

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA

FACULTE SNV/STU

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT

Polycopié de cours pour la 3^{ème} année Licence Ecologie et Environnement

Ecophysiologie animale

Présenté par: Dr. RAMDANI Kamel

Année universitaire: 2022/2023

SYLABUS

Semestre 5

Unité d'enseignement Transversale 1 (UET 3.1.1)

Matière 1 : Ecophysiologie animale

Crédits : 1

Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement

Comprendre comment les animaux s'adaptent à leur environnement par les moyens physiologiques et comportementaux et comment leurs capacités physiologique influencent leur distribution dans l'espace et dans le temps.

Connaissances préalables recommandées

Biologie animale, biologie cellulaire, écologie générale

Contenu de la matière : Ecophysiologie animale

Chapitre I : Facteurs écologiques et leurs influences sur les êtres vivants

1.1. Notions des facteurs limitants

- Loi du minimum
- Loi de tolérance

2.2. Adaptation aux facteurs de l'environnement

- Sélection naturelle
- Adaptation écologique

Chapitre II : Classification des facteurs écologiques et leurs rôles

2.1. Notions de variables fondamentales

2.2. Les principaux facteurs limitants

- Les facteurs abiotiques
- Les facteurs biotiques
- Interaction et effets combinés des différents facteurs écologiques

Chapitre III : Homéostasie et régulation

3.1. Mécanismes homéostatiques

3.2. Osmorégulations

- Généralités
- Osmorégulation chez les animaux aquatiques
- Osmorégulation chez les animaux terrestres

3.3. Excrétion

- Chez les invertébrés
- Chez les vertébrés

Chapitre IV : Le contrôle hormonal

4.1. Influence des facteurs sociaux

4.2. La glande pinéale

4.3. La photopériode

Mode d'évaluation : Examen semestriel (100%)

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION A L'ECOPHYSIOLOGIE ANIMALE	01
CHAPITRE I. LES FACTEURS ECOLOGIQUES ET LEURS INFLUENCES SUR ETRES VIVANTS	04
1.1. Définition de facteur	04
1.2. Relation entre les facteurs du milieu	04
1.3. Notion des facteurs limitants	04
1.3.1. La loi du minimum (Liebig)	04
1.3.2. La loi de tolérance	05
1.4. Valence écologique	06
1.5. Compensation de facteurs	07
1.6. Adaptation, acclimatation et naturalisation	07
CHAPITRE II. CLASSIFICATION DES FACTEURS ECOLOGIQUES ET LEURS RÔLES	08
2.1. Classification des facteurs écologiques	08
2.1.1. Selon l'origine	08
2.1.2. Selon la densité	08
2.1.3. Selon l'espace (<i>Spatiale</i>)	09
2.1.4. Selon le temps (<i>Temporelle</i>)	09
2.2. Les principaux facteurs limitants	09
2.2.1. Les facteurs abiotiques	09
2.2.1.1. Les facteurs climatiques	09
2.2.1.2. Les facteurs édaphiques	14
2.2.1.3. Les facteurs topographiques	17
2.2.2. Les facteurs biotiques	18
2.2.2.1. Les réactions homotypiques	18
2.2.2.2. Les réactions hétérotypiques	19
CHAPITRE III. HOMEOSTASIE ET REGULATION	21
3.1. Définition	21
3.2. Mécanismes homéostatiques	21
3.2.1. Conformité et régulation	21

3.2.2.	Rôle du milieu intérieur	22
3.2.3.	Intérêt physiologique de l'équilibre du milieu intérieur	23
3.2.4.	Volumes des milieux intérieurs	23
3.3.	Osmorégulation et excrétion	24
3.3.1.	Les organes d'osmorégulation	24
3.3.2.	Osmorégulation chez les animaux aquatiques	25
3.3.2.1.	Les espèces isosmotiques	25
3.3.2.2.	Les espèces hypoosmotiques	25
3.3.2.3.	Les espèces hyperosmotiques	25
3.3.2.4.	Les hyper – hypoosmorégulateurs	25
3.3.3.	Osmorégulation chez les animaux terrestres	26
3.3.3.1.	Excrétion et économie d'eau	26
3.3.3.2.	Mécanismes régulateurs	27
3.4.	Physiologie de l'excrétion	27
3.4.1.	Chez les invertébrés	27
3.4.1.1.	Les systèmes néphridiens	28
3.4.1.2.	Les tubes de Malpighi	28
3.4.2.	Chez les vertébrés	30
3.4.2.1.	Fonctionnement rénal	30
3.4.2.2.	Limitation des pertes urinaires	31
3.5.	Hémostasie et circulation sanguine	32
3.5.1.	Physiologie de la circulation	32
3.5.2.	Appareil circulatoire sanguin	34
3.5.2.1.	Le cœur	34
3.5.2.2.	Structure	34
3.5.2.3.	Fonctionnement	34
3.5.2.4.	Cœur et volume d'éjection	36
3.5.2.5.	Taille du cœur des vertébrés	36
3.5.2.6.	Fréquence cardiaque	37
3.5.2.6.	Débit cardiaque	38
	CHAPITRE IV. CONTROLE HORMONAL	39
4.1.	Lumière	39
4.2.	La photopériode	40

4.3.	Glande pinéale	42
4.4.	Organisation	42
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46

Liste des figures

N°	Titre	Page
1.1.	Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié. (L'abondance de l'espèce est maximale au voisinage de l'optimum écologique).	06
3.1.	Fluctuations environnementales et fluctuations physiologiques.	22
3.2.	Organisation générale des systèmes liquidiens chez les métazoaires.	23
3.3.	Relations osmotiques chez les vertébrés : apports alimentaires, les animaux ne boivent pas ou peu. NaCl : mouvements actifs (NaCl) : réabsorption rénale. Colonne de gauche : animaux à perméabilité tégumentaire élevée. Colonne de droite : animaux à perméabilité tégumentaire basse.	26
3.4.	A : Organisation générale des systèmes rénaux des invertébrés (néphridies) par rapport à celle des vertébrés (néphrons). D'après Florey 1969, modifié. B : Systèmes protonéphridiens. 1 : Cellules à flamme vibratile (tubellariés a, cestode b) et cellule à flagelle, solénoocyte (polychètes c). D'après Hoar 1975, modifié. 2 : Systèmes protonéphridien de la planaire (cellule à flamme vibratile). D'après Schmidt-Nielsen 1983, modifié. 3 : Système protonéphridien de l'amphioxus (solénoocytes). D'après Florey 1969, modifié.	28
3.5.	A : Représentation schématique du système excréteur d'un insecte : 4 tubes de Malpighi s'étendant très loin dans la cavité générale s'abouchent à l'entrée du rectum, à la fin du tube digestif (D'après Schmidt-Nielsen 1983). B : Sécrétion et réabsorption d'eau et d'ions au niveau des tubes de Malpighi et du rectum chez le criquet (D'après Hoar 1975). C : Système cryptonéphridien de <i>Tenebrio molitor</i> (D'après Eckert et Randall 1983).	29
3.6.	Structure du rein de mammifère. A : Structure générale chez différentes espèces : rein unipyrmidiaire (1 : lapin) et pluripyrmidiaires (2, en grappe : cétacé - 3, à lobulation corticale : bœuf - 4, lisse : homme). B : bassinnet, C : calice, P : pyramide, U : uretère, La partie corticale apparaît en bleu. D'après Beaumont et Cassier 1987, modifié. B : Organisation schématique d'un rein humain. C : Néphrons corticaux (courts) et juxta-médullaires (longs), (Cassier, 1987).	31
3.7.	Organisation du cœur des mammifères. A : Propagation de l'excitation. B :	35

	Valves mitrales et semi-lunaires: bruits du cœur. A: contraction des oreillettes, le sang passe dans les ventricules. B: contraction des ventricules, les valves mitrales se ferment occasionnant le 1 ^{er} bruit du cœur. La pression monte dans le ventricule (C) provoquant l'ouverture des valves semi-lunaires (D) et le passage du sang dans l'artère aorte et l'artère pulmonaire. E: la pression baisse dans le ventricule, devient inférieure à celle existant dans les artères, ce qui provoque la fermeture des valves semi-lunaires, occasionnant le 2 ^{ème} bruit du cœur. F: période de relaxation et de remplissage des oreillettes. G: le cycle recommence. D'après Florey 1968.	
3.8.	Masse du cœur en fonction de la masse du corps. La première est presque proportionnelle à la seconde. Le cœur représente 0,6 % de la masse du corps, chez les petits Mammifères comme chez les grands. Tout un ensemble de Promates ont montré des résultats tout à fait comparables aux autres représentants de la classe (Stahl, 1965).	37
3.9.	Relation entre le rythme cardiaque et la masse du corps chez différents mammifères.	38
4.1.	Fluctuation du flux solaire en fonction de la latitude aux solstices d'hiver et d'été aux équinoxes. D'après Lemée, Précis.	39
4.2.	Schéma représentant les variations relatives de la scotophase et de la photophase en été et en hiver.	40
4.3.	Migration verticale selon un rythme circadien d'un copépode zooplanctonique <i>Calanus finmarchicus</i> , en mer du Nord. A chaque niveau est précisé le nombre d'individus, en pourcentage des captures totales pour l'heure considérée. Les points correspondent aux pêches nulles. Remarquer l'influence du nyctémère sur les migrations. D'après Nichools, in Bougis, Le plancton, 1967.	41
4.4.	Rôle de la photopériode dans l'apparition des formes sexupares, sexuées et migrantes, des puserons.	42
4.5.	Libération de neuro-hormones au niveau de la neurohypophyse.	44
4.6.	Représentation fonctionnelle (très schématique) d'un axe hypothalamo-hypophysaire.	44
4.7.	Le système porte hypothalamo-hypophysaire (SPHH) permet la transmission d'informations depuis l'hypothalamus jusqu'à	45

	l'adénohypophyse. Ces informations sont véhiculées sous forme de neuro-hormones, sécrétées par les neurones hypothalamiques, et captées par les cellules endocrines de l'hypophyse antérieure.	
4.8.	Représentation fonctionnelle de l'axe gonadotrope chez l'homme.	45

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
3.1.	Evaporation tégumentaire chez différentes espèces.	27
3.2.	Caractéristiques physiologiques liées aux économies en eau du dromadaire et quelques espèces.	32
3.3.	Les grandes caractéristiques des systèmes clos et ouverts.	34
3.4.	Taille du cœur des différentes classes de vertébrés.	36

INTRODUCTION A L'ECOPHYSIOLOGIE ANIMALE

I. Notions et définitions

1. Notion de Biosphère

La biosphère peut se définir de la façon la plus simple comme la région de la planète dans laquelle la vie est possible en permanence et qui renferme l'ensemble des êtres vivants. En effet, toute la surface du globe terrestre n'est pas également favorable à la vie. On y rencontre des territoires comme les calottes polaires où aucun végétal ne peut se développer et où l'on ne recueille que de rares spores de bactéries et de champignons. Certains vertébrés supérieurs (Oiseaux en migration, par exemple) peuvent y faire des incursions, mais ne peuvent en aucun cas s'y établir de façon permanente. De telles zones marginales ont été dénommées parabiosphériques.

La biosphère peut se subdiviser en trois compartiments de nature physique différente :

- La *lithosphère*, représente les couches les plus superficielles de l'écorce terrestre (milieu solide constitué par l'ensemble des continents plus les divers constituants géologiques du substrat solide des océans et des mers) ; le sol n'est habité que sur quelques mètres de profondeur au maximum ;
- L'*hydrosphère* (les océans, fleuves et rivières,...et.), milieu liquide qui recouvre les sept-dixièmes de la surface planétaire. Elle s'étend jusqu'aux plus profondes fosses abyssales (soit 11000 m) ;
- L'*atmosphère*, couche gazeuse homogène, constitue la zone la plus périphérique de notre planète et enveloppe les deux précédents compartiments. Des oiseaux peuvent se rencontrer jusqu'à 8000 m d'altitude.

2. Notion d'Ecosystème

Un écosystème correspond au plan structural à l'association de deux composantes en constante interaction l'une avec l'autre : un environnement dénommé biotope (milieu de vie), de nature abiotique, dont les caractéristiques physiques et dont la localisation géographique sont bien définies, associé à une communauté vivante, caractéristique de ce dernier, la biocénose (êtres vivants comprenant les phytocénose et les zoocénose), d'où la relation.

Ces deux ensembles interagissent entre eux pour générer un système organisé et fonctionnel : l'écosystème. Un écosystème est un système ouvert et il se caractérise par une homogénéité botanique, zoologique, édaphique, géomorphologique et climatique. C'est un ensemble de taille variable dont la définition peut s'appliquer à n'importe quel milieu depuis une souche d'arbre mort ou une flaque d'eau (micro-écosystème), une forêt (més-

écosystème), ou bien un océan (macro-écosystème). Un écosystème complet contient des producteurs, des consommateurs et des décomposeurs.

3. Biocénose : C'est un groupe d'organismes qui sont réunis par l'attraction qu'exercent sur eux les facteurs du milieu. Ils existent des groupes ou dans ce groupe d'organismes des liens d'interdépendance et il se caractérise par une composition spécifique déterminée, c'est la composition en espèce.

4. L'individu : C'est l'objet immédiatement accessible au naturaliste. Perçu tout d'abord comme une entité isolée, l'individu n'a de sens qu'au travers des relations qui le lient à la fois aux autres individus et aux divers facteurs physico-chimiques de l'environnement.

5. Espèce : Groupe d'individus du même genre ayant entre eux des caractères génétiques communs, pouvant se reproduire entre eux pour donner une descendance qui leur ressemble et qui est féconde.

6. La population : C'est l'ensemble des individus appartenant à une même espèce qui vivent dans un milieu donné à un moment donné. Les limites de cette population sont définies par les niveaux de perceptions de l'étude. C'est l'unité fondamentale du système écologique.

7. La communauté : Correspond à l'ensemble des populations d'individus appartenant à différentes espèces dans un même écosystème et présentant entre elles des interactions souvent complexes.

8. Peuplement : C'est l'ensemble de populations taxonomiquement voisines qui vivent dans un endroit donné à un moment donné. Le peuplement est fonctionnel car les populations qui le constituent se sont interconnectées. Un peuplement se caractérise par sa dynamique et sa structure, sa composition et sa structure ne sont pas figées et donc se modifient sous la pression de l'environnement (Exemple: peuplement d'oiseaux).

II. Domaines de l'Ecologie

1. Autoécologie (*Ecophysiologie*) : S'intéresse aux rapports qu'entretient une espèce particulière avec son milieu de vie; elle définit l'influence des facteurs de l'environnement sur les caractéristiques biologiques (aspects comportementaux, physiologiques et morphologiques) de l'espèce.

2. Démécologie (*Ecologie de la population*) : S'attache à analyser les lois régissant les populations en traitant de leur répartition spatiale, de densité, de taux de natalité et de mortalité, d'interdépendance et d'évolution.

3. Synécologie (*Ecologie des communautés*) : C'est une science qui analyse les rapports entre les individus appartenant aux diverses espèces d'un groupement et leur milieu. Elle

permet de comprendre comment l'énergie circule, se transforme et se dégrade au sein de la biosphère.

4. Dynécologie (*Ecologie des habitats dynamiques*) : C'est une science qui évalue et mesure le potentiel de changement et d'interaction mutuelle des unités écologiques (populations, communautés, écosystèmes) et les situe dans la dynamique du paysage.

III. Définition de l'écologie : Haeckel définissait l'écologie comme « La science globale des relations des organismes avec leur monde extérieur environnant ». A partir de cette définition, l'écologie est devenue « La science qui étudie la structure et le fonctionnement des écosystèmes ». C'est aussi l'étude des processus se produisant à différents niveaux d'organisation : Organisme, population, communauté et écosystème.

IV. Définition de la physiologie animale : C'est l'étude des fonctions des animaux : comment ils se nourrissent, se respirent, se déplacent et se maintiennent en vie. C'est-à-dire, la physiologie traite la nutrition, la digestion, la circulation, la respiration, la reproduction qui représentent avec d'autres appareils, les majeures fonctions physiologiques qui permettent aux animaux de rester en vie.

V. Définition de l'Ecophysiologie : C'est une science pluridisciplinaire, qui s'intéresse à l'influence des facteurs écologiques sur les fonctionnements physiologiques, éthologiques, adaptatifs ou régulateurs.

À l'interface entre l'écologie et la physiologie, et recouvrant des disciplines telles que le comportement et la morphologie. Elle peut se définir comme étude de la structure et du fonctionnement de systèmes biologiques en conditions normales, et des capacités de résistance et d'adaptation des organismes aux changements de l'environnement, qu'ils soient naturels ou d'origine anthropique.

CHAPITRE I

LES FACTEURS ECOLOGIQUES ET LEURS INFLUENCES SUR LES ETRES VIVANTS

1.1. Définition de facteur écologique : Tout élément de du milieu susceptible d'agir directement ou indirectement sur les êtres vivants au moins durant une phase de leur cycle de développement.

