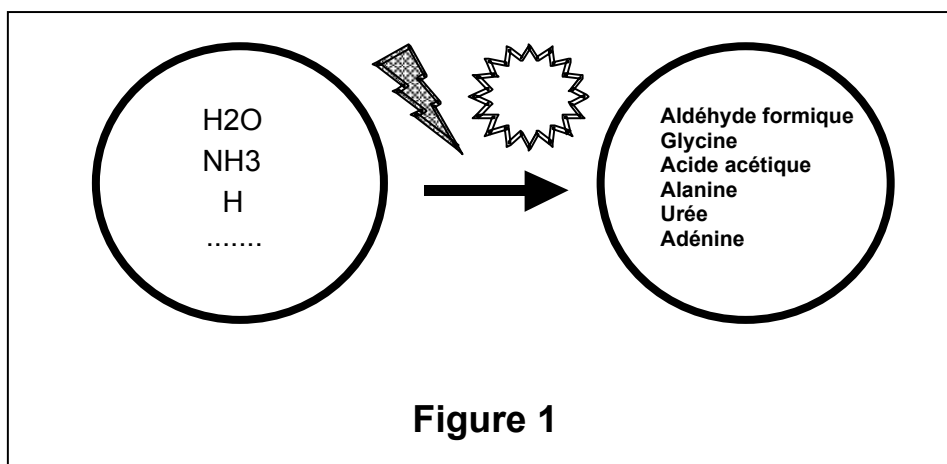


# I) RAPPELS DE BIOLOGIE GENERALE

## A) Histoire de la biosphère des molécules organiques aux organismes composites

Cette hypothétique histoire, reconstituée à partir d'observations et d'expériences scientifiques, peut être décomposée en un certain nombre d'étapes qui correspondent à des changements décisifs des paramètres physiques du milieu dans lequel s'est développée la biosphère.

A chacune de ces étapes est mise en jeu la règle "d'adaptation / sélection" qui explique l'évolution de la matière vivante. Le hasard pour les uns, la Providence pour les autres, a toujours fait que soit réalisée à tout moment la nécessaire présence d'organismes capables de s'adapter au mieux aux changements d'environnement et donc d'y survivre.

