

# Ecophysiologie Et Adaptation Animale

# Chapitre 1 : Les Rythmes Biologiques

## 1- Introduction

**Définition de la chronobiologie :** La chronobiologie est l'étude de l'organisation des êtres vivants en fonction des étapes temporelles, des mécanismes qui la contrôlent et des altérations qui peuvent la perturber.

Chez l'Homme, la plupart des fonctions végétatives, hormonales et comportementales suivent un rythme et sont soumises à une régulation horaire précise. **Elles seraient régies par une horloge biologique interne, elle-même régulée par des synchroniseurs. Cette horloge est surtout influencée par l'alternance des jours et des nuits et par les activités sociales.**

**Définition d'un rythme biologique :** C'est la variation périodique ou cyclique d'une fonction particulière d'un être vivant. Il est représenté mathématiquement par une fonction sinusoïdale.

## 2- Classification

Les rythmes biologiques peuvent être classés en fonction de leur période. On distingue alors :

- les rythmes circadiens ou journaliers ou nyctéméraux dont la période est de 24 heures, observés chez la plupart des êtres vivants ;
- les rythmes ultradiens dont la période varie de quelques secondes à quelques heures ;
- les rythmes infradiens dont la période supérieure à 24 heures témoigne de l'adaptation de l'organisme aux variations saisonnières de l'environnement.

Ces différents rythmes se superposent et se coordonnent.

On distingue une autre classification en termes de fréquence, également basée sur la périodicité :

- haute fréquence : variation très rapide, rapidement ajustable (telle que la fréquence cardiaque)
- moyenne fréquence : c'est l'alternance veille-sommeil. Cette période peut aller à 2,5 jours puis le sommeil paradoxal se met systématiquement en place, ne permettant pas de veiller plus de 2 nuits consécutives sans sommeil ;

- **basse fréquence** : elle se caractérise par une grande inertie au changement et intéresse plutôt les fonctions digestives sécrétoires (ce qui explique les variations pondérales en cas d'inadaptation).

### **3- Mécanismes des rythmes circadiens**

Les rythmes circadiens sont déterminés par une horloge interne régulée par des facteurs externes appelés synchroniseurs.

#### **A- Les bases anatomiques de l'horloge biologique**

Deux structures anatomiques principales sont à la base du fonctionnement de l'horloge biologique : les noyaux supra-chiasmatiques (NSC) et la glande pinéale ou épiphyse.

**Le NSC est un véritable oscillateur des fonctions neurovégétatives.** Il délivre de façon répétitive l'ensemble de ses informations selon un programme préétabli sur une durée de 24,8 ou 24,2 heures (selon les auteurs) en l'absence de toute information extérieure.

**La glande pinéale sécrète la mélatonine.** Cette sécrétion est directement liée à l'exposition lumineuse. Elle commence avec la nuit et finit quand le jour se lève.

Lorsqu'une information extérieure arrive, la lumière par exemple, celle-ci est reçue par le faisceau rétino-hypothalamique du nerf optique via la rétine jusqu'au noyau supra-chiasmatique où elle est traitée et transmise à la glande pinéale via les noyaux paraventriculaires et les ganglions cervicaux supérieurs d'où partent des fibres sympathiques vers l'hypothalamus (système neurovégétatif). Ainsi, les organes périphériques (cœur, vaisseaux, glandes hormonales...) reçoivent l'information sur les rythmes biologiques du NSC par l'intermédiaire de noyaux situés dans l'hypothalamus. La destruction de la structure hypothalamique entraîne la disparition de cette rythmicité.

#### **B- Les bases physiologiques de l'horloge biologique**

La mélatonine apparaît comme l'un des éléments fondamentaux de l'horloge interne. Sa sécrétion par la glande pinéale est **photodépendante**. Seule la lumière est capable de masquer son rythme endogène. L'exposition à une lumière suffisante (la lumière artificielle usuelle est pratiquement sans effet), de l'ordre de 2000 à 3000 lux, inhibe la sécrétion de mélatonine. **L'arrêt de l'exposition lumineuse lève le tonus inhibiteur** et entraîne de façon rapprochée la synthèse et la libération de mélatonine. Ses taux varient selon l'heure de la journée réalisant un rythme circadien, proche de 24 heures : Pratiquement indétectable en journée, **la sécrétion maximale est nocturne**, le pic survenant aux alentours de 2 heures du