1.2. Relation entre les facteurs du milieu

Les facteurs écologiques sont très nombreux et entre lesquels existent des influences et relations (interactions). Ainsi les facteurs du milieu n'agissent pas isolément. C'est un complexe de facteurs qui agissent sur ensemble des êtres vivants et sur les communautés. Cependant, souvent l'action d'un seul facteur apparaît comme décisive. Il est évident que lorsqu'on étudie un écosystème, l'analyse des relations entre les différents facteurs écologiques et leur action dans le milieu est fondamentale. Les quatre groupes de facteurs nommés ci-dessus sont tellement inter-reliés qu'il est difficile d'isoler l'influence de chaque facteur séparément. Exemple : les facteurs climatiques et topographiques conjuguent leurs effets sur le développement des sols.

1.3. Notion des facteurs limitants

Un facteur écologique est limitant lorsqu'il est absent ou réduit au-dessous d'un minimum critique, ou encore s'il excède un niveau maximum tolérable, limite (stoppe) le fonctionnement physiologique de l'organisme.

La notion de facteur limitant s'applique donc non seulement aux divers éléments indispensables aux organismes vivants, comme dans la loi de Liebig, mais aussi à tous les facteurs écologiques et cela aussi bien pour leur limite inférieure que supérieure. Chaque organisme présente donc vis-à-vis des divers facteurs écologiques qui constituent son environnement des limites de tolérance entre lesquelles se trouve son optimum écologique.

1.3.1. La loi du minimum (Liebig)

En 1840, Justus Liebig, réalise des expériences sur l'influence de plusieurs facteurs de la production de céréales. Une des conclusions importantes de ses recherches est que toute production est souvent limitée par des éléments nutritifs nécessaires à des doses réduites plutôt que des éléments requis à de fortes doses tels le carbone et l'eau. De ces expériences résultent la loi du minimum suivante « la croissance des végétaux est limitée par l'élément dont la concentration est inférieure à une valeur minimum en dessous de laquelle les synthèses ne peuvent plus se faire ». C'est le cas par exemple du bore qui se trouve en très

faible quantité dans le sol et qui, une fois épuisé, entraîne l'arrêt de la croissance malgré l'abondance des autres éléments.

1.3.2. La loi de tolérance

Une étape importante dans l'étude des facteurs écologiques est franchie en 1930 quand Shelford propose ses lois de tolérance. Selon l'auteur pour chaque facteur, une espèce présente des seuils minima et maxima de tolérance. Entre ces deux extrêmes se situe l'optimum. L'amplitude de tolérance peut être représentée par une courbe gaussienne c'est à dire en cloche.

A partir de ces notions, minimum, maximum et optimum, l'auteur définit un facteur limitant comme suit « un facteur écologique joue un rôle de facteur limitant, lorsqu'il est absent ou réduit en dessous d'un minimum critique ou excède le niveau maximum tolérable ». C'est la loi de tolérance

Un exemple classique de facteur limitant par défaut est l'eau dans les régions aride. La salure est considérée comme facteur limitant par excès. Elle exerce une sélection des espèces les plus halophytiques jusqu'à un certain seuil où aucune espèce ne peut croître. Shelford précise que les facteurs du milieu sont généralement limitant lors des étapes reproductives des cycles de vies des espèces.

Shelford a montré que la période de reproduction des espèces de coléoptères (cicindèles) est celles où leurs exigences sont les plus précises (il faut que les œufs soient déposés dans un sol poreux, sableux, contenant peu d'humus, la T et la teneur en eau soient comprises entre des limites assez étroites, dans une zone ombragée entourée de petits cailloux). La femelle exige un endroit favorable sinon elle ne pond pas ou bien les jeunes larves ne survivent pas. Dans cet exemple les facteurs limitants sont divers (climatique, édaphique, physique et hydrique) et afin d'assurer la survie de la progéniture, la conjugaison de ces facteurs permet d'obtenir pour l'espèce considérée son optimum écologique.

Par ailleurs, il est important de noter qu'il existe pour chaque espèce un optimum physiologique qui est réalisé au laboratoire en l'absence de compétiteurs. Quant à l'optimum écologique, il est atteint dans le milieu naturel où vit l'espèce et peut changer selon les pressions du milieu et les compétitions avec d'autres espèces (Figure 01).

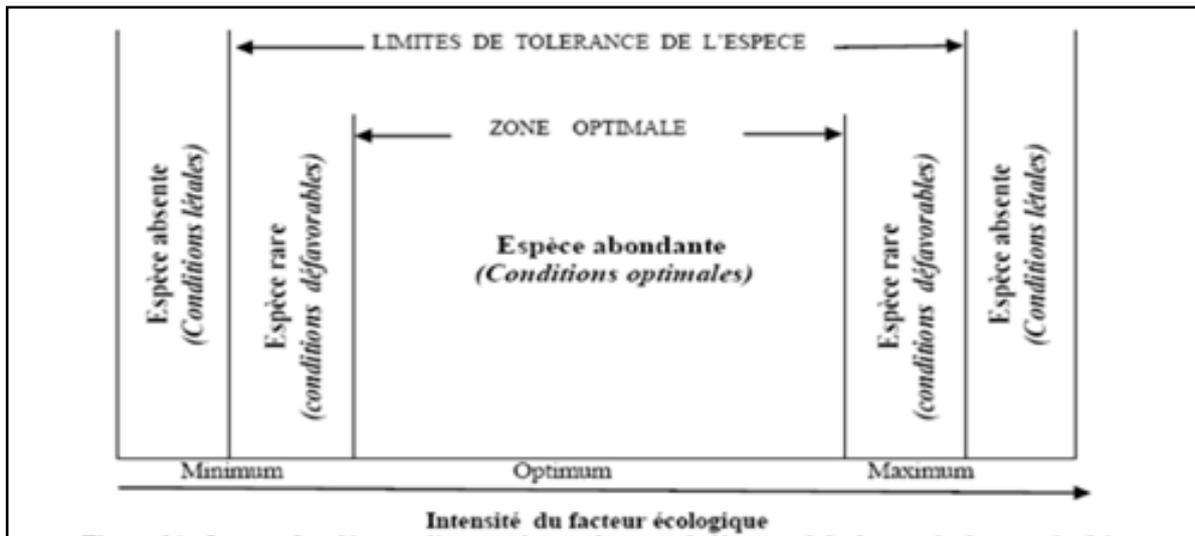


Figure 1.1. Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié. (L'abondance de l'espèce est maximale au voisinage de l'optimum écologique).

1.4. Valence écologique

La valence écologique est la possibilité que présente une espèce pour vivre dans un milieu donné caractérisé par des variations plus ou moins grandes des facteurs écologiques. De plus la valence écologique varie chez une même espèce suivant le stade de développement.

Une série de termes relatifs à la tolérance des espèces est devenue d'usage en écologie. Ces termes utilisent le préfixe grec « Steno » pour désigner une faible amplitude de tolérance et le préfixe grec « Eury » pour désigner une large amplitude de tolérance.

Quelques exemples des termes les plus utilisés pour désigner les facteurs écologiques :

Facteur écologique	Large amplitude écologique	Faible amplitude écologique
Température	Eurythermique	Stenothermique
Eau	Euryhydrique	Stenohydrique
Salinité	Euryhalin	Stenohalin
Nourriture	Euryphagique	Stenophagique
Sol	Euryédaphique	Stenoédaphique
pH	Euryionique	Stenoionique

Les espèces présentant de larges amplitudes de tolérance pour divers facteurs sont celles ayant une large distribution. Ce sont des espèces cosmopolites et qui croissent dans différents milieux.

1.5. Compensation de facteurs

Les facteurs écologiques agissent simultanément et présentent des interactions qui peuvent modifier les limites de tolérance des espèces vis à vis de ces facteurs. Ainsi, les communautés végétales présentent à des degrés variés une plasticité écologique leur permettant de s'adapter aux fluctuations temporelles et spatiales des facteurs limitant du milieu. Il y a une réaction compensatrice à ces fluctuations temporelles et spatiales des facteurs limitants du milieu. Un exemple très parlant est illustré par la distribution de l'alfa, *Stipa tenacissima*, qui présente une aire géographique considérable. En effet, on la retrouve depuis l'étage bioclimatique semi-aride jusqu'à l'étage saharien ; son optimum de précipitation se situe autour de 400mm/an. Dans l'étage semi-aride avec une précipitation qui varie entre 300 et 600 mm/an, l'alfa pousse sur les pentes bien drainées. Dans l'étage saharien avec 100 mm/an, l'alfa pousse au niveau des bas de pente. Il y a compensation de facteurs où dans le premier cas le surplus de pluie est éliminé par la pente, alors que dans le deuxième cas le manque d'eau est compensé par les collecteurs d'eau.

1.6. Adaptation, acclimatation et naturalisation

La Physiologie d'un animal est généralement :

- parfaitement associée à l'environnement qu'il occupe
- Résultat d'une **évolution** par sélection naturelle conduisant à l'**adaptation** ⇒ maximisation des chances de survie ;

Adaptation : processus extrêmement lent (milliers de générations), généralement irréversible. C'est l'ajustement de la morphologie, de la physiologie et du comportement d'une espèce aux conditions particulières du milieu.

Naturalisation c'est un phénomène réversible: adaptation rapide à des changements produits expérimentalement en laboratoire

Acclimatation : changement physiologique, biochimique ou anatomique de chaque animal, résultat d'une exposition chronique de l'animal à des conditions nouvelles de l'environnement c'est un phénomène réversible.

CHAPITRE II

CLASSIFICATION DES FACTEURS ECOLOGIQUES ET LEURS RÔLES

L'étude des mécanismes d'actions des facteurs écologiques (écologie factorielle), est une étape importante pour la compréhension du comportement et des réactions des organismes, des populations et des communautés face à leurs milieux. Les facteurs écologiques ne vont pas agir isolément, mais ils vont avoir une répercussion directe sur les êtres vivants qui vivent dans un biotope donné.

2.1. Classification des facteurs écologiques

2.1.1. Selon l'origine

2.1.1.1. Les facteurs abiotiques

- *Facteurs climatiques* : lumière, température, eau, composition de l'atmosphère, vents et perturbations atmosphériques ;
- *Facteurs édaphiques* : *Facteurs physiques* : texture (granulométrie), structure (compacité et aération du sol), stabilité, hydratation ; *facteurs chimiques* : pH, teneur en calcaire, nitrates, salure, carences en certains éléments ;
- *Facteurs topographiques* : altitude, pente, configuration du terrain.

2.1.1.2. Les facteurs biotiques

- Facteurs liés à la présence des végétaux : microflore du sol, maladie cryptogamique, concurrence entre plantes d'une même espèce ou d'espèces différentes ;
- Facteurs liés aux animaux : prédateurs, mécanisme de pollinisation et de dissémination ;
- Action de l'homme et des animaux domestiques : défrichage, abattage des forêts, feux, pâturage, pollution de différentes sortes.

2.1.2. Selon la densité

- *Facteurs indépendants de la densité ou densité indépendant* : qui exercent leurs effets sur les individus pris isolément de façon indépendante de la densité de la population à laquelle ils appartiennent (presque tous les facteurs physico-chimiques appartiennent à cette catégorie). Exemple : Une vague de froid tuera dans une population un pourcentage d'individus qui n'est pas fonction de leur densité.
- *Facteurs dépendants de la densité ou densité dépendant* : qui sont essentiellement des facteurs biotiques. Exemples : la nourriture, la prédation, la compétition et le parasitisme qui exercent des effets qui sont fonction de la densité de la population.

2.1.3. Selon l'espace (*Spatiale*)

Cette classification tient compte de la nature du milieu dans lequel ils exercent leur action. Nous avons :

- *Facteurs climatiques* : qui sont propres à l'atmosphère.
- *Facteurs édaphiques* : qui concernent les caractères physico-chimiques des sols.
- *Facteurs topographiques* : liés aux précédents, dont la nature dépend du relief du terrain.
- *Facteurs hydrologiques* : peuvent être inclus dans cette catégorie.

2.1.4. Selon le temps (*Temporelle*)

Cette classification prend en considération les effets de la variable « temps ». Elle est fondée sur l'influence des fluctuations annuelles, saisonnières et nycthémérales propres aux déplacements de la Terre sur son orbite, lesquels influencent sur la plupart des facteurs écologiques qui vont de ce fait présenter une périodicité plus ou moins marquée. Nous avons :

- *Facteurs périodiques primaires* : dont la variabilité périodique est évidente, car elle est imposée par la rotation de la terre. Exemples : la variation annuelle de la longueur du jour, la température, l'éclairement, le rythme des marées,...etc.
- *Facteurs périodiques secondaires* : dont les variations cycliques dépendent des premiers. Exemples : l'hygrométrie atmosphérique, l'alimentation végétale,...etc.
- *Facteurs apériodiques* : présentent des fluctuations brutales et aléatoires, qui vont causer des modifications essentiellement apériodiques. Exemples : une sécheresse exceptionnelle, une éruption volcanique,...etc. Dans cette catégorie, il existe aussi des facteurs dont les variations sont très lentes, qu'elles peuvent être considérer comme constantes (cas de l'absence d'action anthropique). Exemples : la teneur des sols en éléments minéraux nutritifs,...etc.

2.2. Les principaux facteurs limitants

2.2.1. Les facteurs abiotiques

2.2.1.1. Les facteurs climatiques

Le climat est constitué par l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point donné de la surface terrestre. On distingue :

- Le macroclimat : il caractérise le climat à l'échelle des régions, ou des pays; on parle de climat équatorial, méditerranéen, ... etc.
 - Le mésoclimat : il caractérise le climat à l'échelle d'une région déterminée, de surface réduite, où interviennent des facteurs comme la topographie, le voisinage de la mer, ... etc.
- Au niveau de la région d'Alger, les hauteurs de Bouzaréah sont plus froides que le littoral ;

l'exposition Nord ou ubac d'une chaîne montagneuse présente un mésoclimat distinct du versant Sud ou adret

- Le microclimat : il caractérise une surface très restreinte et se situe à l'échelle de l'individu. Par exemple, la température de l'air à la proximité immédiate d'une plante alpine basse peut être de 20°C supérieure à celle de l'air située à 0,3 m au-dessus de la plante.

Les facteurs climatiques considérés seront respectivement la lumière, la température, les précipitations, le vent et les autres facteurs atmosphériques.

a) La lumière

C'est un facteur vital de l'environnement car elle représente la seule source d'énergie pour tous les écosystèmes. La lumière ou rayonnement solaire agit sur les plantes essentiellement par sa nature (ses différentes longueurs d'ondes), son intensité et sa durée (périodicité). La variation de ces trois paramètres gouverne un grand nombre des processus physiologiques et morphologiques aussi bien chez les plantes que chez les animaux.

- La qualité de la lumière (les longueurs d'onde) : la plupart des plantes sont adaptées aux longueurs d'ondes comprises entre 0,39 (200 nm) et 7,6 μ (800nm). Il s'agit des infrarouges (les plus longues), la lumière visible (longueur d'onde moyenne) et des ultraviolets (longueur d'onde les plus courtes et les plus énergétiques). De manière générale, la qualité de la lumière ne varie pas suffisamment pour exercer une influence sur la photosynthèse sauf quand la partie supérieure des arbres intercepte une grande partie de la lumière ; les espèces sous-jacentes sont alors adaptées à de faibles quantités lumineuses.

- L'intensité lumineuse : elle présente une grande variabilité spatiale et temporelle. L'intensité lumineuse est la plus importante aux faibles latitudes et diminue avec les latitudes plus élevées où les rayons lumineux traversent une distance plus importante dans l'atmosphère. A l'équateur, les rayons tombent à la verticale toute l'année. La chaleur se répartit sur une petite surface. Plus on se dirige vers les pôles, plus les rayons frappent en oblique et la même quantité de chaleur se disperse sur une plus grande surface et chaque point en reçoit moins. De plus certains rayons ne nous atteignent qu'après avoir été diffusés dans le ciel par les nuages et les gouttelettes d'eau en suspension.

- La durée de l'insolation: elle varie en fonction de la position d'un lieu donné. Ainsi la durée d'insolation quotidienne à l'équateur est constante pendant toute l'année, alors que l'ensoleillement dans l'hémisphère nord est plus court en hiver qu'en été et vice versa pour l'hémisphère sud. L'alternance des jours et des nuits, leur variation quotidienne et annuelle constituent la photopériode. Plus la durée d'insolation est longue, plus l'action du rayonnement

solaire est efficace. A cette variation globale s'ajoute les variations saisonnières. Elles sont particulièrement importantes dans les latitudes élevées, entre l'été et l'hiver.