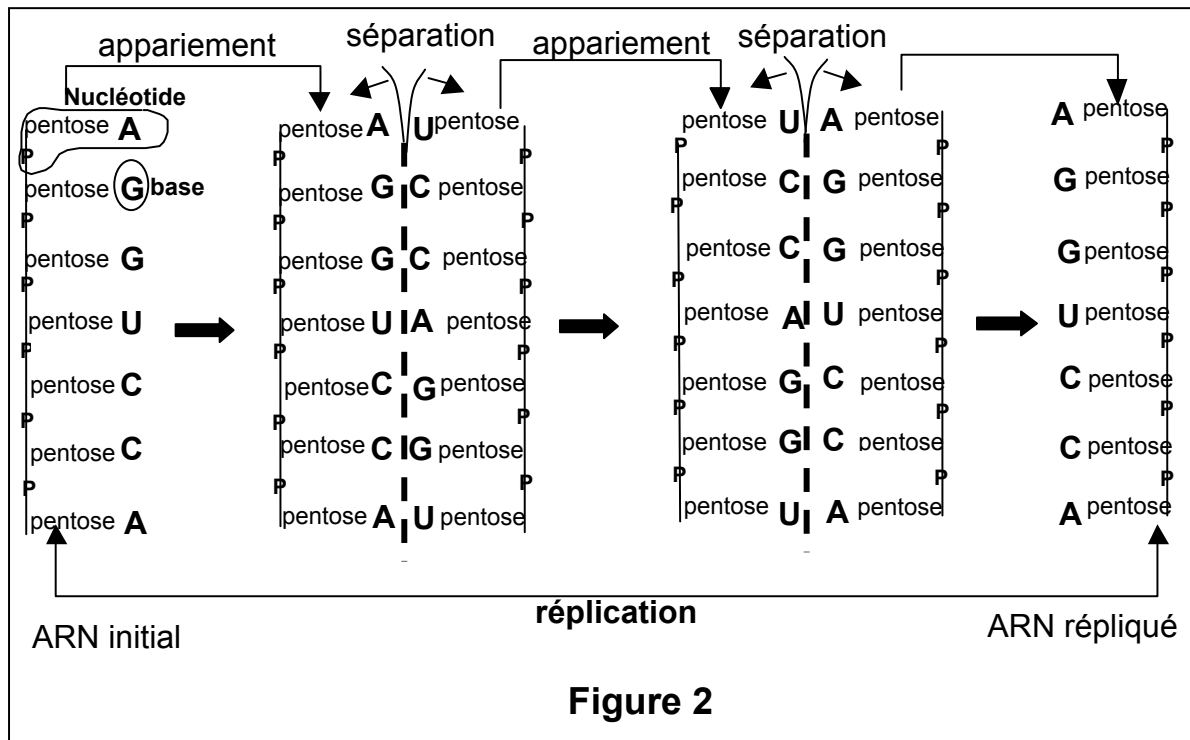


**1ère étape** – « Au commencement était l'enfer »: chaleur intense- orages électromagnétiques puissants- U.V. non filtrés en absence de couche d'ozone. Il est possible que ces terribles conditions totalement incompatibles avec la vie des organismes actuels aient été nécessaires à la naissance de la biosphère. Dans de telles conditions reproduites en laboratoire on peut en effet obtenir la synthèse de molécules organiques simples à partir de molécules inorganiques, comme le rappelle l'illustration de la figure 1. En fait d'autres hypothèses sont actuellement discutées dont celle de l'introduction sur notre planète de matériel organique à la suite de la percusion d'énormes météorites. Quelle que soit l'hypothèse choisie, les conditions initiales ont en commun d'être apocalyptiques.

**Si l'on s'en tient à la première hypothèse on peut retenir qu'au hasard des réactions chimiques peuvent apparaître des composés organiques. Molécules très diverses, éphémères et immédiatement détruites qui ne ressemblent pas à celles qui sont identifiées dans les organismes actuels dans lesquels on retrouve cependant les quatre familles de composés initiaux : glucides, lipides, protides et nucléotides.**

**2ème étape** - Les molécules de nucléotides en se combinant à d'autres types de molécules vont former les hauts polymères hélicoïdaux connus sous le nom d' A.R.N. (Acide Ribo Nucléique). Ces molécules ont la propriété remarquable de s'auto répliquer par appariement

sélectif de leurs bases puriques avec leurs bases pyrimidiques selon les combinaisons suivantes : Adénine-Uracile et Guanine-Cytosine . La figure 2 schématise le mécanisme d'auto répllication qui consiste en une succession d'appariements et de séparations de chaînes complémentaires



**Au terme de cette seconde étape, il apparaît des molécules qui ne résultent plus d'un hasard physico-chimique, mais d'une propriété biologique : la répllication à l'identique. Dès lors la stabilisation et la pérennisation d'un type particulier de molécules organiques sont possibles.**

**3ème étape** - Ces molécules d'A.R.N. auto-réplifiables sont, sur le plan physicochimique, peu actives et stéréochimiquement semblables les unes aux autres. Leur forme en hélice est en effet la même quelle que soit la combinaison des bases. Ces molécules n'apparaissent donc ni comme un bon matériau de structure ni comme un matériel efficace d'activité biologique. En revanche cette combinaison de quatre bases enchaînées linéairement est le matériel de choix pour "coder" une information de structure et la répliquer à l'identique, c'est-à-dire pour la mémoriser.

Cette mémoire serait vaine si elle se refermait sur elle-même. En fait les combinaisons de séries de bases codent également leur appariement spécifique pour des acides aminés. C'est-à-dire que la combinaison de trois bases successives va capter un acide aminé donné parmi les vingt qui entrent dans la composition des organismes, un autre appariement fixera un autre acide aminé etc. .... Ainsi, sur la matrice A.R.N. peut s'amarrer dans un ordre donné et fixe une succession d'acides aminés qui, s'accrochant les uns aux autres par des liaisons peptidiques, vont former des protéines spécifiques qui se séparent de la matrice A.R.N.