matin. En cela, la mélatonine représente l'expression hormonale de l'obscurité. Elle agit sur le NSC en réduisant sa période de révolution spontanée par le biais d'une dépolarisation électrique. C'est le signal resynchroniseur du NSC qui délivre le nouvel horaire à l'ensemble des centres neuro-végétatifs. La « remise à l'heure » du NSC est quotidienne et systématique, empêchant chaque jour un décalage de notre horaire interne. La sécrétion naturelle de mélatonine est donc considérée comme un **synchroniseur interne**.

Les différents rythmes circadiens ne dépendent pas de la même régulation puisqu'ils peuvent se désynchroniser. Chacun de ses rythmes évolue de façon autonome et on parle alors de désynchronisation interne.

### **C- Notion de synchroniseurs**

Ce sont tous facteurs dont les variations périodiques de l'environnement (jour/nuit, bruit, chaud, froid, odeurs, prise alimentaire,...) sont susceptibles de modifier la période et/ou la phase d'un rythme biologique.

**Les synchroniseurs ne créent pas la rythmicité mais calibrent et remettent à l'heure les rythmes circadiens de façon naturelle et insensible.** Pour les hommes, c'est l'alternance du repos et de l'activité liée aux impératifs d'horaires de la vie sociale qui joue le rôle de synchroniseur prépondérant. Chez de nombreuses espèces animales et végétales, c'est l'alternance de la lumière et de l'obscurité qui joue ce rôle

## **4- Quelques exemples de rythmes circadiens chez l'homme**

De nombreuses fonctions biologiques ont un rythme circadien.

- **La température corporelle**

- augmentation après le réveil, un pic vers 18 heures, minima vers 4 heures.

- **La tension artérielle**

- **La fréquence cardiaque**

- **Le quotient respiratoire**

- **Les fonctions gastro-intestinales**

- motilité, activité enzymatique, sécrétion acide (ex : vitesse de vidange gastrique plus de 50% plus lente pour les repas de soir que pour ceux du matin).

- **La fonction urinaire**

- **Les sécrétions hormonales**

- cortisol plasmatique (sécrétion nulle entre 0 et 4 heures, sommet de sécrétion atteint vers 8 heures).

- Hormones sexuelles, thyroïdiennes, surrénaliennes,...;

- sécrétion nocturne d'hormones comme la prolactine, l'hormone de croissance et la mélatonine.

- La formule sanguine

- La douleur

- Les capacités intellectuelles

- L'appétit, l'humeur, la fatigue, l'activité sexuelle, l'énergie,...

- La vigilance

- La vigilance et l'attention varient au cours de la journée et sont très diminuées entre 15 et 17 heures.

Ainsi, au cours d'une journée de 24 heures, le fonctionnement de l'organisme humain n'est pas stable. Chaque fonction biologique présente un rythme qui lui est propre : chacune va passer par un minimum et un maximum qui se situe à des heures bien précises. C'est entre 3 et 4 heures du matin que le fonctionnement de l'organisme est à son plus bas niveau. Ces rythmes biologiques sont régulés par une horloge biologique interne réglée sur le rythme jour/nuit et sur l'alternance veille/sommeil. Quand les horaires de travail amènent à empiéter sur le sommeil, soit en se levant très tôt, soit en se couchant très tard, l'ensemble des rythmes biologiques de l'organisme est perturbé. Chez les personnes soumises à des horaires décalés, les informations des signaux environnementaux (rythmes sociaux) et celles véhiculées par le cycle veille/sommeil ne sont pas en phase et **ce déphasage aboutit à des perturbations physiologiques** du sommeil, des fonctions digestives, du système cardio-vasculaire et de l'équilibre nerveux.

Il existe actuellement des moyens d'exploration de l'horloge biologique interne et des moyens thérapeutiques en cas de dérèglement de l'horloge biologique.