Rôle écologique de la lumière

- Effet de l'intensité lumineuse : elle a une action sur l'assimilation ; l'intensité de la photosynthèse, nulle à l'obscurité, augmente avec celle de l'éclairement et pour une certaine valeur de celui-ci, elle compense exactement la respiration: c'est le point de compensation. Il correspond à un éclairement différent suivant les espèces. Selon l'intensité lumineuse on distingue les plantes d'ombre ou sciaphiles telles les plantes des sous-bois, les fougères, les cyclamens (intensité lumineuse faible) et les plantes de lumière ou héliophiles telles la tomate, le thym, la lavande (intensité lumineuse forte).

- Effet de la périodicité : la périodicité quotidienne, saisonnière ou annuelle de la lumière est à l'origine des différents rythmes biologiques chez les plantes et les animaux ; on parle de photopériodisme. Chez les plantes, les réponses comprennent la floraison, la chute des feuilles, la dormance. Chez les animaux, les différentes réponses incluent les débuts de migration, l'hibernation, la ponte, la mue et les changements de couleur du pelage. En fonction de la durée d'une journée on distingue :

- Les plantes de jours courts, inférieur à 12h, nécessitent moins de 12 heures pour amorcer la floraison ; c'est le cas du tabac et du chrysanthème.

- Les plantes de jours longs, supérieurs à 12h, nécessitent plus de 12 heures pour amorcer la floraison ; c'est le cas du blé, de l'orge et des épinards.

- Les plantes indifférentes, leur floraison est indépendante de la durée journalière et peut se produire à différentes époques de l'année; exemple: *Stellaria media*, *Euphorbia peplus* ou encore à l'obscurité: ex. pomme de terre

Ajoutons que dans les régions tropicales, la photopériode est constante tout le long de l'année, elle dure 12 heures. Dans les régions tempérées, elle dépasse 12 heures en été et elle est inférieure à 12 heures en hiver.

b) La température

La température du milieu dans lequel vit la plante, c'est à dire celle de l'air et des couches superficielles du sol et des eaux, est tributaire du rayonnement solaire. Elle varie en fonction de la saison, des conditions atmosphériques, de l'altitude et de la latitude. La température intervient dans la répartition géographique des espèces, elle règle l'activité et le fonctionnement des êtres vivants en agissant sur diverses fonctions de la plante notamment la respiration, la photosynthèse, les différentes réactions enzymatiques et le phénomène de vernalisation (exposition d'une durée variable au froid pour arrêter la dormance). Ce

phénomène de vernalisation se traduit également par la nécessité pour qu'une espèce puisse fleurir d'avoir subi antérieurement, souvent simplement à l'état de graine, une période à une température déterminée, chaude ou froide suivant les espèces. La vernalisation est également un traitement par le froid ou par le chaud pour modifier le déroulement saisonnier du développement d'une semence ; on l'applique aux céréales, aux plantes fourragères, au cotonnier, à la pomme de terre.

La température intervient par ses variations et ses moyennes journalières, mensuelles et annuelles, on parle de thermopériodisme.

L'amplitude de tolérance de la température chez les plantes est très grande et varie généralement entre 0° C et 50° C. Chez toutes les plantes, l'amplitude de tolérance varie avec l'âge, la balance hydrique et la saison. Dans cette amplitude, les espèces ont des besoins minimum, maximum et optimum de température pour leurs activités métaboliques. Par exemple les cultures tropicales telles que le melon ne peuvent tolérer des températures en dessous de 15 à 18°C, alors que les conifères des régions nordiques tolèrent des températures de l'ordre de -30°C. Les plantes aquatiques ont généralement une amplitude de tolérance plus faible que celles des plantes terrestres.

La période de croissance est celle où toutes les conditions environnementales requises sont réunies. La température est considérée comme étant l'un des facteurs critique pour initier cette croissance et plus particulièrement la température minimale qui se situe aux alentours de six °C. Ainsi, selon les exigences propres à chaque espèce, quant à l'action de la température, on distingue :

- Les espèces dites sténothermes thermophiles : leur optimum de croissance se situe à des températures élevées, exemples les Cyanophycées (algues bleues), les sténothermes psychrophiles (températures froides), exemple *Sphaerella nivalis*, algue cryophile. Ces espèces sténothermes tolèrent de faibles variations de température.
- Les espèces dites eurythermes, elles, tolèrent de larges variations de températures, exemple *Poa annua* (graminée la plus répandue dans le monde).

c) Les précipitations

Elles comprennent : la pluie, la neige, la grêle, la rosée et le brouillard. Comme la température, elles sont très liées au rayonnement solaire puisqu'elles sont dues à la condensation dans l'atmosphère de la vapeur d'eau provenant des mers et des terres. Plus il fait chaud, plus l'évaporation est intense.

L'eau est indéniablement l'un des facteurs écologiques les plus importants. Il constitue la plus grande partie du poids des êtres vivants et joue un rôle fondamental dans la

physiologie des espèces animales et végétales. L'eau assure la dispersion des colloïdes protoplasmique, le maintien des structures et des équilibres cellulaires ; c'est aussi un fluide distributeur qui permet le transit des sels des gaz et des molécules organiques solubles et par conséquent le transport des aliments et des déchets, la synthèse de matières et la croissance. L'écologiste s'intéresse à l'eau dans la nature, son origine, sa rétention par le milieu, aux réactions des plantes aux variations naturelles de l'eau dans le milieu (sol et air).

Si l'on considère les précipitations (apport le plus important en eau), elles sont sous la dépendance de la température qui règle l'intensité de l'évaporation au niveau des surfaces marines. L'efficacité des précipitations est exprimée par la balance entre l'évaporation et les précipitations. Quant à l'évapotranspiration, c'est la quantité d'eau perdue de la surface d'un écosystème plus celle transpirée par la végétation. Le taux d'évapotranspiration est contrôlé par la quantité d'énergie présentée, les mouvements de l'air, le type de végétation et la quantité d'eau au niveau des racines.

De plus la répartition saisonnière des précipitations influe grandement sur la végétation. Par exemple en région méditerranéenne la pluie tombe surtout en hiver pendant la période froide quand les plantes en ont le moins besoin et fait défaut en été au moment où la température augmente l'évaporation, il en résulte donc une végétation xérophytique bien adaptée aux longues périodes estivales sèches.

Les plantes peuvent être classées en fonction de leur besoin en eau. On distingue généralement quatre grands groupes :

- Hydrophile, se sont des plantes aquatiques vivant en permanence dans l'eau *Typha angustifolia*, *Nymphaea alba*, *Wolffia arrhiza* (plus petite plante à fleur du monde) ;
- Hygrophile, les espèces requiert un milieu très humide, exemple les joncs tel que *Juncus acutus* ;
- Mésophile, ce groupe contient les espèces non spécialisées qui tolèrent des conditions modérées. Par ailleurs, elles peuvent supporter des alternances de périodes sèches et humides. Il s'agit de la majorité des espèces cultivées ;
- Xérophile, se sont des espèces adaptées au milieu sec telles que *Aristida pungens* ou Drinn, *Retama retam* et *Acacia raddiana*.

d) Les vents et les autres facteurs atmosphériques

Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux soit indirectement en contrôlant d'autres facteurs et particulièrement en modifiant la température et l'humidité.

Action directe du vent

Les vents violents peuvent limiter la croissance des plantes en infligeant des dommages physiques. Des structures de plantes déformées par l'action du vent sont souvent observées dans des lieux exposés, tels que les falaises, les sommets des montagnes ou encore les plaines ouvertes. Ainsi, l'effet mécanique sur les végétaux se traduit par des formes de croissance particulières avec des inclinaisons dans le sens du vent dominant adoptant une disposition dite en drapeau.

Les végétaux s'adaptent soit par le développement des appareils racinaires de fixation au sol (comme chez la graminée *Ammophila arenaria*, utilisée pour la stabilisation des dunes), soit en profitant de la protection des autres végétaux. L'action mécanique la plus importante est la dissémination des pollens, des spores et des semences. Les plantes pollinisées par le vent sont dites anémophiles. Le vent peut également avoir des actions négatives en contribuant à l'érosion du sol quand ce dernier n'est pas protégé par une couverture végétale.

Action indirecte du vent

Elle correspond à la modification des autres facteurs du climat. Le vent joue un rôle dans la distribution des pluies, augmente la vitesse d'évaporation à partir du sol ainsi que la transpiration, diminue les températures et facilite la propagation des feux.

Comme autre facteur atmosphérique, citons la foudre et le feu qui peuvent jouer un rôle écologique très important dans certaines régions du globe.

La foudre est considérée comme un facteur écologique de second ordre sauf dans les régions où les peuplements forestiers sont denses (ex. Canada).

Le feu est un facteur écologique extrêmement important dans le modelé des paysages actuels. Ils sont rarement naturels (foudre) et le plus souvent d'origine anthropique soit pour obtenir des surfaces herbagères, soit pour procéder à des cultures sur brûlis (essartage) soit pour rabattre des animaux sauvages pendant les périodes de chasse.

Les espèces qui résistent aux feux sont des pyrophytes. Exemple le chêne liège ou *Quercus suber*, le chêne kermès ou *Quercus coccifera*, qui après destruction de leur partie aérienne donnent des rejets par les souches.

2.2.1.2. Les facteurs édaphiques

Les caractères physiques et chimiques des sols constituent les facteurs édaphiques. Ce sont des facteurs très importants car ils expriment les relations écologiques entre les êtres vivants et le sol.

Les facteurs qui participent à la formation du sol sont la roche-mère, la topographie, la végétation, l'homme (surtout pour les terres arables) et surtout le climat (il affecte le degré d'altération des roches en réglant le taux et le rythme des précipitations, les écarts de températures, le type de végétation et les établissements humains). La formation du sol est due à l'action combinée sur la roche des agents atmosphériques et de la couverture végétale. On distingue des phénomènes physiques (eau, température), chimique (apport et migration de substances) et biologiques (flore microbienne, lombric...).

On distingue deux types de sol : sols zonaux en équilibre avec le climat et la végétation et les sols azonaux: qui peuvent se produire sous toutes les latitudes et subissent l'action perturbatrice d'un facteur (érosion).

Les sols sont composés de matériaux organiques provenant de la partie biotique de l'écosystème et des matériaux inorganiques provenant de la roche mère par le processus de pédogénèse. La roche mère constitue environ les deux tiers du volume total d'un sol et détermine la plupart de ses caractéristiques physiques.

Le processus de pédogénèse aboutit donc à la constitution du système complexe formé de diverses particules :

- Particules inertes: débris de roche mère incomplètement transformés, grain de quartz, mica et feldspath, fragment de calcaire ;
- Particules finement divisées de nature colloïdales et d'origine soit minérale: argile, soit organique: humus ;
- De sels minéraux mobiles, anion (phosphates, sulfates, carbonates) ou cations (bases métalliques) ;
- D'organismes vivants: bactéries, protozoaires, champignons, vers, arthropodes...etc.

Selon la taille des particules (texture) et leur agencement (structure). La texture d'un sol permet généralement de distinguer trois fractions : les sables, les limons et les argiles. Cette dernière fraction est très importante car c'est elle qui retient l'eau et les éléments nutritifs dans le sol.

Pour ce qui est des propriétés chimiques du sol on parle surtout de :

- L'acidité et l'alcalinité, les pH moyens sont ceux qui, généralement, confèrent les meilleures conditions de croissance aux plantes. Cependant, il existe des espèces qui ne poussent qu'en milieu acide ou basique.
- L'humus, c'est le produit climat-type de végétation. Les plantes qui demandent beaucoup d'éléments nutritifs produisent des débris organiques riches en minéraux. Dans des sols bien aérés ceci encourage une rapide décomposition résultant en un type d'humus appelé mull. Par

contre, une végétation qui absorbe peu d'éléments minéraux produira une matière organique déficiente en minéraux et produira un humus acide appelés mor.

Le sol est formé d'un agrégat de particules de taille différentes (gravier, sables, argiles): c'est la texture ; ces particules se trouvent agrégés d'une certaine façon c'est la structure. Texture et structure concourent avec la composition chimique du sol pour conférer à celui-ci d'autres caractères: porosité et aération, pouvoir de rétention pour l'eau (hydratation totale du sol: eau de capillarité (retenue par les pores fines)+ eau d'imbibition (retenue par les colloïdes + eau de gravité (circule librement), température.

Par ailleurs, des organismes vivants y sont intimement liés tels que les bactéries, les champignons, vers, arthropodes et autres. Le sol est donc considéré comme un support indispensable à la vie des végétaux et animaux.

Rapport sol végétation

Du bref résumé qui précède, il apparaît clairement qu'il existe des liens étroits entre les caractères physico-chimiques des sols et de la distribution des espèces. Ainsi le sol influence la répartition des végétaux et on peut mettre en évidence l'existence de liens entre certains de ses caractères et la distribution d'espèces ou de groupement végétaux.

Influence des facteurs physiques : selon les types de structure et de texture d'un sol, on distingue :

- Des espèces vivant dans les sables ou psammophytes, exemple *Ammophila arenaria*, *Aristida pungens* ;
- Des espèces poussant dans les fissures des roches ou chasmophytes ou encore rupicoles, exemple *Helichrysum stoechas*.

Influence des facteurs chimiques :

- Espèces poussant sur des sols salés ou halophyte, exemple la famille des Chenopodiacées, *Atriplex halimus*, *Salicornia fruticosa* ;
- Espèces poussant dans les décombres ou rudérales ; on retrouve surtout des Chenopodiacées, des Polygonacées, exemple *Rumex acetosella*, les Urticacées, exemple, *Urtica dioica*.

Ces espèces rudérales sont souvent liées à des sols ayant de fortes teneurs de matières organiques, bien aérés et dans lesquels la nitrification est intense et conduit à une forte teneur en nitrates et sont généralement qualifiées de nitrophiles.

Influence du calcium, les espèces des sols riches en calcaire sont calcicoles ou calciphiles, exemple *Vitis vinifera*, *Quercus ilex*. Les espèces des sols pauvres en calcaire sont calcifuges ou silicicoles, exemple *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Quercus suber*.

Il existe des espèces indifférentes à la teneur de calcium dans le sol.

Effets d'autres éléments: on connaît des cas de toxicité dus à la présence dans le sol d'un taux excessif de sels de métaux lourds, tandis que d'autres espèces supportent et même accumulent de tels métaux (cuivre, plomb) et deviennent caractéristiques de tels terrains.

Influence de la réaction ionique, le pH : les espèces qui poussent dans milieux à pH faible sont acidophiles, exemple *Quercus suber*, alors que celles qui poussent dans des milieux à pH élevé sont basidophile, exemple *Quercus ilex*. Les espèces indifférentes supportent de larges variations du pH telle le Pin d'Alep ou *Pinus halepensis*.

L'acidité d'un sol et sa teneur en calcium sont par ailleurs deux phénomènes étroitement liés. En effet, d'une manière générale, les espèces calcifuges sont également acidophiles. Ce sont les argiles désaturés qui présentent des acides libres et imposent par conséquent un pH acide.

Espèces indicatrices

La liaison entre les caractères physico-chimique du sol et la répartition des espèces est à la base de la notion de plante indicatrice. Une espèce peut être considéré comme indicatrice quant par sa présence elle indique que tel caractère du sol est compris entre deux limites et par leur abondance éventuelle que ce caractère se trouve voisin de telle valeur reconnue comme optimale pour l'espèce considérée. Il est important de préciser que l'optimum écologique ne coïncide pas toujours avec l'optimum physiologique (en raison de la concurrence rencontrée par les espèces dans la nature).

2.2.1.3. Les facteurs topographiques

Ils résultent de la configuration du terrain à l'échelle régionale où l'on distingue par exemple les montagnes et à l'échelle locale où l'on parle des accidents de reliefs. Ils ont pour effet de modifier les autres facteurs écologiques. Les facteurs topographiques les plus importants sont l'altitude, l'exposition et la pente. Ils agissent essentiellement sur le climat et le sol.

- Effet sur la température : la température de l'air décroît avec l'altitude, environ (0,55°C pour 100 m de dénivellation, celle du sol subit une même diminution avec des valeur plus faibles de l'ordre de 0,45°C pour 100 m). C'est ce gradient altitudinal de température qui est la principale cause de l'existence d'étages de végétation dans les montagnes.

- L'effet de l'exposition est particulièrement important et se traduit généralement par des différences dans la végétation entre les versants nord (ubac) et les versants sud (adret).

- Effet sur la précipitation : ces dernières augmentent avec l'altitude. Ainsi les hauts reliefs du Hoggar et du Tibesti hébergent, grâce, à des précipitations accrues des plantes d'affinité steppique ou même méditerranéenne lesquelles sont absente du reste du Sahara. Exemple,

Olea laperrini. Cette augmentation a des limites et au de la d'une certaine altitude elle diminue. Ici aussi, l'exposition joue un rôle quant à la répartition des pluies, dépendant surtout de la direction des vents. Exemple, les flancs nord de l'Atlas tellien sont plus arrosés que les flancs sud.