Ces protéines auront des structures et des fonctions très diversifiées en raison du nombre incommensurable de possibilités de combinaisons des acides aminés. Les protéines sont non seulement un matériau de structure de choix en raison de la grande diversité de leurs formes moléculaires, mais aussi un matériel de fonctionnement en raison de leur réactivité avec les molécules voisines. Elles sont en particulier capables d'activités catalytiques (on dit

enzymatiques en biologie) diverses et spécifiques. Il est d'ailleurs probable que les protéines de la soupe pré-biotique avaient des propriétés comparables. Mais il s'agissait de phénomènes hasardeux et éphémères qui ne se perpétuaient pas au-delà de leur vie brève. Grâce au système A.R.N. des structures et des fonctions se pérennisent. Ce d'autant plus facilement que les protéines ont la capacité d'activer les mécanismes de leur propre synthèse.

**Au terme de cette troisième étape des protéines spécifiques impliquées dans les phénomènes d'activités biochimiques et dans l'échafaudage de structures organiques peuvent être fabriquées selon des modèles stables à partir de la matrice A.R.N.**

**4ème étape** - L'action catalytique de certaines protéines sur leur propre synthèse potentialise les capacités de production protéique. Mais le mécanisme ne pouvait être efficace que si les molécules synthétisées restaient à proximité de l'A.R.N. qui leur servait de matrice. Il ne fallait donc pas qu'elles se dispersent dans la soupe pré biotique. Au terme de réactions catalysées par certaines protéines enzymatiques, des phospholipides ont été synthétisés. Leurs propriétés physico-chimiques les conduisaient à se disposer en bicouche autour de l'A.R.N. Avec l'apparition de cette membrane une cellule initiale était donc née. Cette cellule initiale à A.R.N. reste putative dans la mesure où il n'y a pas de trace micro paléontologique de son existence.

**Au terme de cette quatrième étape apparaît, avec la membrane, une unité de vie : la cellule élémentaire. La membrane sépare dès lors deux milieux : Le milieu intracellulaire et le milieu ambiant. Pour se perpétuer, la vie organique s'isole de la vie minérale. Ces cellules acquièrent la qualité de se reproduire par scissiparité en dédoublant leur matériel génétique.**

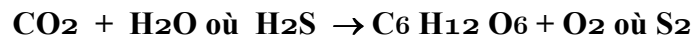
**5ème étape** - Ces premières cellules dont les plus lointains ancêtres sont les mycoplasmes n'avaient pas de noyaux, d'où leur nom de procaryote. Mais leur patrimoine génétique était contenu dans des molécules d'A.D.N. composées d'une double hélice de nucléotide dans laquelle l'Uracile de l'A.R.N. est remplacé par la Thymine et le ribose par le désoxyribose.

L'A.R.N. n'est donc plus le support de la mémoire génétique mais la matrice (répliquée sur une séquences d'A.D.N.) à partir de laquelle se fabriquent les protéines. Ces cellules initiales vivaient en anaérobie. L'oxygène libre apparaîtra plus tard comme nous le verrons. Les bactéries actuelles sont structurellement les descendantes de ces cellules originelles. Bien que leur structure soit simple leurs capacités fonctionnelles peuvent être très diverses.

Les premières bactéries (archéobactéries) devaient sans doute subsister en prélevant les substances nécessaires à leur survie dans la soupe pré biotique. Mais deux phénomènes convergeaient pour limiter ce mode vie. L'un était lié aux changements du milieu qui, s'éloignant des conditions physiques initiales, devenait moins apte à la synthèse de molécules organiques. L'autre était lié à la vie bactérienne elle-même qui, en raison du prélèvement "alimentaire", appauvissait le milieu ambiant en soupe pré biotique. L'adaptation s'est faite par la complication des systèmes enzymatiques et en particulier par l'apparition de systèmes capables de synthétiser des molécules organiques à fort pouvoir énergétique en utilisant l'énergie solaire comme énergie de synthèse. Tout s'est passé comme si l'énergie de proximité étant devenue insuffisante pour couvrir les besoins nutritifs des bactéries celles-ci avaient capté une énergie plus lointaine pour la transformer en matière énergétique consommable. De simple consommatrice de matériaux énergétiques qu'elle était, la biosphère est devenue aussi productrice.

