cueillettes de végétaux, ainsi que de la viande crue des animaux qu'il est capable de capturer de ses mains (chasse et pêche). Entouré d'une faune qui lui est a priori hostile, il doit rester jour et nuit sur le qui-vive, pour ne pas en devenir la proie ; autant dire qu'il ne profite pratiquement jamais d'un vrai sommeil.

Ses premiers moyens de défense, qui lui servent aussi pour la chasse, sont des branches d'arbres qu'il brise ou qui ont été arrachées par les tempêtes, ainsi que des pierres de différentes grosseurs. Son intérêt lui commande d'étudier les mœurs des animaux qu'il essaie de chasser, contre lesquels il doit se défendre ou qui peuvent lui être utiles d'une autre façon. Il en est de même en ce qui concerne les végétaux qui peuvent présenter un intérêt du point de vue de leur comestibilité (feuilles, graines, racines, fruits) ou un danger, lorsqu'ils contiennent des poisons. La maîtrise du dosage de ceux-ci peut se révéler bénéfique sous forme de médicament.

Une amélioration de son sort intervient à partir du moment où il comprend tout l'intérêt d'une association avec des congénères ; un regroupement occasionnel en horde permet une pratique plus efficace de la chasse au gros gibier. Il en est de même en ce qui concerne un regroupement familial, puis en tribu, dans lequel une diversification des tâches quotidiennes peut être organisée :

- ▶ tours de garde pour les plus forts, permettant à chacun un sommeil réel, même s'il est court ;
- ▶ multiplication des éducateurs et allongement de la durée d'instruction des rejets, ce qui favorise l'extension de leur domaine de connaissances par rapport à celui de leurs aînés ;
- ▶ partage des tâches en cherchant à prendre en compte les aptitudes individuelles qui se révèlent, ce qui stimule l'esprit inventif et aboutit à des techniques de travail améliorées.

# Chapitre 12

## L'interaction des activités anthropiques avec la biosphère

À son entrée dans l'ère préindustrielle, *Homo sapiens* n'est plus exclusivement soumis aux aléas de la biosphère. Dans la phase précédente celle-ci ne subissait que des égratignures, des atteintes mineures et bénignes, mais avec la disponibilité d'une quantité importante d'énergie et de matières premières, ses interactions quotidiennes avec les activités anthropiques ont maintenant des effets plus profonds et plus graves, au point qu'un nombre croissant de scientifiques considèrent que depuis le début du XVIII<sup>e</sup> siècle nous sommes entrés dans une nouvelle époque, «l'anthropocène».

Dans les pages qui suivent, nous cherchons à fournir, dans trois domaines fondamentaux qui touchent à la chimie, une illustration des modifications qui ont influencé à partir de là le bien-être de l'espèce humaine.

### 12.1 - Chimie et disponibilités en produits alimentaires

#### 12.1.1 - Historique de la chimie agricole

Avec la mise en place de l'agriculture, les êtres humains arrivent à influencer sur le fonctionnement de la biosphère. Un grand pas est franchi, *Homo sapiens* ne consomme plus seulement des produits renouvelables que la biosphère lui offre, souvent de façon aléatoire ; désormais il cherche à développer la production de tels produits, surtout de ceux capables d'améliorer son bol alimentaire.

Le véritable point de départ de l'intervention de la chimie dans l'agriculture se situe aux alentours de 1780 - 1800, lorsque le Duc de BEDFORD en Angleterre et LAVOISIER en France font effectuer sur leurs terres des essais systématiques d'acclimatation de nouvelles espèces végétales, ainsi que d'amendement des sols par chaulage et/ou