- Effet sur le sol : d'une façon générale, les moindres accidents topographiques peuvent modifier fortement la distribution de l'eau dans le sol, le niveau de la nappe phréatique et par conséquent la distribution des plantes. Au niveau des pentes les sols sont bien drainés et l'eau s'accumule en bas de pente avec présence d'une végétation différente. Généralement, les pentes fortes supportent une communauté plus tolérante des conditions sèches. Par ailleurs l'érosion est d'autant plus forte que les pentes sont plus accentuées. Les plantes des régions montagneuses ou relief accidenté présentent des adaptations spéciales avec notamment un développement racinaire important et une grande flexibilité des branches et des rameaux.

- L'enneigement: en montagne une grande partie des précipitations tombe sous forme de neige. Le coefficient de niviosité, proportion des précipitations qui tombe sous forme de neige est faible ou nul en plaine et croit avec l'altitude. La neige joue un rôle écologique considérable et agit sur la végétation par :

- La longueur de la période déneigée (temps disponible pour la vie active de la plante)

Par la protection thermique, vu que la neige a un pouvoir isolant le sol à une température sensiblement égale à 0°C ;

- Par la réserve d'eau.

2.2.2. Les facteurs biotiques

Ce sont les interactions qui se manifestent entre les divers organismes peuplant un milieu déterminé. On appelle ces interactions des coactions. On distingue également l'action qui est l'influence que le biotope exerce sur la biocénose, la réaction étant l'effet inverse. Les coactions sont de deux types.

Les unes se produisent entre individus de la même espèce, ce sont des réactions homotypiques ou intraspécifiques ; les coactions entre individus d'espèces différentes sont appelés des réactions hétérotypiques ou interspécifiques.

2.2.2.1. Les réactions homotypiques

On distingue l'effet de groupe et l'effet de masse.

- L'effet de groupe correspond à tout phénomène, au sein d'une population, qui est directement rattaché au nombre d'individus qui la composent. C'est l'interaction lié au rapprochement des individus et qui entre dans le cadre de la coopération. Il s'agit d'un effet positif. Il en résulte souvent des communautés caractérisées par des alliances (communautés

migratoires, communautés de chasse (lion), communautés de reproduction (oiseaux marins)). La taille des communautés offre une protection face aux ennemies, évite de trop perdre de chaleur, augmente le succès à la chasse ou lors de la reproduction.

- L'effet de masse se manifeste quand le milieu devient surpeuplé ; il remplace alors l'effet de groupe. C'est donc une interaction liée au surpeuplement et qui entre dans le cadre de la compétition. Il s'agit d'un effet négatif.

2.2.2.1. Les réactions hétérotypiques

La cohabitation de deux espèces peut avoir sur chacune d'entre elle une influence nulle, favorable ou défavorable. Les divers types d'interactions que l'on peut rencontrer dans la nature sont les suivantes :

- Le neutralisme, les deux espèces sont indépendantes ; elles n'ont aucune influence l'une sur l'autre.

- La coopération, les deux espèces forment une association qui n'est pas indispensable, chacun pouvant vivre isolément, et qui apporte à tous les deux un avantage. Par exemple, les arbres en forêt peuvent se maintenir et se régénérer dans des conditions climatiques défavorables à la survie de ces mêmes arbres isolés.

- Le mutualisme ou symbiose, chaque espèce ne peut croître, se reproduire et survivre qu'en présence de l'autre. Les deux espèces vivent en symbiose. On peut citer la symbiose lichénique, association entre une algue et un champignon, les mycorhizes, association entre un champignon ou une bactérie et les racines d'un végétal supérieur ; exemple de l'ectomycorhize du Pin d'Alep où le champignon forme un manchon autour des racines. Les nodosités bactériennes des Légumineuses. Dans le règne animal les exemples sont également nombreux : le héron garde-bœuf libère les grands mammifères de leur parasites et trouvent quant à eux nourriture et protection (ectosymbiose, bonne santé de l'un et nutrition de l'autre). Lors d'une endosymbiose, l'un des partenaires vit dans l'autre telle que les symbioses nutritives : les ruminants fournissent de la nourriture aux bactéries et ces derniers mangent les microbes morts.

- Le commensalisme, l'association comprend une espèce commensale qui en tire un bénéfice et une espèce hôte qui n'en tire aucun, cas des végétaux épiphytes tels certaines fougères, lichens, algues qui s'installent sur les branches et les troncs d'arbres.

- La compétition, chaque espèce agit défavorablement sur l'autre. C'est une concurrence pour des ressources limitées ; chez les plantes elle se traduit par une lutte pour la lumière, l'eau, les éléments nutritifs et pour l'espace, par exemple, un semis trop serré et chez les animaux par

une lutte pour la nourriture, pour les lieux d'habitation et de nidification, pour la conquête d'un partenaire.

- Le parasitisme, une espèce parasite, généralement plus petite, inhibe la croissance ou la reproduction de son hôte. Certains parasites vivent à la surface de leur hôte, ce sont les ectoparasites ; d'autres vivent à l'intérieur de leur hôte, ce sont des endoparasites. Certains peuvent parasiter des espèces différentes telle que *Orobanche minor*, que l'on retrouve sur Légumineuses ; d'autres sont spécifiques telle que *Fusarium oxysporum* qui parasite uniquement le Palmier dattier ou *Phoenix dactylifera* ou encore la rouille du blé *Puccinia graminis*.

- La prédation, l'espèce prédatrice attaque l'espèce proie pour s'en nourrir. Les relations prédateurs-proie sont des relations purement alimentaires, au cours desquelles les prédateurs tuent les proies.

CHAPITRE III

HOMEOSTASIE ET REGULATION

3.1. Définition

C'est la capacité des organismes de maintenir constant, dans certaines limites, toute une série de paramètres physiologiques, afin de préserver les équilibres de leur milieu intérieur. L'homéostasie est donc un processus par lequel un organisme maintient constantes les conditions internes nécessaires à la vie. Le mot homéostasie vient de deux mots grecs, *homoios*, semblable, et *stasis*, état, position. On l'emploie à présent pour désigner tous les mécanismes de régulation des fluctuations de la physiologie d'un organisme. Il a même été appliqué à la régulation de divers écosystèmes ou de l'Univers dans son ensemble.

D'après Bernard (1864), le premier qui a proposé le concept d'homéostasie « *La constance de l'environnement interne est la condition d'une vie indépendante.* » Pour qu'un organisme puisse survivre, il doit disposer d'un certain degré de liberté par rapport à son environnement. Cette liberté lui est donnée par l'homéostasie. Ce terme « homéostasie » a été proposé par la première fois par Walter Cannon en 1926 à propos de la capacité du corps à réguler la composition et le volume du sang et du liquide baignant les cellules de l'organisme, le liquide extracellulaire.

3.2. Mécanismes homéostatiques

L'homéostasie chez les êtres vivants implique une dépense d'énergie pour conserver une position optimale dans un équilibre dynamique. Grâce à ces mécanismes, des changements des conditions extérieures ne provoquent que des variations minimales du milieu intérieur de l'organisme. Si l'équilibre est rompu et que les mécanismes homéostatiques se révèlent incapables de le rétablir, l'organisme peut tomber malade et même mourir. Plusieurs appareils sont impliqués dans cet équilibre :

- Appareil respiratoire ;
- Appareil excréteur ;
- Appareil cardio-vasculaire.

3.2.1. Conformité et régulation

Animaux conformes ou non régulateurs : Modifications internes en parallèles aux changements des conditions externes. Ex : Echinodermes (Etoile de mer *Asterias*) : osmoconforme ; Vers annélides : oxyconformes

Animaux régulateurs : Pour réguler le milieu intérieur dans une large amplitude de variations du milieu externe, ils utilisent :

- Mécanismes chimiques ;
- Physiologiques ;
- Comportementaux.

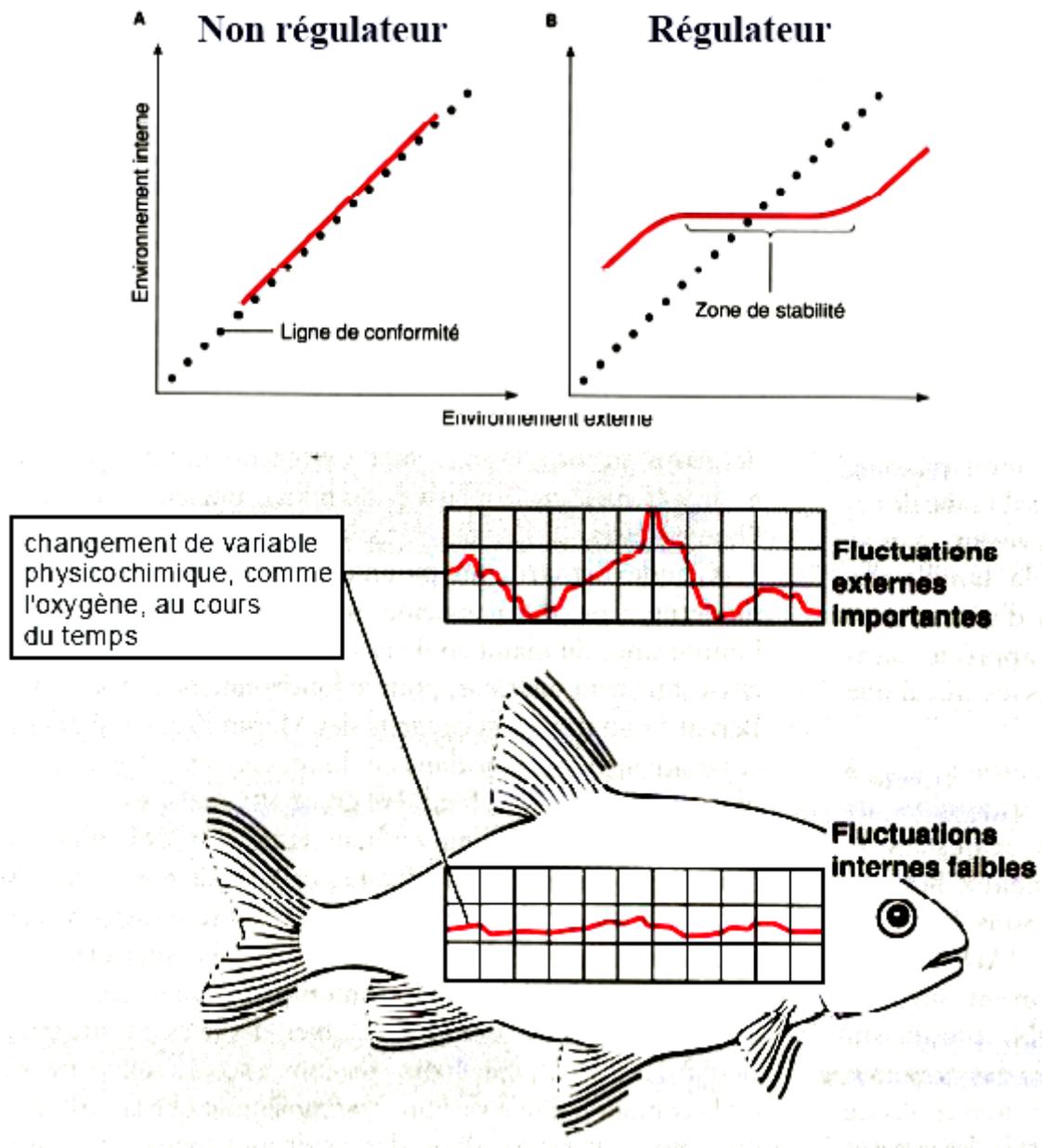


Figure 3.1. Fluctuations environnementales et fluctuations physiologiques.

3.2.2. Rôle du milieu intérieur

Selon le modèle évolutif, on considère classiquement les animaux comme ayant évolué à partir d'ancêtres unicellulaires marins vers des métazoaires de plus en plus complexes ayant envahi les différents milieux aquatiques et terrestres.

Dans un cadre simple, les métazoaires peuvent être représentés comme des ensembles de blocs intégrés de cellules (Tissus) baignés par un milieu intérieur et séparés du milieu extérieur par un tégument externe (Figure 3.2).

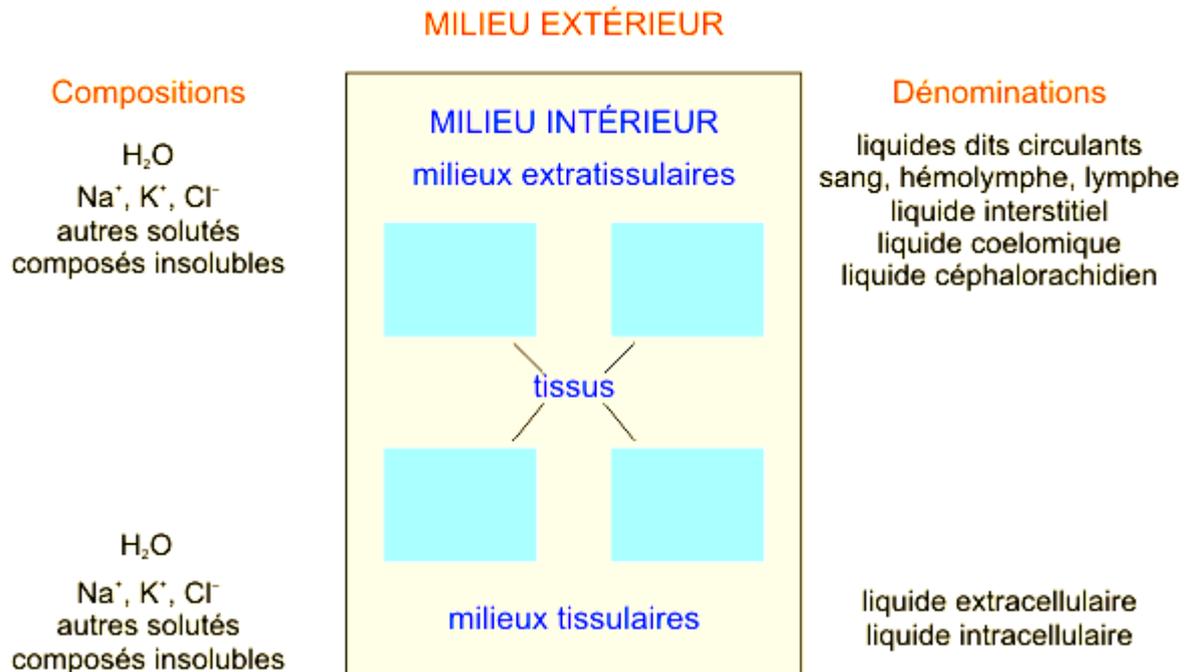


Figure 3.2. Organisation générale des systèmes liquidiens chez les métazoaires.

3.2.3. Intérêt physiologique de l'équilibre du milieu intérieur

L'acquisition de ce milieu intérieur est d'un grand intérêt physiologique. Il va servir de :

1/ *système tampon* entre le milieu extérieur et les cellules, protégeant celles-ci de modifications trop rapides des caractéristiques de ce milieu.

2/ *Isoler les cellules du milieu extérieur* (espèces les plus évoluées), les baignant dans un milieu propre dont la composition pourra être régulée et donc maintenue constante.

3/ *système d'apport (transport)* aux cellules. Ce système devient de plus en plus efficace avec la mise au point et l'évolution des systèmes circulatoires.

3.2.4. Volumes des milieux intérieurs

Les différents types de milieux occupent des volumes relativement différents en fonction des organismes considérés. Une série de mesures sont reprises à titre exemplatif dans le tableau suivant:

1/ Le volume des liquides extratissulaires est généralement nettement plus élevé chez les invertébrés que chez les vertébrés. En fait, on note, avec l'évolution, une tendance à la diminution du volume total de l'ensemble des liquides extratissulaires et extracellulaires par

rapport au volume du liquide intracellulaire. Il facilite largement le contrôle de l'osmolarité des liquides extérieurs aux cellules et dès lors le contrôle du volume de ces cellules ;

2/ Au niveau des tissus, le volume de l'espace extracellulaire représente en général 20 à 30 % du volume liquide total. Le liquide intracellulaire représente donc 70 à 80 % de ce volume.

3/ La teneur en eau totale varie en général entre 70 et 85 % du poids frais de l'animal. Elle peut être plus élevée, allant jusqu'à 98 % chez certaines espèces comme les méduses.

Les chiffres sont donnés en % du poids frais. Espace extracellulaire en % du volume de liquide tissulaire. D'après Florey, 1969 (1) - Schmidt-Nielsen, 1983 (2) - Gilles, non publié (3).