C'est le mécanisme de photosynthèse qui vient de faire son apparition. Certaines bactéries possèdent des pigments (chlorophylle) capteurs de photons riches en énergie émis par le

soleil. Cette énergie photonique n'est pas utilisée directement. Elle déplace un des électrons de la chlorophylle sur une orbitale supérieure. En retombant sur son orbitale initiale il restitue l'énergie qu'il a reçue du photon. Cette énergie sera investie dans la réaction :



CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O (ou H<sub>2</sub>S) sont des molécules très stables qui sont transformées en hexose (glucose) Ces molécules électronégatives instables sont riches en énergie par accumulation d'électrons.

La source d'électrons a été en premier lieu H<sub>2</sub>S puis ensuite H<sub>2</sub>O. La conséquence de l'utilisation de ce deuxième réducteur a été l'accumulation progressive d'oxygène dans le milieu ambiant.

**Au terme de cette cinquième étape, on constate que les bactéries sont capables de synthétiser des molécules hautement énergétiques à partir de matériaux inertes en utilisant l'énergie solaire qui remplace en fait l'énergie de l'atmosphère terrestre devenue insuffisante pour entretenir la production suffisante de soupe pré-biotique. La conséquence de cette étape importante, qui a été franchie par l'apparition de la photosynthèse, a été l'accumulation d'oxygène**

**6ème étape** - Les cyanobactéries riches en pigments chlorophylliens et utilisant l'eau comme donneur d'électrons vont produire de plus en plus d'oxygène. Or celui-ci est toxique pour les cellules qui ne peuvent pas vivre en aérobie faute de systèmes adéquats. Les bactéries vont donc avoir le choix entre quatre destins : i) disparaître- ii) s'adapter en mettant en place des chaînes respiratoires à haut rendement énergétique- iii) Se réfugier dans des niches écologiques à l'abri de l'oxygène [bactéries telluriques -atmosphères soufrés]- iv) Enfin certaines bactéries vont coopérer formant une association de type "mise en commun de moyens".

Des bactéries, adaptées à la vie aérobie mais pauvres sur le plan enzymatique, vont pénétrer dans des cellules plus performantes de ce point de vue mais ne possédant pas de chaînes respiratoires. La vie en symbiose de ces deux types de cellules préfigure les cellules eucaryotes des organismes supérieurs qui sont conçues sur ce modèle. Les mitochondries de nos cellules sont en effet les descendantes lointaines de ces bactéries oxydantes "réfugiées". De même les bactéries "photosynthétisantes" vont se retrouver dans les cellules végétales sous forme de chloroplastes.

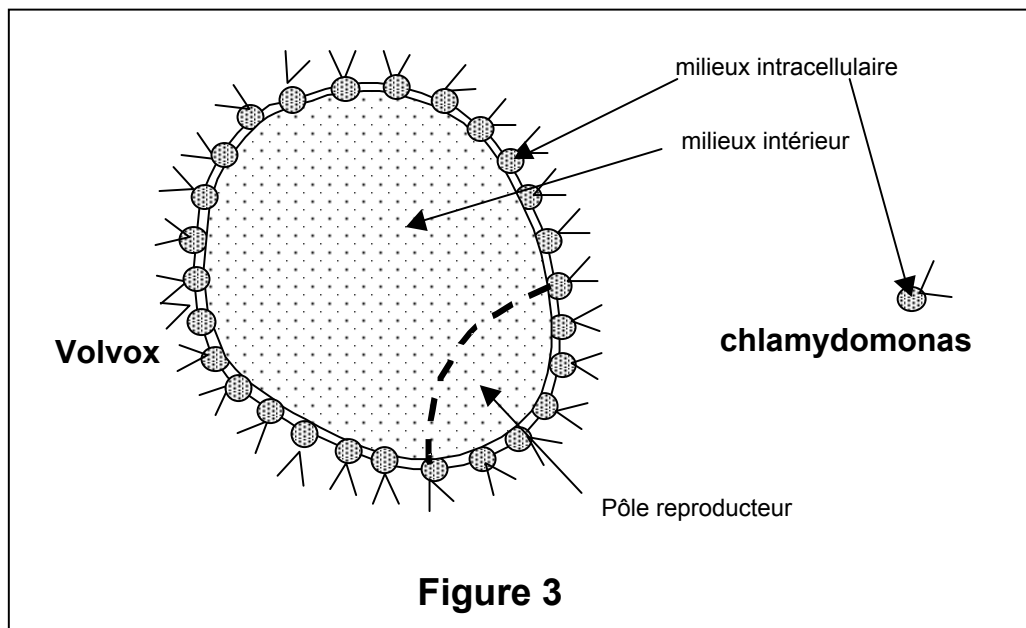
**Au terme de cette sixième étape la symbiose de bactéries aérobies et de bactéries non aérobies mais très compétentes sur le plan enzymatique aboutit à une cellule très performante. L'isolement du support du patrimoine génétique l'A.D.N. du reste du cytoplasme par une membrane achève l'évolution vers la cellule eucaryote avec l'apparition du noyau cellulaire qui isole la mémoire génétique du mécanisme de synthèse protéique.**