## 5- Moyens d'exploration de l'horloge biologique interne

La mélatonine et son rythme circadien de sécrétion sont les indices les plus fidèles du fonctionnement de l'horloge interne. C'est l'heure d'apparition du pic de mélatonine, témoin de la mise en route de la resynchronisation, de l'organisme qui semble être le paramètre le plus important à prendre en compte pour déceler un éventuel décalage de phase (avance ou retard) ou une désynchronisation du rythme.

## 6- Les pathologies de l'horloge biologique interne

Les pathologies de l'horloge interne peuvent être causées par :

- Une atteinte lésionnelle des bases anatomiques du système :

- Pinéalectomie ;
- lésions hypothalamiques (tumeurs, infiltrats,...) ;
- lésions du noyau supra-chiasmatique.

- Une atteinte fonctionnelle :

- cécité : qui se traduit par l'absence de toute information lumineuse mais la conservation des rythmes sociaux ;
- travail à horaires décalés : qui se traduit par la contradiction entre les rythmes sociaux et les rythmes biologiques.

Ces éléments entraînent une perturbation des rythmes biologiques (décalage d'apparition des pics hormonaux, des rythmes circadiens de la température, de la mélatonine...).

Les sujets se plaignent alors :

- de troubles du sommeil de tous types ;
- d'irritabilité ;
- de troubles de la mémoire et de la concentration ;
- d'asthénie.

Les dépressions sont fréquentes.

**Ces symptômes disparaissent lorsque la cause de dysfonctionnement cesse (travail posté, par exemple) ou après une chronothérapie.**

## 7- La chronothérapie

**Il existe actuellement 3 moyens thérapeutiques efficaces :**

- **la photothérapie** : elle doit être d'une intensité de 2000 à 2500 lux et d'une durée d'administration de 1 heure ;
- **l'administration de mélatonine** : elle doit être administrée de façon répétée et à des horaires précis.
- **Les manipulations non pharmacologiques du rythme veille/sommeil** par privation de sommeil ou décalage progressif des heures d'endormissement.

## 8- Le sommeil

Le sommeil occupe aujourd'hui, comme le travail, un tiers de nos vies.

Toute perturbation du sommeil retentit sur le travail en entraînant une mauvaise vigilance et, inversement, de mauvaises conditions de travail ont un retentissement sur le sommeil.

### A- Les différents stades du sommeil

Le sommeil se définit comme une altération de la conscience ou une inconscience partielle à laquelle on peut mettre fin par une stimulation.

Les stades du sommeil sont déterminés par l'activité électrique de cerveau. Le sommeil évolue de manière cyclique au cours de la nuit. Chaque cycle a une durée moyenne de 60 à 90 minutes où l'on retrouve deux grandes catégories de sommeil : le sommeil lent et le sommeil paradoxal.

**Le sommeil lent**, caractérisé par l'apparition d'ondes lentes à l'EEG, est lui-même subdivisé en 4 stades :

- **le sommeil lent léger avec une phase d'endormissement, le stade 1** (ondes alpha de faible voltage), de transition entre l'éveil et sommeil, où le réveil est encore facile, **puis le stade 2** amorçant le sommeil confirmé, le plus représenté avec habituellement 50 % de la durée totale de sommeil, où le réveil est plus difficile (fréquence lente, complexes K et fuseaux de sommeil).
- **le sommeil lent profond**, qui occupe 20 % de la durée totale de sommeil, **avec le stade 3** (grande fréquence d'ondes delta amples, ralentissement très net de l'activité EEG) où l'activité musculaire est pratiquement abolie, **et le stade 4**, stade le plus profond (ondes lentes delta sur au moins 50 % de la période considérée) où les signes vitaux atteignent leur niveau

le plus bas. Lorsque le sujet est réveillé en sommeil lent profond, il met quelque temps à retrouver ses esprits et un état de vigilance normale.

Le sommeil lent profond est le sommeil réparateur des fonctions nobles. Il intervient également dans la mémorisation des faits rationnels.

**Le sommeil paradoxal** : il représente 25 % de la durée totale de sommeil. Il est caractérisé par une activité cérébrale intense, avec à l'EEG des ondes rapides proches des ondes alpha de l'état de veille, alors même que le sujet est profondément endormi. L'EOG montre des mouvements oculaires rapides, le tonus musculaire est effondré, les rythmes cardiaques et respiratoires sont irréguliers et parfois rapides, la TA est variable. C'est le stade où se produisent 90 % des rêves. Il se répète périodiquement dans la nuit et donne sa structure au sommeil en cycles de sommeil de 60 à 90 minutes.