Espèces	Eau totale	Liquides extratissulaires	Liquides tissulaires	Liquides intracellulaires	Espace extracellulaire
Invertébrés					
Mollusca					
<i>Cryptochiton sp.</i> 1	85	43	42	-	-
<i>Archidoris sp.</i> 1	92	65	27	-	-
<i>Arion ater</i> 1	86	36	50	-	-
<i>Mytilus edulis</i> 1	88	50	38	-	-
<i>Octopus sp.</i> 1	82	6	76	-	-
Crustacea					
<i>Astacus sp.</i> 3	79	40	39	-	-
<i>Eriocheir sp.</i> 3	83	42	41	-	-
Vertébrés					
<i>Lamproie</i> 2	76	9	67	52	22,4
<i>Myxine</i> 1	76	6	70	52	25,7
<i>Carpe</i> 2	71	3	68	54	20,6
<i>Necturus</i> 1	81	5	76	57	25,0
<i>Crapaud</i> 2	79	5	74	57	22,9
<i>Crocodile</i> 2	73	5	68	52	23,5
<i>Chèvre</i> 2	76	10	66	50	24,2

3.3. Osmorégulation et excrétion

3.3.1. Les organes d'osmorégulation

Les organes impliqués dans l'osmorégulation sont :

- Le **tractus digestif** qui peut être une source de gains d'eau et d'ions à un bout et une source de perte d'eau et d'ions à l'autre.
- Les **systèmes dits rénaux** (néphridies de la plupart des invertébrés, tubules de Malpighi des insectes, néphrons des vertébrés). Ces systèmes sont toujours une source de perte d'eau et d'ions.
- Des d'organes particuliers servant plus ou moins spécifiquement au transport actif d'ions. Ils peuvent être selon le cas une source de gain ou de perte. Il s'agit des branchies des crustacés hyperosmorégulateurs et des poissons téléostéens, de la peau des amphibiens, des glandes rectales des sélaciens ou encore des glandes nasales, linguales ou sub-linguales des reptiles et des oiseaux. Ces glandes sont encore appelées "glandes à sel" ou "organes extra-rénaux".

- Les téguments externes qui sont le siège de l'essentiel des mouvements diffusionnels. Ils peuvent être la source de pertes ou de gains d'eau et d'ions.

3.3.2. Osmorégulation chez les animaux aquatiques

3.3.2.1. Les espèces isosmotiques

Ces espèces sont toutes marines. Leur sang est en effet isoosmotique à l'eau de mer extérieure et les effecteurs osmotiques majeurs sont les mêmes dans les deux milieux (Na^+ , Cl^-).

3.3.2.2. Les espèces hypoosmotiques

Concerne tous les vertébrés marins. L'osmolarité du sang est largement inférieure à celle du milieu extérieur. Ces animaux ont une concentration en NaCl sanguine largement inférieure à celle du milieu extérieur. Il faudra donc combattre une tendance permanente à la déshydratation. Chez la plupart de ces espèces, la balance hydrique est réalisée par :

- La boisson ; La prise de nourriture.

3.3.2.3. Les espèces hyperosmotiques

Ce groupe comprend toutes les espèces d'eau douce ainsi que la plupart des animaux euryhalins, lorsqu'ils sont en milieu dilué, les hyperosmotiques auront à faire face à des gains d'eau et des pertes de NaCl. Les espèces d'eau douce boivent donc en général très peu ou pas pour limiter leurs entrées d'eau.

3.3.2.4. Les hyper – hypoosmorégulateurs

Concerne certaines espèces euryhalines, essentiellement des poissons mais aussi quelques crustacés, peuvent maintenir une osmolarité sanguine supérieure à celle du milieu extérieur lorsqu'il est dilué et inférieure à celle-ci, lorsque le milieu est concentré. Ces espèces auront donc les problèmes des hyperosmorégulateurs en eau douce et ceux des hypoosmorégulateurs en eau de mer. Les solutions apportées seront celles déjà décrites pour ces deux groupes. Ainsi une anguille ou un saumon par exemple boiront nettement moins en eau douce qu'en eau de mer. Ils produiront par contre une urine plus abondante en milieu dilué qu'en milieu concentré.

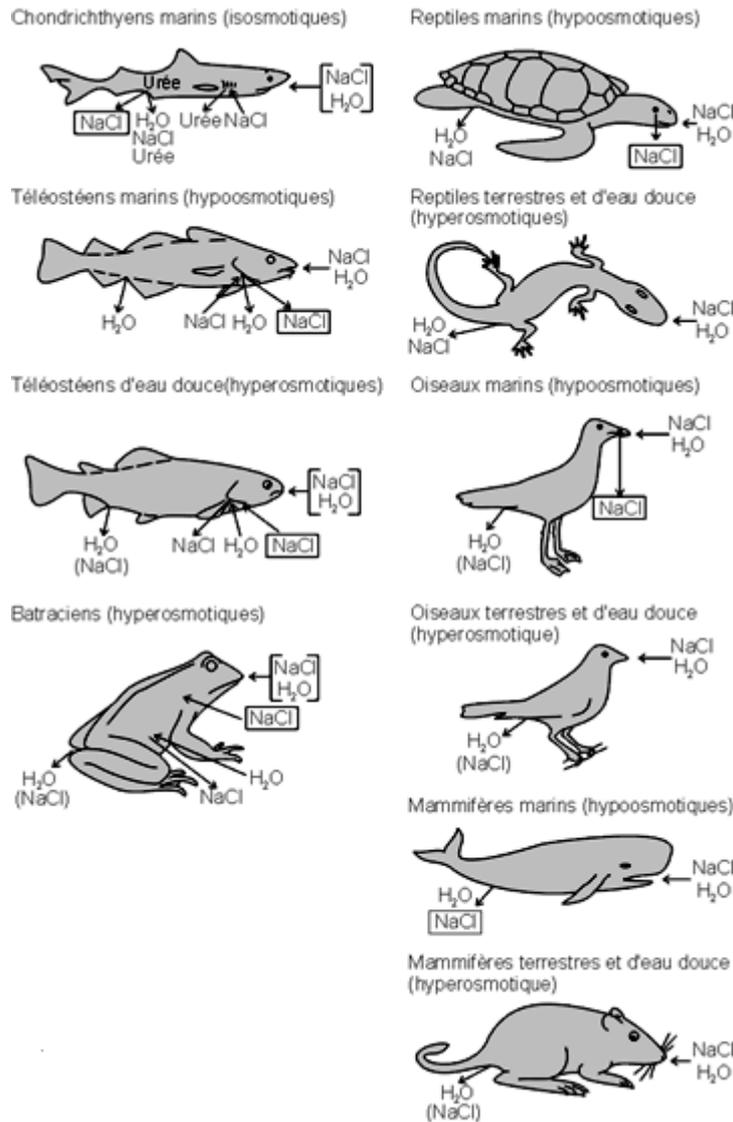


Figure 3.3. Relations osmotiques chez les vertébrés : apports alimentaires, les animaux ne boivent pas ou peu. NaCl : mouvements actifs (NaCl) : réabsorption rénale. Colonne de gauche : animaux à perméabilité tégumentaire élevée. Colonne de droite : animaux à perméabilité tégumentaire basse.

3.3.3. Osmorégulation chez les animaux terrestres

3.3.3.1. Excrétion et économie d'eau

Lors de l'élimination des produits du métabolisme (H₂O, CO₂ et des composés renferment du N), le CO₂ ne cause pas de difficultés particulières. Il est libéré au cours de la respiration. En revanche, l'excrétion des métabolites contenant de l'azote issu du métabolisme protéique, pose un problème sérieux avant tout chez les animaux terrestres : d'une part, il s'agit de mettre suffisamment d'eau à disposition pour dissoudre ce type de métabolite, d'autre part il s'agit aussi de réduire au maximum l'eau fournie. C'est la raison pour laquelle, sur le plan fonctionnel, excrétion et économie d'eau sont étroitement couplées.

3.3.3.2. Mécanismes régulateurs

La résistance à la perte d'eau est un facteur limitant de la pénétration des espèces en milieu terrestre. Les pertes d'eau varieront avec :

- **L'évapo-transpiration:** Pour un même type de tégument, l'évaporation sera d'une part fonction du rapport surface/volume de l'animal considéré. Dans les mêmes conditions, un petit animal perdra plus d'eau qu'un gros par unité de poids.
- **La nature du tégument:** l'épaisseur et la couverture de la peau des animaux limitent les pertes d'eau chez l'animal;
- **Les conditions extérieures** (température, degré hygrométrique, vitesse du vent).
- **Le comportement :** l'importance de ces paramètres fait que, chez les animaux à perméabilité élevée, le comportement intervient de façon souvent prépondérante dans la survie en milieu terrestre. Chez les animaux bien adaptés, la perméabilité à l'eau des surfaces tégumentaires est en général très basse, de l'ordre de 50 à 100 fois inférieure à celle des autres (Tableau 3.1).

Les pertes par évaporation se situant entre 0,5 et 50 mg H₂O/h.cm² pour une tension de vapeur de 1 mm Hg. Ces espèces pourront donc rester dans un air sec et chaud plus longtemps que les autres.

Tableau 3.1. Evaporation tégumentaire chez différentes espèces.

Les valeurs sont données en mg H₂O/h.cm² pour une tension de vapeur au niveau de la surface tégumentaire de Hg (D'après Schmidt-Nielsen, 1983).

Espèce	Evaporation	Espèce	Evaporation
Ver de terre	400	Rat	46
Grenouille	300	Iguane	10
Salamandre	600	Vers de farine	6
Escargot actif	870	Escargot inactif	39

3.4. Physiologie de l'excrétion

3.4.1. Chez les invertébrés

Chez la plupart des invertébrés, ces structures sont appelées **néphridies**. Chez les insectes, les néphridies sont remplacées par les tubes dits de Malpighi, d'organisation forte différente. On trouve également des tubes de Malpighi comme unités de base du système rénal chez d'autres arthropodes comme les myriapodes.

3.4.1.1. Les systèmes néphridiens : On trouve deux types de néphridies différentes chez les invertébrés :

- *Les protonéphridies* : Sont des structures tubulaires, le plus souvent ramifiées, ouvertes sur l'extérieur par un néphridiopore (Pore néphridien ou excréteur) et fermées à l'autre bout.

- *Les métanéphridies* : Ne sont jamais ramifiées et sont ouvertes aux deux bouts.

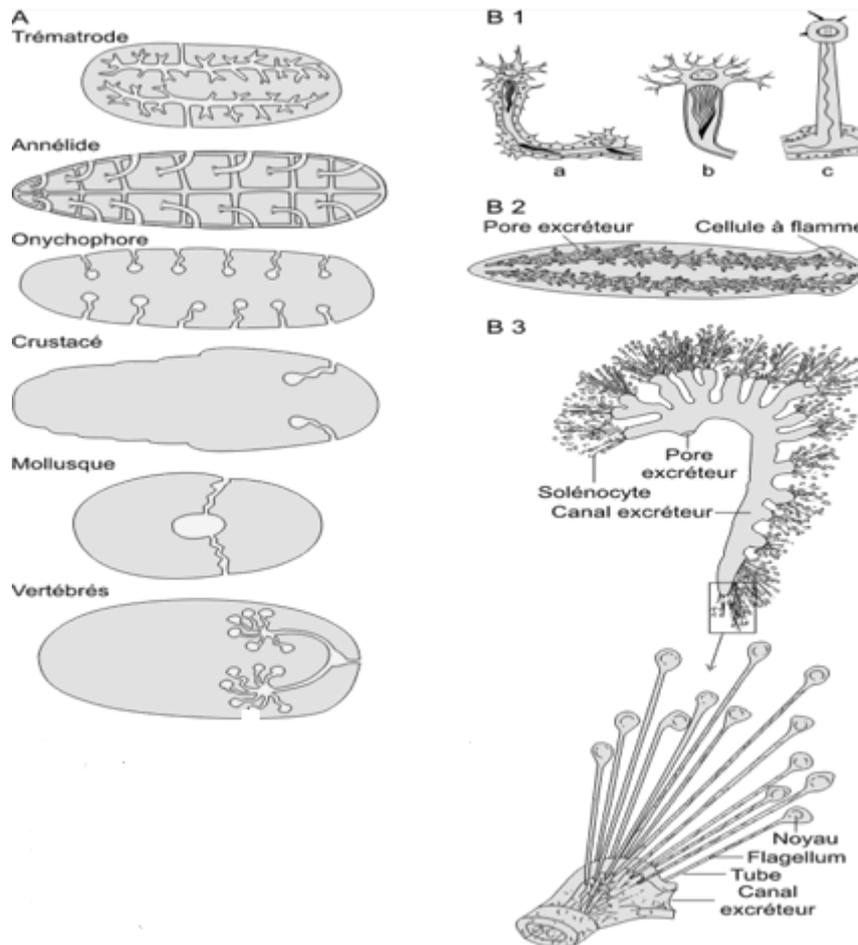


Figure 3.4. A : Organisation générale des systèmes rénaux des invertébrés (néphridies) par rapport à celle des vertébrés (néphrons). D'après Florey 1969, modifié. B : Systèmes protonéphridiens. 1 : Cellules à flamme vibratile (tubellariés a, cestode b) et cellule à flagelle, solénocyte (polychètes c). D'après Hoar 1975, modifié. 2 : Systèmes protonéphridien de la planaire (cellule à flamme vibratile). D'après Schmidt-Nielsen 1983, modifié. 3 : Système protonéphridien de l'amphioxus (solénocytes). D'après Florey 1969, modifié.

3.4.1.2. Les tubes de Malpighi

Les tubes de Malpighi sont des structures tubulaires s'ouvrant sur le rectum et fermées à l'autre bout que l'on retrouve chez de nombreux arthropodes (insectes notamment, Fig.3). L'entrée d'eau dans les tubes de Malpighi s'effectue non par ultrafiltration mais par mouvement osmotique d'eau suivant un gradient établi par transport actif de K^+ . Une

réabsorption d'eau et d'ions s'effectue au niveau du rectum. Chez certaines espèces, la réabsorption d'eau est tellement efficace que les résidus excrétés sont **solides**. Par exemple, chez le vers de farine (larve de *Tenebrio molitor*), une espèce qui peut vivre sans aucun accès à l'eau, la réabsorption d'eau est optimisée par une organisation particulière des tubes de Malpighi en un complexe dit "cryptonéphridial".

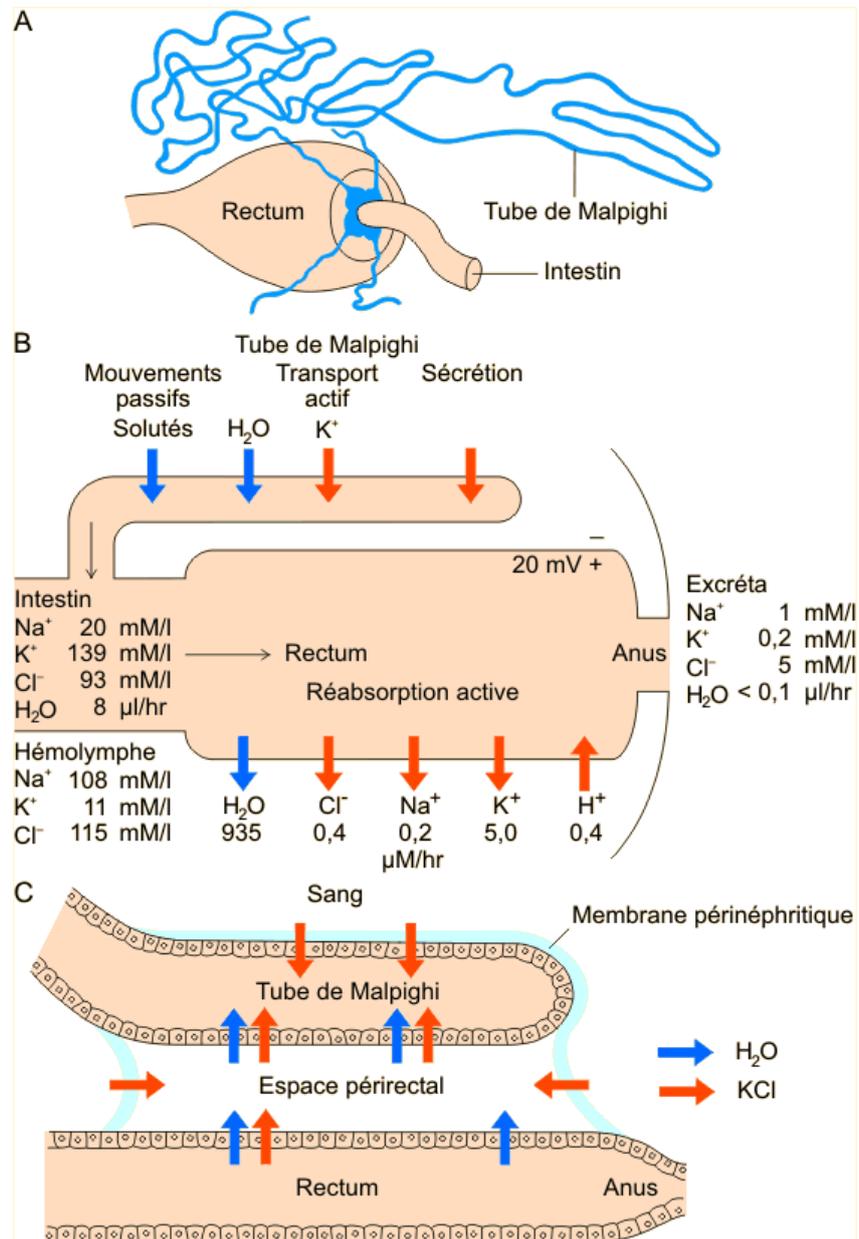


Figure 3.5. **A** : Représentation schématique du système excréteur d'un insecte : 4 tubes de Malpighi s'étendant très loin dans la cavité générale s'abouchent à l'entrée du rectum, à la fin du tube digestif (D'après Schmidt-Nielsen 1983). **B** : Sécrétion et réabsorption d'eau et d'ions au niveau des tubes de Malpighi et du rectum chez le criquet (D'après Hoar 1975). **C** : Système cryptonéphridien de *Tenebrio molitor* (D'après Eckert et Randall 1983).