**7ème étape** - Les premières cellules eucaryotes sont isolées. Mais certaines vont se réunir en colonies (figure 3). On connaît des exemples actuels de cellules qui peuvent se retrouver soit sous forme individuelle soit en groupe cohérent. Ainsi Chlamydomonas (algue verte faite de cellules flagellées isolées) ressemble en tout point aux cellules qui composent les colonies Volvox

Si on prend l'exemple de cette colonie on constate qu'elle possède de façon très rudimentaire les quatre qualités qui caractérisent les organismes. A savoir:

- *Cohésion* : Il existe entre les cellules des ponts cytoplasmiques qui les unissent.
- *Communication* : Par ces ponts cytoplasmiques passent des messages humoraux entre les cellules de la colonie.
- *Coopération* : La communication intercellulaire permet de coordonner les mouvements ciliaires de chaque cellule pour obtenir une propulsion orientée de l'ensemble de la colonie.
- *Spécialisation* : Seules certaines cellules de Volvox regroupées à un pôle de la colonie sont aptes à donner naissance à d'autres Volvox. Il y a là une ébauche d'organe spécialisé dans la reproduction.

Aussi sophistiqués que soient les organismes des espèces animales supérieures, ils ne possèdent pas plus que ces quatre qualités fondamentales.



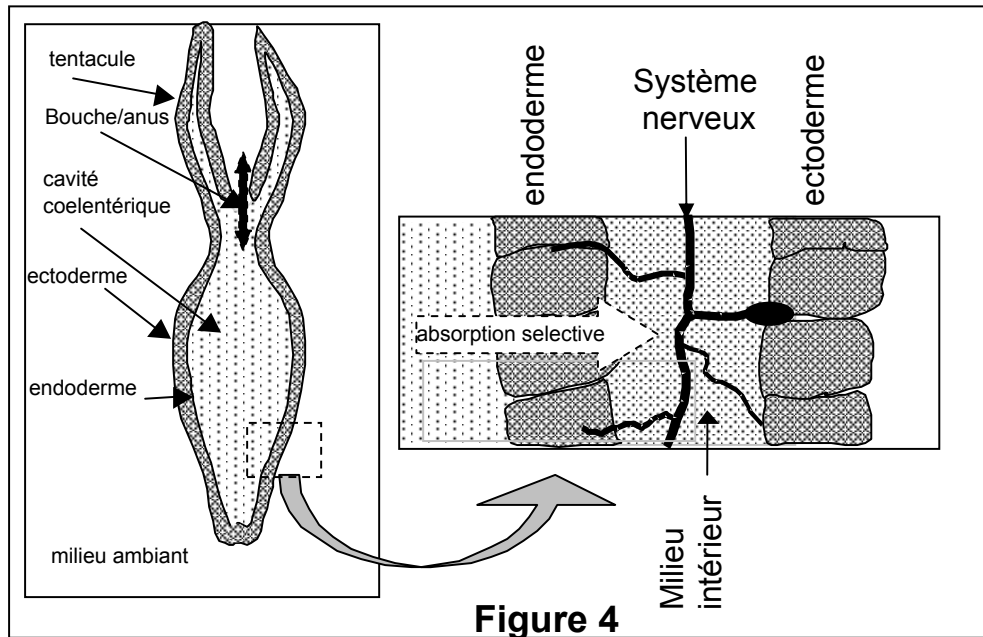
**Figure 3**

**Au terme de cette septième étape on voit apparaître des colonies cellulaires qui possèdent de façon rudimentaire les caractères d'un organisme. En plus du milieu ambiant et du milieu intracellulaire apparaît un troisième compartiment extracellulaire mais intra organisme : le milieu intérieur.**

**8ème étape** - Les protozoaires unicellulaires pouvaient, en raison du rapport entre leur volume et leur surface d'échange membranaire, prélever directement dans le milieu ambiant les éléments nutritifs nécessaires à leur métabolisme. Le développement des organismes pluricellulaires s'accompagne d'une augmentation du nombre de cellules, donc d'une augmentation de leur volume. Mais alors que le volume augmente selon une progression cubique, la surface d'échange ne suit que la loi des carrés. Ceci conduit inéluctablement à une inadéquation fonctionnelle entre le volume "à nourrir" et la surface de prélèvement nutritif.