Certains facteurs de variations peuvent influencer l'organisation et la durée du sommeil.

#### **B- Les facteurs de variation du sommeil**

**Le facteur génétique** : la durée moyenne de sommeil chez l'adulte est de 7h30 +/- 1 heure. Les « gros dormeurs » ont besoin de 9 heures et les « petits dormeurs » se contentent de moins de 6h30.

**L'âge** : Le sommeil évolue avec l'âge. L'adulte a besoin de 7h30 +/- 1 heure de sommeil par jour. Chez la personne âgée, le sommeil se caractérise par une tendance au lever et au coucher plus précoce et avec des réveils plus fréquents.

**L'homéostasie** : la durée et la qualité du sommeil dépendent de la durée de l'éveil précédant le sommeil. Si la durée de veille aura été importante le sommeil lent profond sera plus long. Si l'on fait une sieste, la quantité de sommeil sera diminuée. Le besoin de récupération du sommeil lent profond prime toujours sur la récupération de tout autre type de sommeil.

**Les rythmes circadiens** : les rythmes circadiens, comme le rythme de la température, influencent le rythme de sommeil. Le sommeil lent profond et le sommeil paradoxal ne peuvent pas survenir avec la même facilité à n'importe quel moment de la journée. Le sommeil paradoxal apparaît au moment du minimum thermique et disparaît lors du maximum.

### **C- Le rôle du sommeil**

Même si le sommeil sert à réparer et à reposer, ce n'est pas une période de tout repos.

**Le rêve :** il a un rôle essentiel dans la structuration de l'individu. Il est prédominant pendant le sommeil paradoxal. Par exemple, les sujets privés de sommeil à titre expérimental présentent une certaine instabilité émotionnelle et des troubles de la personnalité.

**Le contrôle de certaines sécrétions hormonales :** la prolactine, dépendante du sommeil dans son ensemble, la GH, qui apparaît lors du stade 2 du sommeil lent, et la mélatonine dont la sécrétion augmentée pendant la nuit peut être supprimée par une exposition à la lumière de haute intensité et semble être plus liée au rythme lumière/obscurité qu'au rythme veille/sommeil.

La répartition du sommeil paradoxal serait liée à celle de la température, en revanche la répartition du sommeil lent est plus liée à la dette de sommeil, c'est-à-dire à la longueur de la veille préalable.

La première partie de la nuit permet à l'homme une récupération physique tandis que la seconde partie permet une récupération psychique.

## **9- Conclusion**

L'ensemble de nos fonctions sont soumises à des rythmes biologiques ordonnés par une horloge biologique interne, elle-même régulée par des synchroniseurs qui permettent l'adaptation aux conditions environnementales et dont les principaux sont l'activité socio-professionnelle et le rythme veille/sommeil.

Il apparaît donc évident que les horaires et les contraintes imposés par une activité socio-professionnelle vont influencer voire modifier ces rythmes.

**Il est important que le médecin du travail sache repérer ces dysfonctionnements par une surveillance appropriée et connaisse les mesures susceptibles d'améliorer les conditions de travail en se basant sur ces notions de physiologie.**

# **CHAPITRE II : MECANISMES MOLECULAIRES DES HORLOGES CENTRALES**

## **1. INTRODUCTION**

Tout être vivant possède une horloge circadienne, nécessaire à la régulation d'une multitude de systèmes physiologiques. L'horloge centrale des mammifères est située dans le noyau suprachiasmatique de l'hypothalamus antérieur. Les mécanismes moléculaires sous-jacents à l'établissement et au maintien des rythmes biologiques commencent depuis peu à être élucidés. Chez tous les organismes étudiés, ces mécanismes reposent sur des boucles d'autorégulation négative et impliquent l'expression de facteurs de l'horloge, qui répriment leur propre transcription lorsqu'ils atteignent des taux d'expression critiques. En outre, de nouveaux travaux concernent l'étude d'horloges périphériques qui semblent exister dans divers tissus, voire diverses cellules indépendantes, ainsi que la recherche des photorécepteurs impliqués dans la réception des signaux provenant de l'environnement