3.4.2. Chez les vertébrés

Chez les vertébrés, la structure de base des organes rénaux est le néphron. Système analogue à la néphridie des invertébrés.

Le néphron comprend deux parties physiologiquement et anatomiquement distinctes:

- Une partie filtrante qui est soit ouverte par un néphrostome sur la cavité cœlomique soit fermée sur un peloton vasculaire portant le nom de glomérule;
- Une partie tubulaire qui conduit l'ultrafiltrat vers un uretère collecteur tout en modifiant sa composition par des systèmes de réabsorption et de sécrétion.

3.4.2.1. Fonctionnement rénal

Le principe du fonctionnement rénal consiste :

1/ Au niveau du glomérule, un très grand volume de liquide est filtré à partir du sang (taux de filtration glomérulaire = TFG) dans le tubule (urine primitive) et contient, outre l'eau, les petites molécules du plasma;

2/ Au niveau du tubule et du tube collecteur, les constituants de l'urine primitive retournent dans le sang à travers la paroi du tubule (réabsorption), et ce :

- Dans des proportions différentes selon la substance
- En quantité variable pour la même substance selon le besoin (régulation).

3/ Le reste du filtrat est éliminé avec l'urine (excrétion). Quelques substances devant être éliminées rapidement par l'organisme (par ex. des toxines), sont à la fois filtrées et, de plus, transportées des cellules tubulaires et aussi à l'échange de substances dans la lumière du tubule : sécrétion.

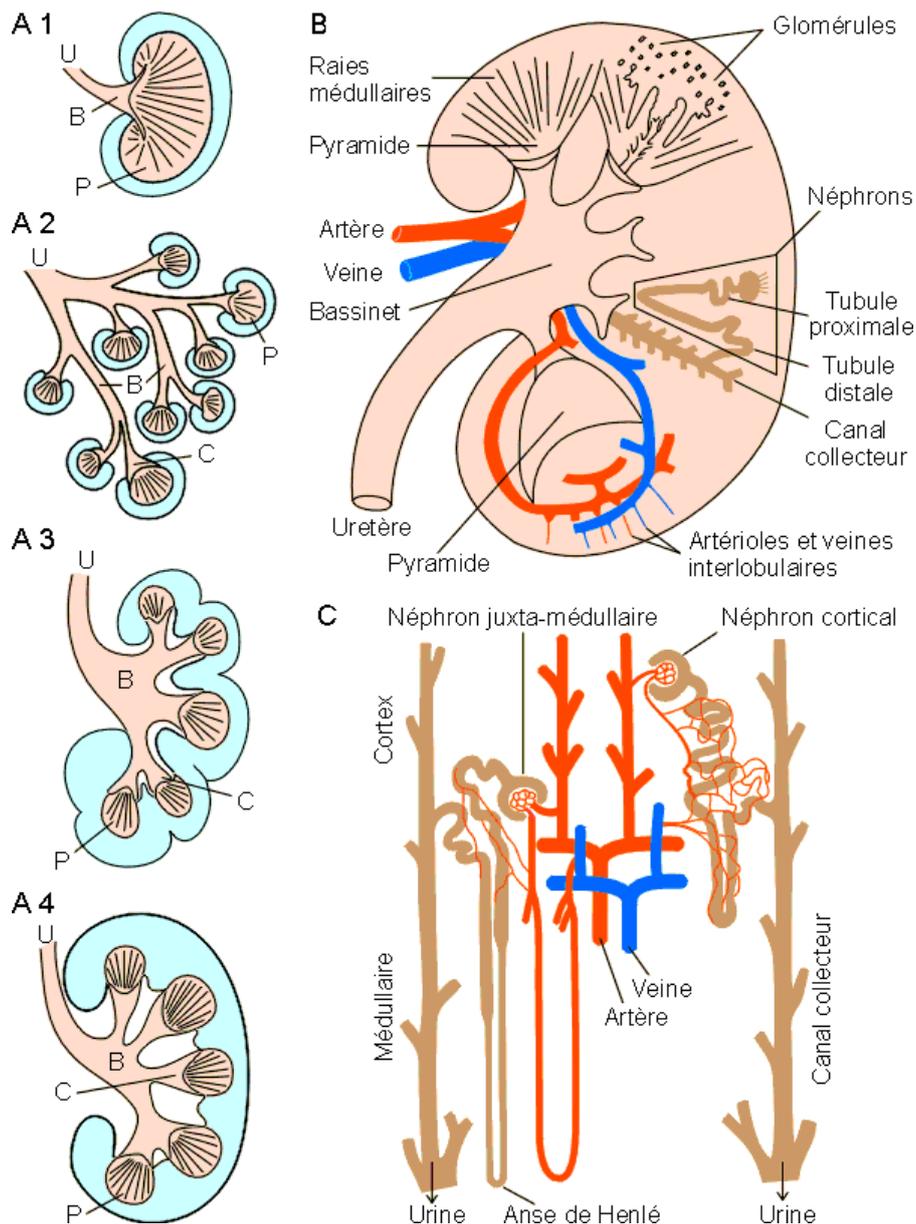


Figure 3.6. Structure du rein de mammifère. **A** : Structure générale chez différentes espèces : rein unipyramidaire (1 : lapin) et pluri-pyramidaire (2, en grappe : cétacé - 3, à lobulation corticale : bœuf - 4, lisse : homme). **B** : bassinets, C : calice, P : pyramide, U : uretère, La partie corticale apparaît en bleu. D'après Beaumont et Cassier 1987, modifié. **B** : Organisation schématique d'un rein humain. **C** : Néphrons corticaux (courts) et juxta-médullaires (longs), (Cassier, 1987).

3.4.2.2. Limitation des pertes urinaires

Le rein réabsorbe une très grande quantité d'eau et excrète une urine très concentrée. Cette excrétion diminue encore en cas de déshydratation en passant de 4 à 6 litres à 0,75 litre d'urine par jour. Ce volume ne représente alors que 0,1 de son poids vif, alors qu'il est de 2 % chez le mouton placé dans les mêmes conditions.

Tableau 3.2. Caractéristiques physiologiques liées aux économies en eau du dromadaire et quelques espèces.

	Dromadaire	Zébu	Chèvre	Mouton
Déshydratation	1 – 2	7 – 8	5 – 7	4 – 6
Renouvellement de l'eau (ml/Kg PV/j)	38 – 76	63 – 178	76 – 196	62 – 127
Osmolarité urinaire	3100	3000	2900	1400
% d'eau fécale	35 – 50	50 – 85	45 – 70	60 – 70
% d'eau dans l'alimentation	34	15	29	26
% d'eau corporelle	74	65	65	60

3.5. Hémostasie et circulation sanguine

L'appareil circulatoire (sang, artères, veines) est d'une importance vitale pour le maintien de l'homéostasie. Il assure la fourniture de métabolites aux tissus et l'enlèvement des déchets mais intervient aussi dans la régulation de la température et du système immunitaire. La concentration des composés sanguins est sous le contrôle de plusieurs systèmes :

- L'appareil respiratoire (poumons) et le système nerveux régulent le taux de gaz carbonique du sang et du liquide extracellulaire,
- Le foie et le pancréas régulent la production, la consommation et le stockage du glucose,
- Les reins sont responsables des concentrations des ions hydrogène, sodium, potassium et phosphate dans l'organisme,
- Les glandes endocrines régulent les taux d'hormones dans le sang. L'hypothalamus joue un rôle clé dans l'homéostasie. Il reçoit des informations en provenance du cerveau, du système nerveux et du système endocrine.

3.5.1. Physiologie de la circulation

Le rôle essentiel du sang (un fluide en mouvement) est le transport des gaz, l'apport des solutés (nutriments), transport de la chaleur et aussi la transmission d'une force hydraulique.

Principe

Les pompes : Tout appareil circulatoire est organisé autour d'une ou plusieurs pompes et de tubes dans lesquels le sang circule. La propriété fondamentale de la pompe (cœur), repose sur la capacité d'un muscle de se contracter ou de se raccourcir : quand un tube ou une cavité sont entourés d'un muscle, il est possible d'en réduire le volume. A partir de là, deux types de pompes peuvent exister : la pompe à péristaltisme et la pompe volumétrique avec valves.

Dans le second cas, la réduction de volume peut se faire grâce à des parois musculaires contractiles ou par les pressions externes exercées par d'autres organes.

Le cœur à péristaltisme se rencontre pour la plupart chez des invertébrés. Ceux des vertébrés sont de type volumétrique.

Les insectes : Un insecte présente généralement un vaisseau dorsal principal dont la partie postérieure fonctionne comme un cœur : il est alimenté par l'hémolymphe par une série d'ouvertures bordées de valves (ostioles). La partie antérieure du vaisseau (aorte) est contractile et parcourue d'ondes péristaltiques qui font progresser l'hémolymphe vers l'avant. Ce vaisseau principal se ramifie et se prolonge dans la tête où il se termine. Les vaisseaux issus de l'aorte irriguent l'essentiel du corps dans lequel l'hémolymphe circule librement dans les tissus et revient lentement vers le cœur.

Chez les insectes la pression de l'hémolymphe est à peine supérieure à celle des tissus. Elle ne joue aucun rôle dans la respiration (uniquement le transport des nutriments, métabolites et hormones).

Annélides : Les Annélides ont un appareil circulatoire **clos** leur sang contient souvent des pigments respiratoires dissous dans le plasma. Parmi eux l'hémoglobine est le plus fréquent, mais aussi chez certaines espèces de la chlorocruonine ou de l'hémérythrine.

On ne trouve pas chez les annélides un cœur unique bien différencié, mais plusieurs vaisseaux sanguins présentent des zones dilatées à parois contractiles.

Les vaisseaux : Le sang passe du cœur vers les vaisseaux et peut revenir au cœur. Le sang des vertébrés circule dans un système de tubes à parois élastiques (artères, vaisseaux, veines) et revient au cœur sans avoir quitté l'ensemble fermé des vaisseaux : c'est pourquoi on parle de système circulatoire clos. Par contre, de nombreux invertébrés (par exemple les insectes, crustacés, mollusques), le sang est propulsé du cœur dans les vaisseaux, mais il arrive ensuite plus ou moins librement dans les tissus, avant de retourner éventuellement au cœur. C'est ce qu'on appelle un système circulatoire ouvert (Tableau 3.3)

Tableau 3.3. Les grandes caractéristiques des systèmes clos et ouverts.

Système clos	Système ouvert
<ul style="list-style-type: none"> - Généralement haute pression. - La forte pression exige une grande résistance périphérique. - Des parois élastiques sont indispensables au maintien d'une pression élevée entre les contractions du cœur - Sang conduit directement aux organes. - Très bonne régulation de la distribution du sang aux différents organes - Retour rapide du sang au cœur 	<ul style="list-style-type: none"> - Généralement faible pression - Maintien possible de la pression. - Identique aux systèmes clos - Régulation médiocre de la distribution. - Retour très lent du sang au cœur

3.5.2. Appareil circulatoire sanguin

L'appareil circulatoire sanguin est constitué par le cœur, qui est l'organe moteur, par les artères, qui amènent le sang du cœur jusqu'aux tissus où elles se résolvent en vaisseaux capillaires disposés en réseaux et par les veines qui ramènent le sang des tissus au cœur.

3.5.2.1. Le cœur

Le cœur est l'organe moteur de l'appareil circulatoire (cardio-vasculaire), il permet la distribution du sang aux organes nécessaire à leurs bons fonctionnements. Il fonctionne par contraction musculaire indépendante de la volonté (système végétatif). Le cœur présente deux états, un état relâché pendant lequel il y a remplissage des ventricules (diastole) et un état contracté où le sang est projeté dans les artères (systole).

Le cœur reçoit par les veines le sang qui a circulé dans les capillaires et le propulse à nouveau dans les artères. C'est un organe creux, il comporte 4 cavités, 2 oreillettes et 2 ventricules (gauche et droite) séparés par des cloisons (2 cœurs droit et gauche). Le cœur droit contenant le sang veineux et le cœur gauche contenant le sang artériel.

3.5.2.2. Structure

La paroi du cœur comprend 3 tuniques : l'endocarde qui entoure les cavités cardiaques, le myocarde et le péricarde.

3.5.2.3. Fonctionnement

Le cœur comporte des cellules (fibres) musculaires qui produisent et propagent des impulsions (*système de formation et de conduction de l'excitation*), ainsi que des cellules qui

répondent à ces impulsions par une contraction (*travail du myocarde*). La genèse de l'excitation siège dans l'organe lui-même contrairement à ce qui se passe pour le muscle squelettique : on parle de rythme spontané ou **d'autonomie** du cœur. L'excitation du cœur naît normalement au niveau du *nœud sinusal* qui constitue le **stimulateur du cœur**. La **propagation de l'excitation** s'étend à partir de ce point aux deux oreillettes et aboutit, après avoir cheminé le long du *faisceau de His* et de ses deux branches (Tawara), au réseau de Purkinje qui conduit l'excitation au myocarde ventriculaire. Là, elle parcourt le myocarde de l'intérieur vers l'extérieur et de la pointe jusqu'à la base.

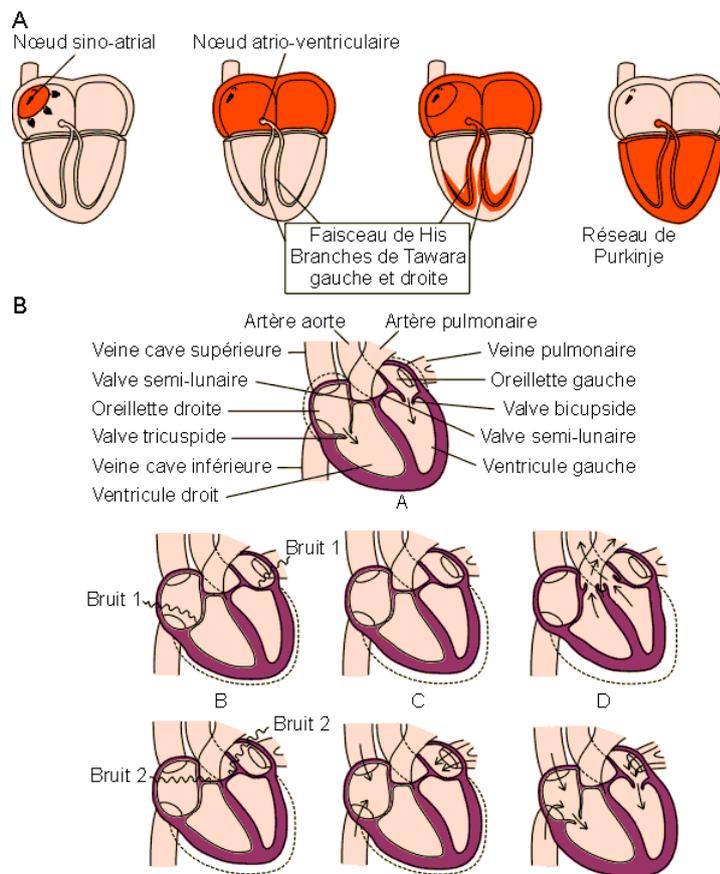


Figure 3.7. Organisation du cœur des mammifères. **A:** Propagation de l'excitation. **B:** Valves mitrales et semi-lunaires: bruits du cœur. **A:** contraction des oreillettes, le sang passe dans les ventricules. **B:** contraction des ventricules, les valves mitrales se ferment occasionnant le 1^{er} bruit du cœur. La pression monte dans le ventricule (**C**) provoquant l'ouverture des valves semi-lunaires (**D**) et le passage du sang dans l'artère aorte et l'artère pulmonaire. **E:** la pression baisse dans le ventricule, devient inférieure à celle existant dans les artères, ce qui provoque la fermeture des valves semi-lunaires, occasionnant le 2^{ème} bruit du cœur. **F:** période de relaxation et de remplissage des oreillettes. **G:** le cycle recommence. D'après Florey 1968.