Dès lors vont apparaître des systèmes capables d'assimiler, non pas la totalité du milieu ambiant, mais des extraits sélectionnés de celui-ci (système digestif et ventilatoire). Les substances absorbées et les gaz vont être véhiculés rapidement par des systèmes circulatoires. Systèmes de canalisations sans pompe au début (système circulatoire lymphatique) ou avec

pompe ensuite (système circulatoire sanguin). De même vont se mettre en place des systèmes d'évacuation de déchets (intestin - reins). Ces organes spécifiques cavitaires sont limités par des enveloppes épithéliales. On distingue les tissus épithéliaux qui séparent le milieu intérieur du milieu ambiant (ectoderme) et les tissus endothéliaux qui séparent le milieu intérieur des extraits de milieu ambiant circulant dans l'organisme (endoderme). Les barrières endothéliales, sélectivement perméables, jouent un rôle équivalent pour l'organisme à celui que joue la membrane pour les cellules. L'exemple de l'hydre, illustré par la figure 4, permet de bien situer les choses. Enfin, des tissus voués au transfert d'informations conduisent des messages entre les organes et entre les organes et le milieu extérieur (systèmes nerveux et hormonal).



**Au terme de cette huitième étape, des organismes rudimentaires ayant une organisation générale diversifiée comparable à celle des espèces supérieures apparaissent.**

Le reste de l'histoire est celle de l'évolution de ces organismes et de leur perfectionnement, elle est hors de notre propos d'autant que les théories de l'évolution des espèces, admises depuis fort longtemps et en particulier l'hypothèse de Darwin, sont sur certains points, remises en question actuellement.

## B) Les fonctions métaboliques et leur contrôle

### 1) Organisation générale

La complexité des tâches que les organismes doivent accomplir pour s'adapter à leur milieu de vie a donc conduit à la différenciation fonctionnelle de certaines cellules regroupées en organes spécialisés. On peut différencier six grandes fonctions organiques dont l'étude appartient classiquement au domaine de la physiologie :

- La fonction de nutrition : système digestif
- La fonction de ventilation : poumons
- La fonction d'élimination : appareil urinaire et sudoral- intestin