## **2. LES HORLOGES CENTRALES**

Chez les bactéries, les champignons et les animaux, une multitude de phénomènes dépendent également des rythmes circadiens. Chez l'animal, l'horloge est localisée dans des régions spécifiques du système nerveux central. Chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, l'épiphyse (ou glande pinéale), une petite glande située au sommet du cerveau, reçoit directement la lumière, produit des rythmes circadiens et sécrète des hormones de façon rythmique. Il s'agit donc du fameux «troisième œil», puisque chez ces animaux, la réception de la lumière n'est pas l'apanage des yeux. Il y a plus de trois siècles et demi, René Descartes avait déjà réalisé l'importance de l'épiphyse dans les rythmes biologiques, et voyait en elle un lien entre les signaux lumineux reçus par les yeux et les divers phénomènes physiologiques influencés par ces signaux. Descartes postulait que cet organe est le point de contact, ou l'intermédiaire entre la pensée et le corps. Chez les mammifères, la situation est un peu plus complexe.

La glande pinéale synthétise l'hormone mélatonine de façon rythmique, mais ne constitue pas elle-même une horloge, puisqu'elle dépend d'autres structures pour produire ces oscillations. L'horloge centrale est localisée dans le noyau suprachiasmatique (NSC) qui se trouve dans la partie antérieure de l'hypothalamus. Le NSC produit plusieurs

neuropeptides de manière circadienne et envoie des signaux oscillants à la glande pinéale. Ces horloges physiologiques fonctionnent également en conditions constantes. Ainsi, même si un individu est maintenu dans un environnement dépourvu d'indications temporelles et sans changement de lumière, ses rythmes physiologiques seront maintenus. Le NSC constitue une horloge autonome et peut remplir son rôle sans apports extérieurs, ce qui explique la persistance des rythmes biologiques.

Différents synchroniseurs, dont l'alternance jour-nuit chez la plupart des animaux et des facteurs de nature socio-écolo-gique chez l'homme, pourront cependant influencer l'horloge du NSC, en ajustant sa période exactement à la longueur du jour ou en changeant sa phase pour la synchroniser avec un nouvel environnement, par exemple en cas de décalage horaire (pour une définition de la période ainsi que d'autres caractéristiques des rythmes, se référer à l'encadré ci-contre). Le rôle central du NSC dans la production des rythmes circadiens a pu être défini grâce à plusieurs approches expérimentales.

### 3. LES GENES DE L'HORLOGE

Chez l'humain, on peut décrire le rôle des principaux acteurs de l'horloge moléculaire, même si chacun possède souvent plusieurs sous-types aux fonctions légèrement différentes. Les deux ressorts principaux, si l'on peut s'exprimer ainsi, sont des gènes appelés *Per* (period circadian protein) et *Cry* (cryptochromes). Ceux-ci ne peuvent toutefois être actifs que si une région précise de leurs séquences d'ADN (appelée « E-box element » en anglais) reçoit la visite de deux protéines. Ces deux protéines liées l'une à l'autre (on dit aussi qu'elles forment un complexe) sont la protéine CLOCK (*circadian locomotor output cycles kaput*) et la protéine BMAL1 (*brain and muscle ARNt like protein 1*). Leur fixation sur le « E-box element » des gènes *Per* et *Cry* permet donc la transcription en ARN messager (ou ARNm) de ces gènes. Contrairement à l'ADN des gènes, l'ARNm peut sortir du noyau par les pores nucléaires et se rendre dans le cytoplasme où il sera traduit en protéine par les ribosomes.

La protéine PER, résultat de la traduction de l'ARNm du gène *Per*, se dégrade rapidement à moins qu'elle forme elle aussi un complexe. Ce complexe peut être constitué de protéines PER, ou bien de protéines PER et de protéines CRY. Ces complexes vont ensuite pénétrer dans le noyau de la cellule et interagir avec les complexes CLOCK / BMAL1 de manière à les rendre inactifs. C'est ainsi que se crée la boucle de rétroaction négative, les

protéines PER et CRY, produit des gènes du même nom, venant inhiber leur propre production.