3.5.2.4. Cœur et volume d'éjection

Un animal de petite taille consomme proportionnellement plus de dioxygène qu'un animal grand et de ce fait le cœur des premiers doit fournir davantage de dioxygène en un temps donné. Le pouvoir oxyphorique du sang était comparable chez tous les mammifères, quelque soit leur taille. Le cœur des petits mammifères doit donc pomper davantage du sang. Cette augmentation indispensable est-elle réalisée grâce:

- A un cœur de plus grande taille ;
- Par un volume d'éjection plus important ;
- Par une fréquence plus élevée ?

3.5.2.5. Taille du cœur des vertébrés

La masse du cœur augmente avec celle du corps. Chez les mammifères la masse du cœur (M_{cr}) représente à peu près 0.59 % de la masse du corps (M_{co}), quelque soit la taille de l'animal.

$$M_{cr} = 0,0059^{0,98} M_{co}$$

Tableau 3.4. Taille du cœur des différentes classes de vertébrés

Classe	Masse du cœur (%)
Mammifères	0,59
Oiseaux	0,82
Reptiles	0,51
Amphibiens	0,46
Poisson	0,20

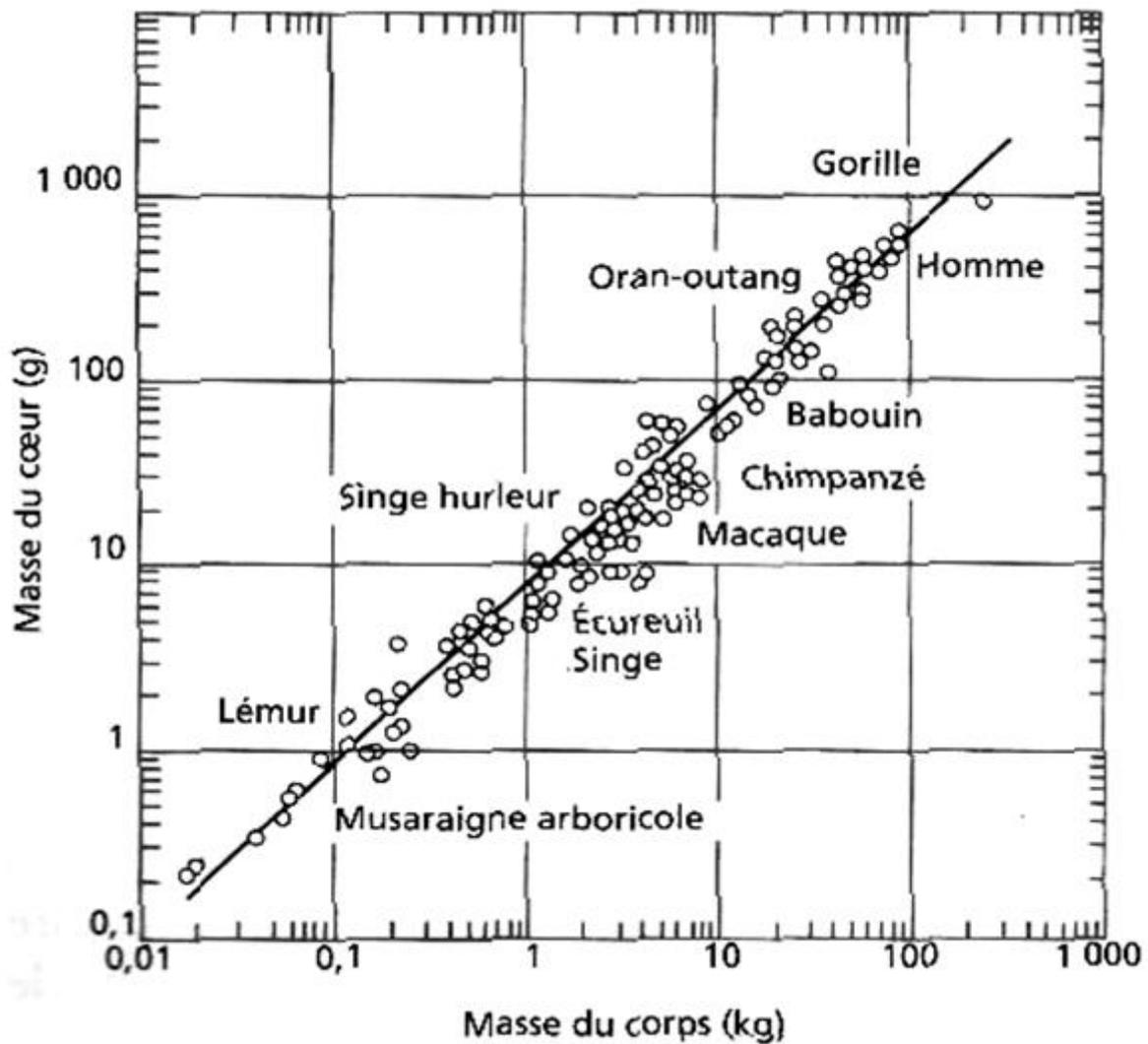


Figure 3.8. Masse du cœur en fonction de la masse du corps. La première est presque proportionnelle à la seconde. Le cœur représente 0,6 % de la masse du corps, chez les petits Mammifères comme chez les grands. Tout un ensemble de Promates ont montré des résultats tout à fait comparables aux autres représentants de la classe (Stahl, 1965).

3.5.2.6. Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque est le plus souvent exprimée en nombre de battement par minutes. Elle est de 70 chez l'homme adulte au repos et augmente avec l'activité. Elle varie en sens inverse de la masse du corps. Chez un Eléphant de 3000 kg au repos, elle est de 25 à la mn, chez un Musaraigne de 3 g, elle dépasse 600. On a pu compter jusqu'à 1200 battement) à la minute chez des Colibris et des Chauves-souris en vol. L'équation de la droite de régression est :

$$F_{cr} = 241 M_{co}^{-0,25}$$

Dont, F_{cr} : fréquence cardiaque, M_{co} : masse corporelle en kg.

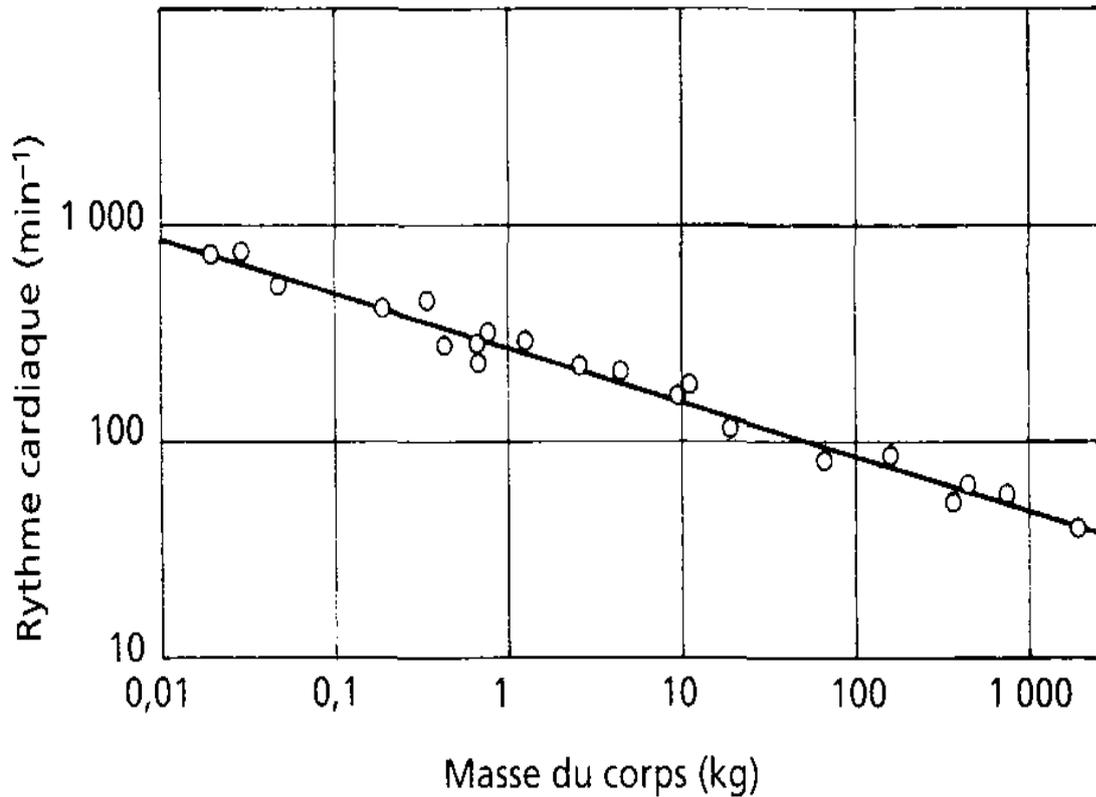


Figure 3.9. Relation entre le rythme cardiaque et la masse du corps chez différents mammifères.

3.5.2.6. Débit cardiaque

C'est le volume sanguin propulsé par le cœur par unité de temps. Dans les cœurs complètement cloisonnés, l'expression ne prend en compte qu'un demi-cœur. Il est donné par la formule suivante :

$$Q_{cr} = F_{cr} \cdot V_{cr}$$

Dont, Q_{cr} : débit cardiaque en ml/mn ; F_{cr} : fréquence cardiaque ; V_{cr} : le volume expulsé par le cœur en ml.

CHAPITRE IV

CONTROLE HORMONAL

Parmi les facteurs climatiques nous pouvons distinguer : la lumière, la température, les facteurs hydrologiques (précipitations et hygrométrie), et des facteurs mécaniques (vent, neige).

4.1. Lumière

Joue un rôle primordial dans la plupart des phénomènes écologiques. L'intensité de la lumière conditionne l'ensemble de la production primaire de la biosphère (Exemple : activité photosynthétique...), ainsi que celle de chaque écosystème qu'il soit Terrestre ou Aquatique. La durée de la luminosité au cours du cycle nyctéméral (photopériode) contrôle la croissance des végétaux, ainsi que tout le cycle vital des espèces animales (hibernation, diapause, ainsi que la maturation sexuelle...etc.).

Le flux lumineux varie dans son intensité selon la latitude et la saison (Fig.). Car au moment du solstice d'été, la quantité d'énergie lumineuse reçue demeure à peu près égale entre 20° et 80° Nord. Elle atteint son maximum aux pôles et son minimum à l'équateur (l'obliquité des rayons aux hautes latitudes est compensée par l'allongement de la durée du jour). Les flux lumineux les plus intenses sont relevés au moment du solstice d'été dans les zones à climat méditerranéen chaud où ils peuvent approcher 120000 lux. Cela provient de la grande transparence atmosphérique propre à ces régions alors que dans les zones intertropicales, la forte hygrométrie atmosphérique absorbe une fraction plus importante du rayonnement direct, de sorte que les flux sont moins intenses.

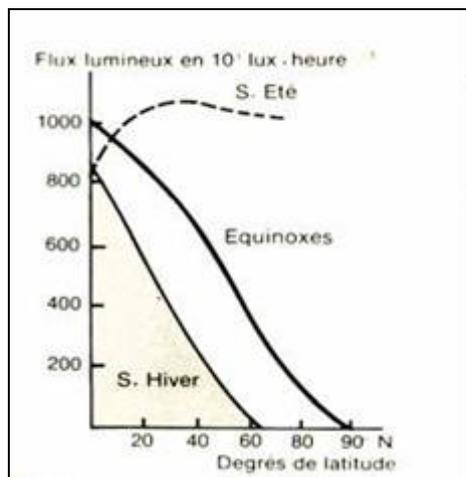


Figure 4.1. Fluctuation du flux solaire en fonction de la latitude aux solstices d'hiver et d'été aux équinoxes. D'après Lemée, Précis.

L'intensité moyenne de l'éclairement et sa durée au cours du cycle annuel constitue un des principaux paramètres qui conditionnent l'activité photosynthétique.

4.2. La photopériode

La photopériode à un rôle primordial dans l'écologie des divers êtres vivants. Au cours du cycle nyctéméral alternant une période d'obscurité et une période d'éclairement. On dénomme scotophase la période nocturne et photophase celle de jour, leur durée relative déterminent la nature de la photopériode (Figure 4.2). Celle-ci varie selon la latitude et les saisons sauf aux équinoxes où elle est de 12h de nuit et 12h de jour, quelle que soit la localité considérée.

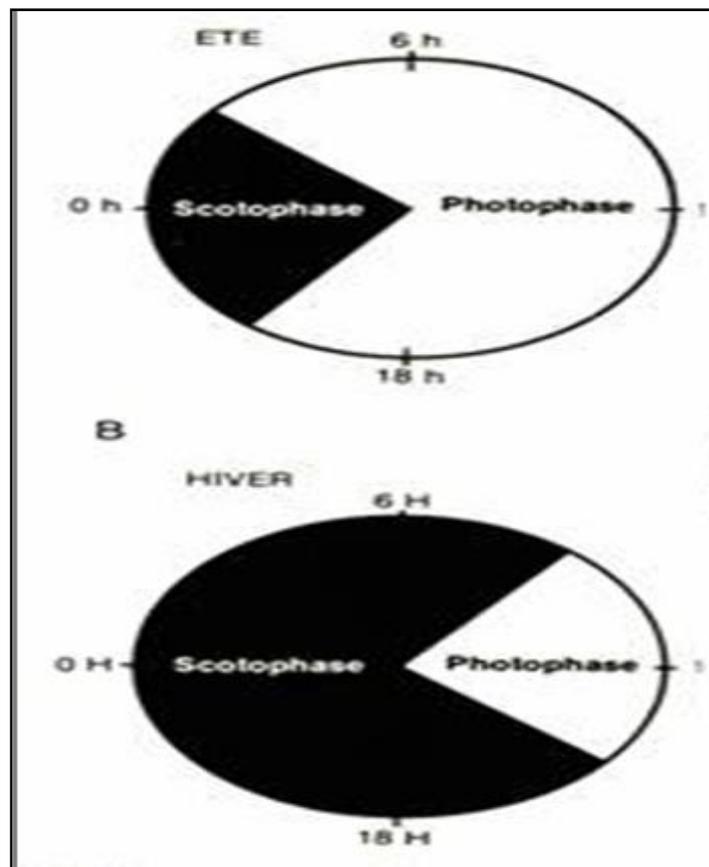


Figure 4.2. Schéma représentant les variations relatives de la scotophase et de la photophase en été et en hiver.

La photopériode joue un rôle très important dans l'écologie des espèces animales :

- L'activité des métazoaires comporte tout un ensemble de biorythmes. La plus répandu d'entre eux est le rythme circadien, qui correspond à une périodicité de 24h, et dont le contrôle est généralement assuré par la photopériode.
- Chez les vertébrés terrestres, l'activité journalière, l'alimentation, le repos nocturne (ou diurne selon les espèces), sont contrôlés par les heures de lever et de coucher du soleil ainsi que par la durée de la photopériode.

- Les humains sont également concernés par ce phénomène, car pour ceux qui effectuent des voyages aériens intercontinentaux, leur organisme sera sensible à toute perturbation de l'horloge biologique ; ceci va provoquer des perturbations dans les activités digestives et le rythme veille-sommeil. Ce décalage du rythme circadien est provoqué par l'allongement ou le raccourcissement subit de la photophase provoquée par le décalage horaire.
- Les rythmes circadiens s'observent également en milieu marin. Les migrations verticales du zooplancton sont contrôlées par la photopériode. Exemple : chez le Copépode *Calanus finmarchicus*, les femelles s'observent en surface en été entre 20h et 3h du matin et s'enfoncent à 100m de profondeur pendant la journée (Figure 4.3).

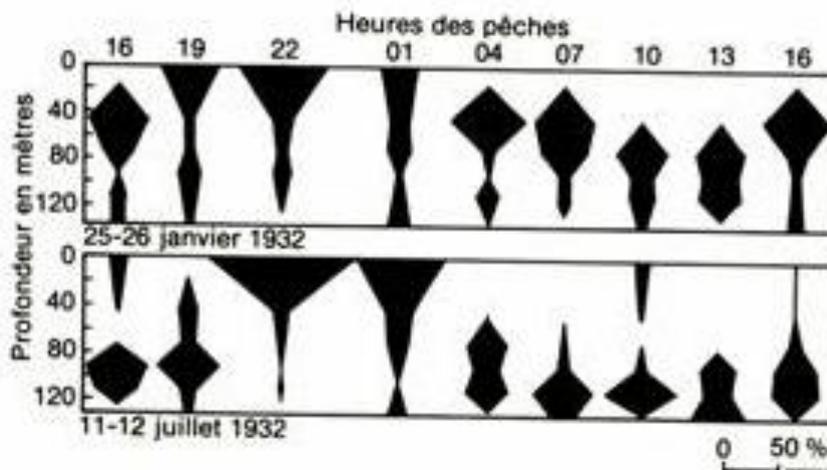


Figure 4.3. Migration verticale selon un rythme circadien d'un copépode zooplanctonique *Calanus finmarchicus*, en mer du Nord. A chaque niveau est précisé le nombre d'individus, en pourcentage des captures totales pour l'heure considérée. Les points correspondent aux pêches nulles. Remarquer l'influence du nycthémère sur les migrations. D'après Nicholls, in Bougis, Le plancton, 1967.