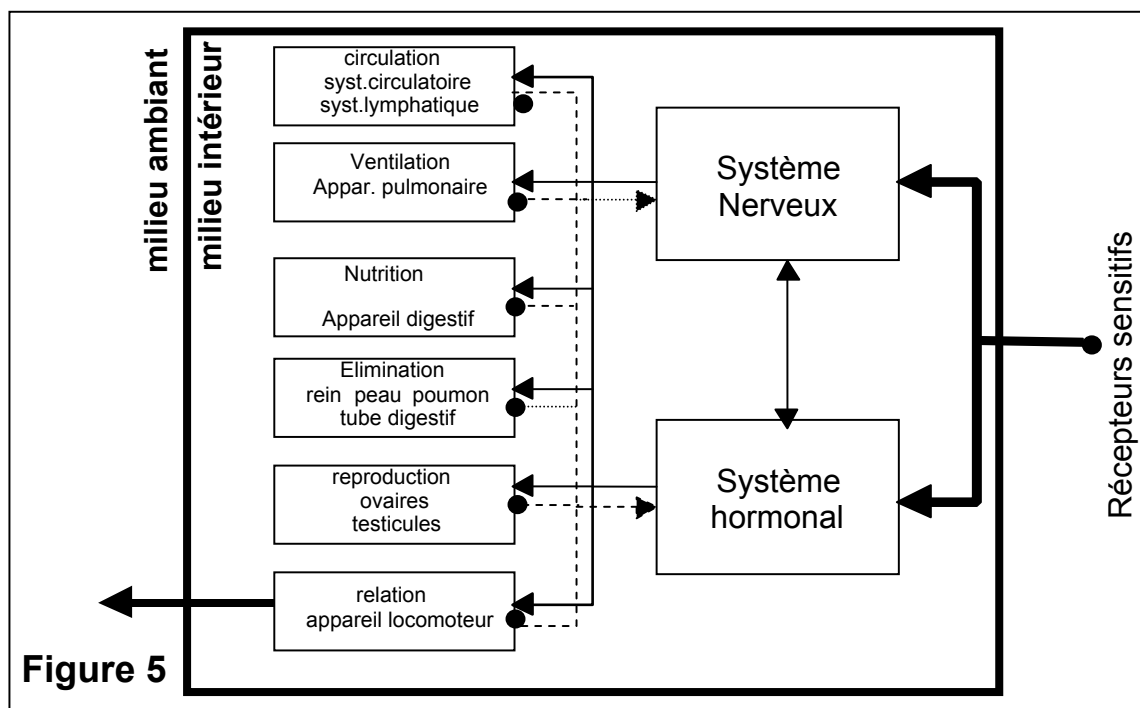
- La fonction de transport : systèmes circulatoires sanguin et lymphatique
- La fonction de reproduction : appareils génitaux mâle ou femelle
- La fonction de relation : appareil locomoteur

De toutes ces fonctions représentées sur l'organigramme de la figure 5, seule la fonction de relation a la possibilité d'agir dans et sur l'environnement : déplacements, actions mécaniques...

Le but de toutes ces fonctions spécialisées est d'assurer la cohésion et la survie de l'organisme. Elles doivent fonctionner en coopération harmonieuse et en cohérence avec l'état du milieu ambiant. Pour ce faire, des systèmes de coordination sont nécessaires comprenant des centres de commandes et des voies de transfert d'informations.

Les deux systèmes d'information et de contrôle sont :

- Le système nerveux.
- Le système hormonal.



Sur cet organigramme, on voit que les deux systèmes régulateurs reçoivent des informations en provenance :

- Du milieu intérieur en général (hydratation- température.....)
- Des organes contrôlés eux-mêmes.
- Du milieu ambiant.

Ces informations sont captées par des récepteurs spécifiques situés dans l'organisme ou sur sa surface.

## 2) Les mécanismes de contrôle

### a) Définition de l'homéostasie

L'homéostasie est la tendance qu'ont les organismes vivants à maintenir constants leurs paramètres biologiques face à certaines dérives naturelles du milieu intérieur et aux modifications du milieu extérieur.

Les différents paramètres qui mesurent les constantes physico-chimiques sont maintenus stables grâce à l'intervention de mécanismes régulateurs et /ou adaptateurs. Les différents paramètres dont nous aborderons les régulations sont :

- La pression artérielle (homéostasie circulatoire)
- Le pH du milieu intérieur (homéostasie acido-basique)
- La température interne (homéostasie thermique)
- La composition du milieu intérieur (homéostasie hydro minérale et métabolique)

## b) Modèles cybernétiques des mécanismes de contrôle

Les différents organes et les grands systèmes de l'organisme ne fonctionnent pas indépendamment les uns des autres. Ils concourent, par leurs réactions coordonnées et cohérentes, à maintenir celui-ci à son niveau de fonctionnement optimum. L'organisme fonctionne globalement comme un homéostat.