Au bout d'un certain temps, les complexes de protéines PER et CRY se dégradent et sont remplacés par d'autres complexes ayant pénétré dans le noyau. Mais éventuellement, il n'y aura plus assez de complexes disponibles pour bloquer l'activation des gènes *Per* et *Cry* parce qu'il n'y a justement plus de protéines PER et CRY de produites. L'inhibition sur CLOCK / BMAL1 sera alors levée, et la transcription des ARNm de *Per* et *Cry* reprendra. Environ 24 heures se seront alors écoulées depuis le début du processus

Notre horloge biologique est d'une grande régularité, avec un niveau de précision de l'ordre de 1%. Mais comme une montre qui n'est jamais d'une précision parfaite, il doit y avoir un mécanisme pour empêcher chaque cellule d'accumuler ces petites erreurs. Autrement dit, notre horloge biologique doit pouvoir se synchroniser avec des indices externes lui indiquant le début d'un nouveau jour. Et comme l'intensité lumineuse est l'indice premier permettant de déterminer le moment de la journée, ce sont des photopigments spéciaux de la rétine qui détectent ces fluctuations d'intensité lumineuse et transmettent ce message à notre horloge biologique.

#### **4. L'HORLOGE ET SES BOUCLES DE RETROACTION**

Difficulté d'autant plus grande qu'on s'est rendu compte que chaque espèce possède des variantes qui lui sont propres. L'horloge biologique humaine possède par exemple certaines molécules qui sont les mêmes que l'horloge biologique de la mouche drosophile, mais aussi d'autres qui lui sont propres. Mais dans tous les cas, l'horloge fonctionne grâce à ce qu'on appelle couramment une boucle de rétroaction négative.

Le point de départ de cette boucle, ce sont des gènes, donc des bouts d'ADN qui fournissent les plans pour fabriquer des protéines. Ces plans sont transmis du gène au cytoplasme, lieu de production des protéines, par une molécule appelée ARN messenger (ou ARNm). Mais alors que la plupart des protéines demeurent habituellement dans le cytoplasme où elles remplissent différentes fonctions (on les appelle parfois « les briques du vivant »), celles qui sont impliquées dans notre horloge biologique retournent dans le noyau où se trouvent l'ADN et se fixent sur le gène qui les a produites. Ce faisant, elles arrêtent l'activité de leur propre gène. Moins de protéines sont alors fabriquées, si bien qu'à un

moment donné, il n'y a plus assez de protéines qui retournent dans le noyau pour empêcher leur production et celle-ci reprend. Environ 24 heures se sont alors écoulées. Les protéines commencent ensuite à s'accumuler à nouveau, initiant du même coup un nouveau cycle.

## Chapitre III : NOTION D'ADAPTATION

Il s'agit de l'adaptation des êtres vivants aux conditions de leur milieu. L'adaptation, c'est l'ensemble des moyens anatomiques et morphologiques, qu'utilisent les êtres vivants pour se maintenir dans leur milieu. Sauf exceptions rares, une plante, un animal terrestre ne peuvent vivre dans l'eau ; une plante, un animal aquatique ne saurait vivre longtemps hors de l'eau. Nous disons que les uns et les autres sont adaptés au milieu qu'ils fréquentent. Il n'existe pas d'espèce capable de vivre dans n'importe quel milieu.

### 1 – Adaptation des végétaux dans le milieu terrestre :

#### a) – *Adaptation aux variations de Température :*

Beaucoup de plantes meurent en hiver, ce sont les plantes annuelles.

Ces plantes sont conservées sous forme de graines, enfouies dans le sol ou protégées par des enveloppes (haricots, riz) Les autres plantes sont des plantes vivaces. Elles résistent au froid grâce à des structures anatomiques particulières, comme les couches de liège sur les tiges ou des enveloppes protectrices des bourgeons et des fruits. Les plantes ligneuses vivaces (arbres et arbrisseaux) réagissent au froid en ralentissant leur activité physiologique. Certains conservent leur feuillage (persistant) d'autres les perdent complètement (feuillage caduc).