Il existe d'autres particularités écophysiologiques des organismes animaux qui obéissent à des rythmes saisonniers également contrôlés par la photopériode. Exemple : de nombreuses espèces d'oiseaux dont les Anatidés, le développement testiculaire, auquel est associé celui du plumage nuptial, est conditionné par un réflexe oculo-hypothalamo-hypophysaire, lequel est initié ou adépte par l'allongement de la durée du jour pendant la période hivernale.

Cas particulier du contrôle de la maturation sexuelle par le photopériodisme :

- Ce cas particulier est représenté par l'essaimage de Palolo, Annélide polychète du Pacifique tropical. Pour cette espèce d'eunicide (*Eunice fuscata*), la différenciation de formes sexuées (épitoques) est contrôlée par la photopériode lunaire. Ainsi, aux Samoa, l'essaimage a lieu

vers minuit, au 8^{ème} jour après la pleine lune d'octobre et de novembre, au Fidji à la même date après celle de novembre et décembre.

- Il y'a un autre phénomène qui dépend de la photopériode et c'est la migration animale : Exemples : chez les Pucerons l'apparition des formes sexupares, migrantes, est induite par les photopériodes courtes (Figure 4.4).

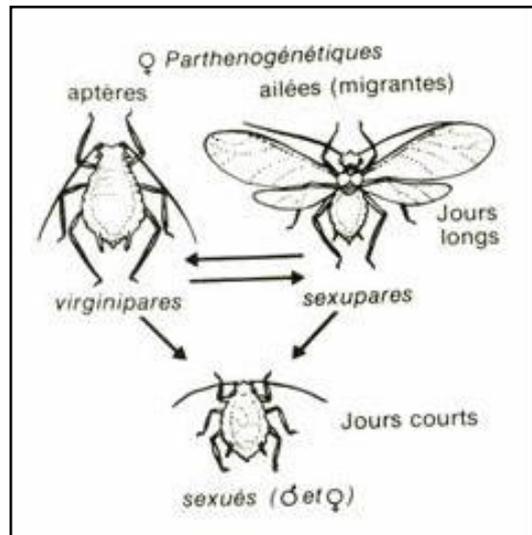


Figure 4.4. Rôle de la photopériode dans l'apparition des formes sexupares, sexuées et migrantes, des puserons.

- Le même fait est remarqué chez les oiseaux ce qui explique que leur départ automnal vers le Sud peut avoir lieu dans les régions boréales même si les conditions climatiques sont encore favorables et la nourriture suffisante.

- Chez les Arthropodes terrestres, l'arrêt d'activité à diverses phases du cycle vital, présente un aspect obligatoire pendant la mauvaise saison. Cet arrêt du développement, dénommé diapause, est généralement conditionné par la photopériode.

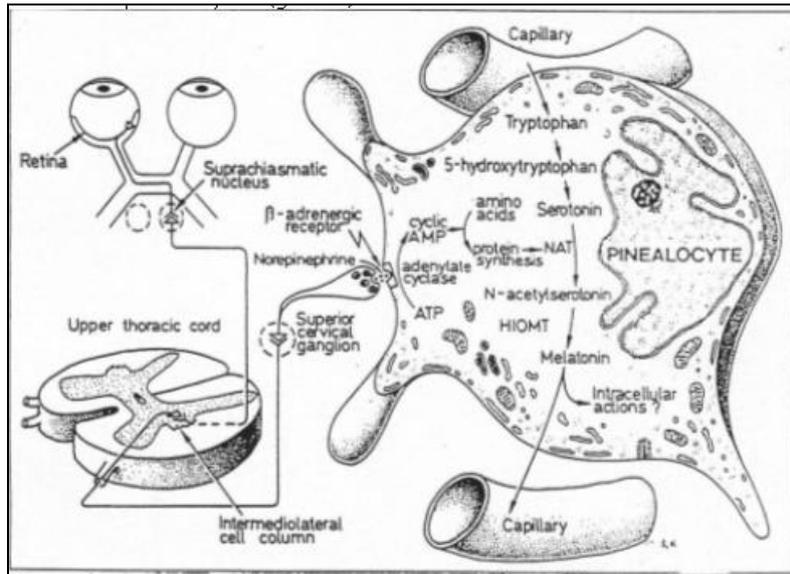
4.3. Glande pinéale

La glande pinéale reçoit une innervation sympathique. Son fonctionnement est couplé à celui de l'œil.

- C'est une glande sensible au photopériodisme.

4.4. Organisation

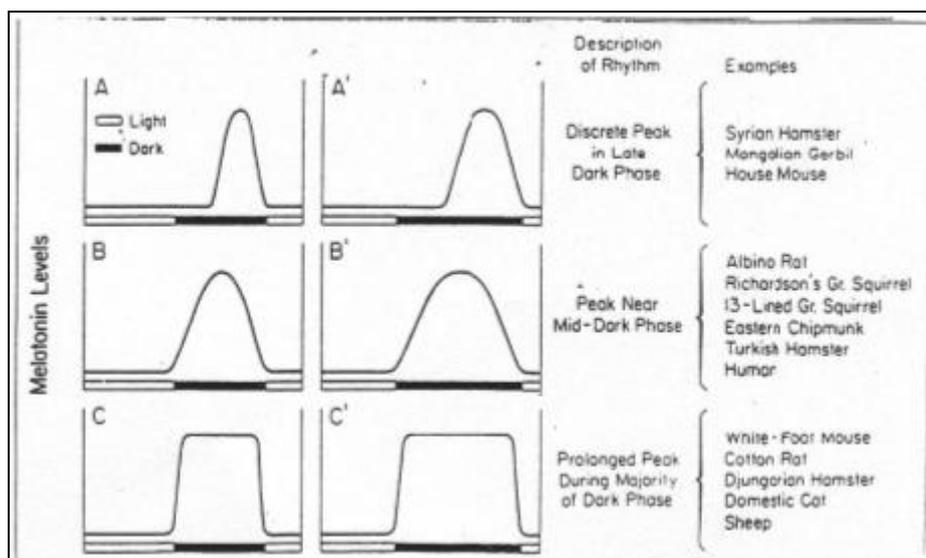
Le faisceau rétino-hypothalamique débouche ou ouvre sur le noyau supra-chiasmatique. Les fibres efférentes de ce noyau vont vers le noyau paraventriculaire ; ces fibres font relais à la moelle épinière et mettent en jeu de la noradrénaline ; elles font relais au ganglion cervical supérieur et arrivent finalement au pinéalocytes (glande).



Il est possible de sacrifier un individu (rat) toutes les deux heures et de retirer la glande pinéale et de doser une neurohormone : la mélatonine.

Les points correspondant à la phase claire montrent une très basse concentration en mélanocyte. Pendant la phase sombre, il y a une forte augmentation (exponentielle) suivie d'une diminution avant la phase claire.

Au lieu de sacrifier des rats, on place un cathéter dans une carotide (de rat) pour en prélever un peu de sang. On trouve alors un peu de mélatonine pendant la journée puis une grande libération durant la nuit : ce sont des résultats comparables à ceux de l'expérience précédente.



La durée de sécrétion de mélatonine est plus courte en A qu'en A'. En fonction des mois de l'année, la durée d'imprégnation de la mélatonine varie. Elle permet un déclenchement d'attitude(s), comme par exemple les périodes de reproduction.

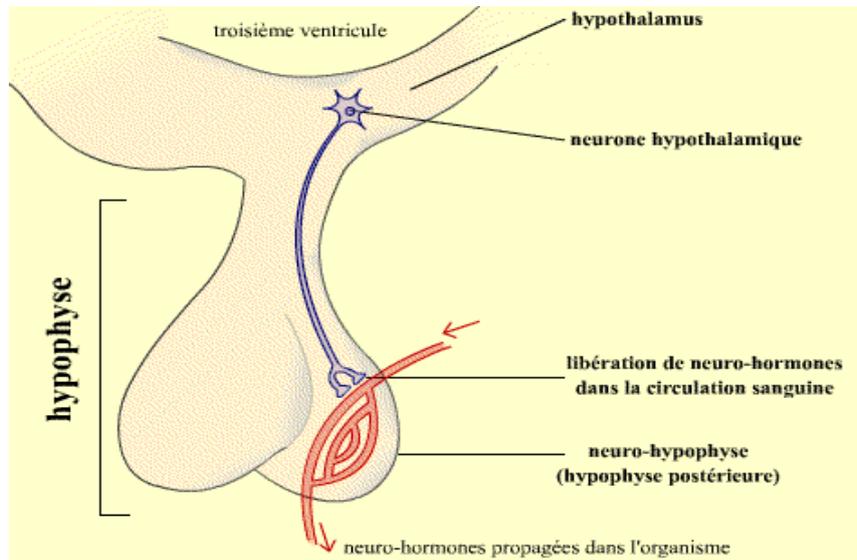


Figure 4.5. Libération de neuro-hormones au niveau de la neurohypophyse.

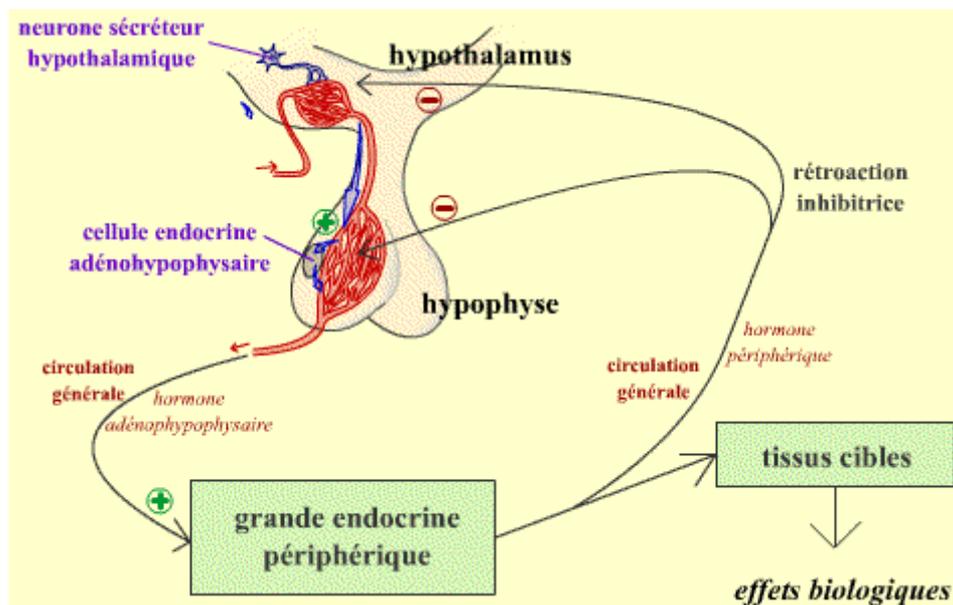


Figure 4.6. Représentation fonctionnelle (très schématique) d'un axe hypothalamo-hypophysaire. On a représenté ici le cas d'un fonctionnement en constance, grâce à une rétroaction inhibitrice. Cette rétroaction est exercée par les hormones périphériques sur les neurones sécréteurs hypothalamiques et sur les cellules endocrines adénohypophysaires.

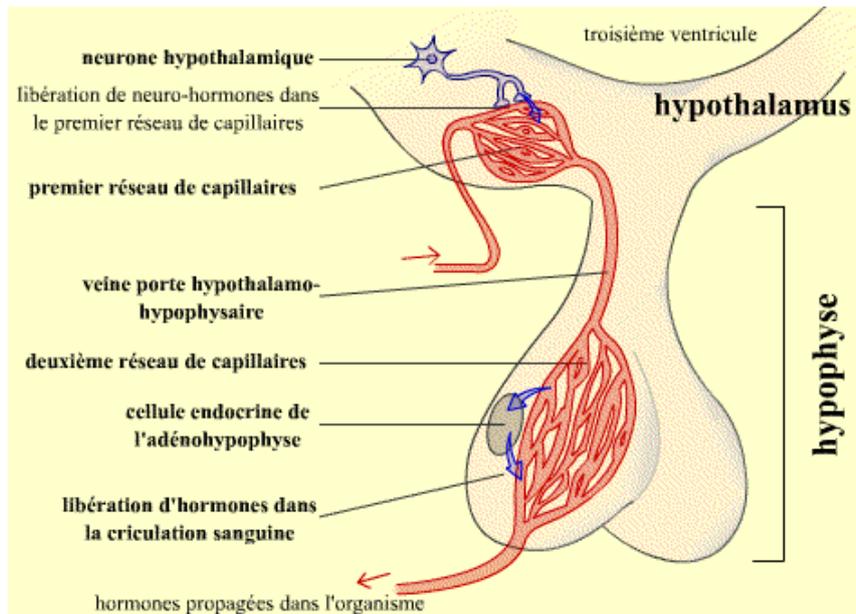


Figure 4.7. Le système porte hypothalamo-hypophysaire (SPHH) permet la transmission d'informations depuis l'hypothalamus jusqu'à l'adénohypophyse. Ces informations sont véhiculées sous forme de neuro-hormones, sécrétées par les neurones hypothalamiques, et captées par les cellules endocrines de l'hypophyse antérieure.

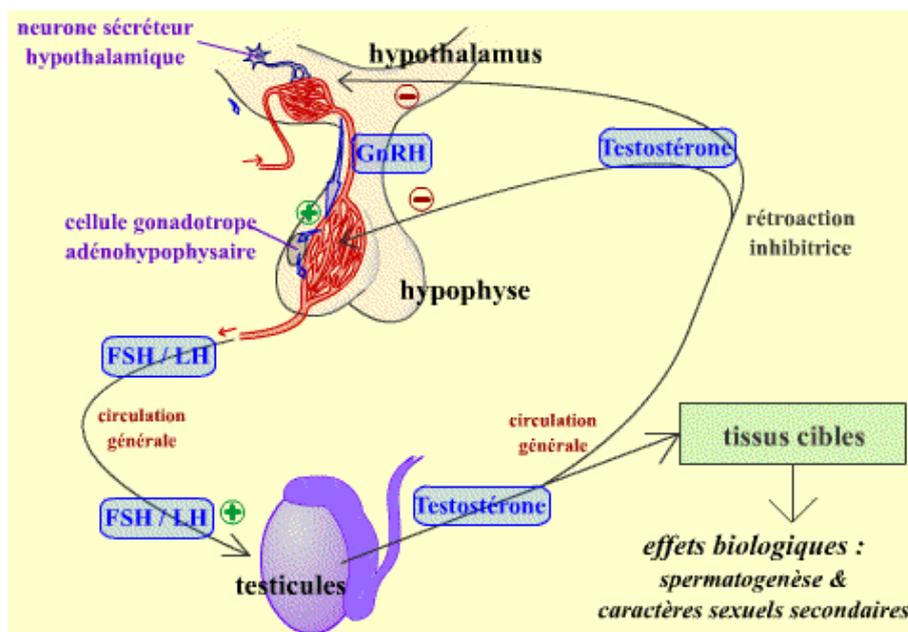


Figure 4.8. Représentation fonctionnelle de l'axe gonadotrope chez l'homme. Les neurones hypothalamiques sécrètent la GnRH, qui active la libération de FSH et LH par les cellules gonadotropes de l'adénohypophyse. FSH et LH, en agissant sur les testicules, permettent de maintenir constante la concentration plasmatique de testostérone, et ainsi les caractères sexuels masculins. La testostérone limite en retour les sécrétions de GnRH, FSH et LH.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1600 questions en anatomie et physiologie.
- Barbault R., (1981). Ecologie des populations et des peuplements. Edition, MASSON.
- Biologie Et Physiologie Animales: Cours Et Questions De Révision.
- Danchin E., Giraldeau L.A. et Cézilly F., (2005). Ecologie comportementale. Edition. DUNOD.
- Labussiere, J., (1989 et 1990). Physiologie de la reproduction des mammifères domestiques.
- Physiologie animale : Les cellules dans l'organisme.
- Physiologie animale : Les grandes fonctions.
- Ramade F., (2003). Eléments d'écologie (Ecologie fondamentale). Edition. DUNOD.
- Ramade F., (2009). Eléments d'écologie (Ecologie fondamentale). Edition. DUNOD.