Les mécanismes de contrôle mis en jeu sont complexes et on a recours, pour mieux comprendre leur fonctionnement, à l'utilisation de modèles.

Les représentations sous forme de schémas cybernétiques sont en particulier très utiles pour expliquer les mécanismes de l'homéostasie. On rappelle que la cybernétique se définit comme "la science des systèmes". Un système étant lui-même défini comme un ensemble d'éléments en interaction dont le tout comporte des propriétés que les éléments isolés ne possèdent pas. Les interactions entre les éléments pouvant se faire par des échanges de matière, d'énergie ou d'information.

Remplaçons : système par organisme- éléments par organe- Connectons les organes par des messages nerveux ou hormonaux et nous reconstituons un modèle cybernétique de notre organisme.

L'homéostasie est contrôlée par deux types de mécanismes régulateurs : les régulateurs en constance et les régulateurs en tendance. Ils sont constitués tous deux par un système réglé et un système réglant.

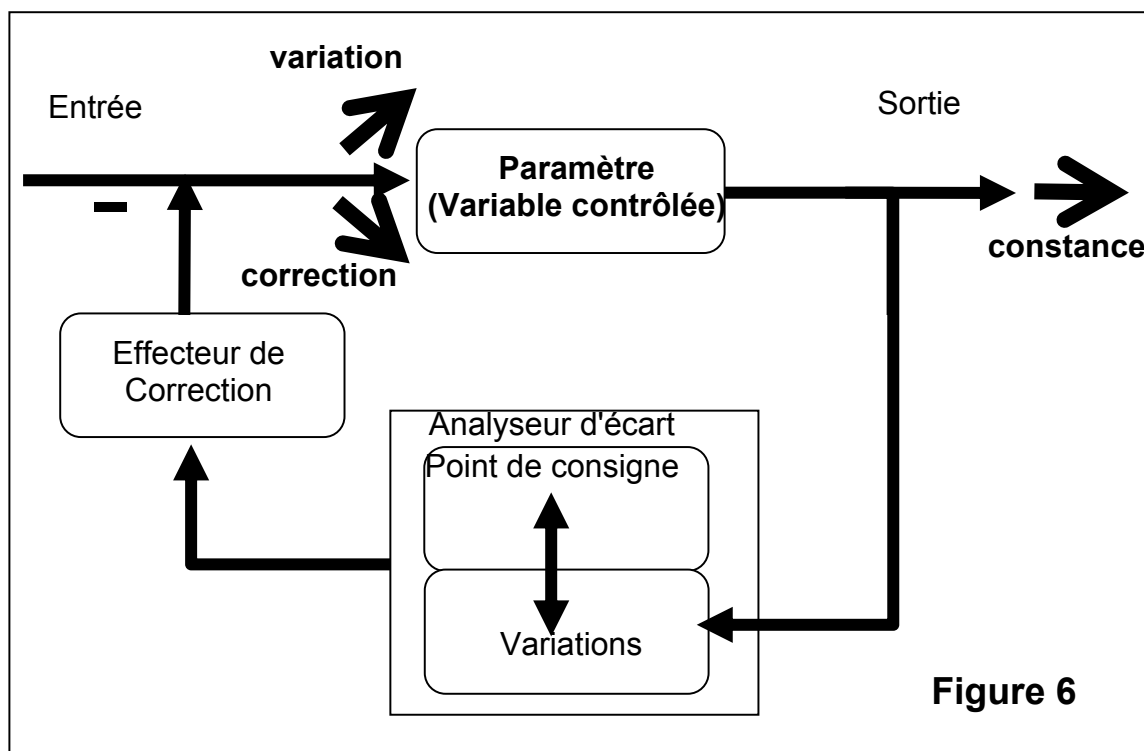


Figure 6