Les plantes herbacées vivaces peuvent vivre plusieurs années. Quand l'hiver arrive, certaines sont réduites à une rosette de feuilles étalées sur leur sol (exemple la marguerite). D'autres perdent les feuilles et il ne leur reste qu'une tige sèche rampante (la vigne par exemple), chez d'autres encore, il ne reste plus rien à la surface du sol, mais les plantes sont conservées sous terre sous forme de rhizomes, bulbes ou tubercules (exemple le dahlia, et la pomme de terre).

#### b)- *Adaptation aux variations de l'Humidité :*

Ce sont des adaptations anatomiques utilisées soit pour une recherche de l'eau dans le sol, soit pour une économie stricte de l'eau qui est dans les tissus, soit pour la mise en réserve de l'eau pendant la saison des pluies.

Cette réserve sera utilisée pendant la sécheresse :

Recherche de l'eau : Les racines s'enfoncent profondément et se ramifient beaucoup pour atteindre l'eau.

Economie de l'eau : les plantes respirent par les feuilles grâce à leurs stomates. Chez les plantes des milieux secs, il y a réduction de la surface foliaire :

Les feuilles sont allongées, étroites, dirigées verticalement (exemple l'œillet et thym)

L'épiderme supérieur est recouvert de cuticule épaisse.

Mise en réserve d'eau : Les plantes ont des feuilles charnues, gorgées d'eau pendant la saison des pluies et peuvent résister à la sécheresse prolongée. Les plantes ont des tiges ou des troncs gorgés d'eau, exemple : le cactus, le baobab.

***c)- Adaptation aux variations de la luminosité :***

Les plantes ont un besoin absolu de lumière pour accomplir la fonction chlorophyllienne qui est une fonction essentielle. Mais l'intensité de lumière nécessaire n'est pas la même pour toutes les plantes.

Il y a des plantes qui ne se développent qu'à l'ombre, ce sont les plantes sciaphiles telles que les fougères. Les plantes qui ne peuvent vivre qu'en plein soleil, sont appelées des plantes héliophiles telles les haricots, les tournesols, tomates. Les plantes grimpantes se hissent sur des supports à la recherche du soleil.

***d)- Adaptation aux variations du sol :***

Les besoins des végétaux en sels minéraux ne sont pas les mêmes pour tous. Ainsi on distingue :

Les plantes nitrophiles poussent sur des milieux riches en azote (décombres, fumier). Citons à titre d'exemple les orties.

Les plantes calcicoles poussent sur des sols calcaires.

Les plantes salicoles (les buis) poussent sur des sols siliceux comme la fougère aigle.

De même, les plantes acidophiles poussent sur des sols acides et les plantes basiphiles sur des sols à réaction basique.

***e)- Adaptations concernant la Reproduction :***

Il y a des différences morphologiques qui permettent de distinguer familles, genres, espèces et des différences biologiques permettant la dissémination du pollen.

***f)- Adaptations concernant la dissémination :***

Il existe divers moyens de dissémination et de dispositifs anatomiques.

## **2- Adaptation des végétaux dans le milieu aquatique :**

### ***a)- Adaptations à la profondeur de l'eau :***

C'est la profondeur qui règle la répartition des végétaux au fond de l'eau. En effet il y a plusieurs zones formées :

- par des plantes enracinées au fond, mais avec une partie dressée au-dessus de la surface, comme le jonc, les roseaux.

Ces plantes opposent au vent à cause de leur surface réduite. Elles ont de tiges cylindriques, peu épaisses, allongées, très souples. Elles sont soit sans feuilles, soit avec des feuilles rubanées pliées en 2 dans le sens de la longueur.

- étant donné la densité de l'eau, les plantes immergées n'ont pas besoin de tissu de soutien.
- le tissu de soutien chez les plantes qui émergent est représenté par des piliers longitudinaux qui leur laissent toute leur souplesse. Il y a aussi des lacunes aérifères qui jouent le rôle de flotteur. Exemple le nénuphar le jonc.

### ***b)-Adaptations aux variations des facteurs édaphiques :***

Les parties aériennes .des plantes utilisent le CO<sub>2</sub> et l'O<sub>2</sub> de l'air mais les parties immergées utilisent ces gaz dissous dans l'eau. Leur pénétration est favorisée par un tissu lacuneux et un épiderme dépourvu de cuticule.

### ***c)- Adaptations concernant la reproduction :***

Certaines plantes ont un mode de reproduction spécialement adapté au milieu aquatique par exemple la reproduction sexuée (cas des poissons).

La reproduction végétative est très importante chez un grand nombre de plantes aquatiques telle la formation de nouveaux pieds à partir de rhizomes. Des petits rameaux qui se détachent et emportés par le courant, vont coloniser d'autres endroits .c'est le cas de l'élodée.

### **3- Adaptations des animaux dans le milieu terrestre :**

#### ***a)- Adaptations aux variations de température :***

Les animaux se protègent contre les variations excessives de température par des modifications de leur comportement. Il y a très peu d'adaptations anatomiques contre le froid, sauf l'apparition dans le derme de la peau de couches de graisses protectrices, ou bien le fait que les plumes et les poils s'accroissent et s'épaississent pendant l'hiver. Chez les Invertébrés, les adultes meurent avant l'hiver, et les œufs ou les larves sont cachés et protégés dans des abris.

#### ***b)- Adaptations à la lumière :***

La lumière exerce surtout son action sur le comportement. Du point de vue anatomique, par exemple on remarque l'absence d'yeux chez les animaux qui habitent les grottes ou les fissures sombres (cavernicoles) ou ceux qui vivent dans le sol.

#### ***c)- Adaptation à la respiration aérienne :***

Chez les Vertébrés terrestres, et quelques Invertébrés, l'appareil respiratoire est constitué par des poumons.

Les Invertébrés et les Arthropodes respirent par des trachées, petits tubes qui s'ouvrent à l'extérieur et ramifiés à l'intérieur du corps. (Criquets...)

Certains animaux terrestres n'ont pas d'appareil respiratoire, tel le lombric ou ver de terre. Les échanges gazeux se font à travers la peau qui doit être maintenue humide.

#### ***d)- Adaptations en relation avec la nourriture :***

Du point de vue alimentation, il ressort trois catégories d'animaux : les Herbivores, les Carnivores et les Omnivores.

Dans chaque catégorie, il existe des subdivisions. Certains insectes ne se nourrissent que d'une seule plante. C'est la notion de spécificité.

Les problèmes qui concernent l'alimentation sont de trois sortes :

- La recherche de l'aliment,
- Sa capture pour les carnivores,
- La mastication de l'aliment

Ainsi :

- il y a adaptation à la chasse, à la capture des proies, à la Fuite du camouflage,

- il y a adaptation à la mastication, par des dentures diverses (formules dentaires), par différentes formes de bec pour les oiseaux et les pièces buccales des Invertébrés.

***e)- Adaptations à la locomotion***

Les modes de locomotion sont très variés suivant les milieux où vivent les animaux tels la marche, le fouissage, la nage, le vol.

En rapport avec les modes de locomotion, il existe aussi des particularités anatomiques diverses.

A titre d'exemple, des pattes postérieures très développées, adaptées au saut comme le lapin, la sauterelle et le kangourou.

#### **4. Adaptations des animaux au milieu aquatique :**

***a)- Adaptations à la respiration aquatique :***

La plupart des animaux aquatiques respirent par diverses formes de branchies (poissons, crustacés, mollusques, vers) Les larves de certains insectes (*terrestres*) ont de véritables branchies, appelées aussi des branchies trachéennes. Des animaux aquatiques tels que dytiques, nêpe, larves de moustiques etc. viennent respirer à la surface de l'eau, grâce à un tube respiratoire. D'autres (hydres, vers, etc...) ne disposent pas d'appareil respiratoire, les échanges de gaz se font directement à travers la peau.

***b)- Adaptations à la nourriture :*** Il y a des adaptations variées selon le type d'alimentation : PHYTOPHAGE ou ZOOPHAGE.

***c)- Adaptations au déplacement :***

Les modes d'adaptation sont variés selon que l'animal est dans la vase, sur les plantes, sur des pierres, en pleine eau ou à la surface.

***d)- Adaptations concernant la reproduction :***

Au niveau des poissons et batraciens, les femelles pondent des œufs dans l'eau, les mâles les arrosent ensuite par leurs spermatozoïdes. Les œufs sont très nombreux, mais il y a beaucoup de perdus.