

Jeudi 25 novembre

« *Phosphorescence naturelle, luminescence, photosynthèse,
l'ombre et la lumière dans l'écologie* »

par Pierre FRAPA, naturaliste, entomologiste

En complément de ce qu'a dit Sébastien GIORGIS en préambule, je veux préciser que je ne suis spécialiste d'aucune des problématiques que je vais soulever. Il m'a demandé de faire une intervention sur le thème « Paysages, ombres et lumières », j'ai hésité, car je me suis demandé si j'en étais capable. Finalement, j'ai accepté trouvant le sujet amusant, et puis, ça m'a permis de réviser un certain nombre de sujets, et aussi, d'apprendre de nouvelles choses. Il y a sûrement des domaines où certaines personnes dans la salle pourront ne pas être d'accord, ces contestations feront l'objet d'une discussion à la fin de mon intervention.

J'ai préparé une synthèse bibliographique et internautique du sujet sur la vie, l'ombre et la lumière et sur la manière dont ces trois éléments interagissent. Elle est disponible.

Mon exposé se découpe en quatre parties inégales : la première, qui traitera du sujet – pour ceux dont les études scolaires du secondaire ne sont pas trop loin, ce ne seront que des rappels – de la lumière en tant que **source de vie**.

La deuxième partie abordera une question récente moins connue, « **La vie source de lumière** », pour parler des êtres vivants qui sont capables de créer de la lumière. Mon but est d'essayer d'expliquer, brièvement, par quels moyens ils y arrivent et ce qu'ils en font.

La troisième partie, qui est peut-être la plus importante, qui me semble la plus intéressante à développer, est : « Comment se passe **la vie à l'ombre** ? ». On dit effectivement que la lumière est la vie, mais il y a aussi de la vie sans lumière.

Enfin, la dernière partie, que j'ai appelé « **trop de lumière pour vivre** », mettra en évidence que, dans certaines conditions, la lumière peut poser un problème de survie pour certains êtres vivants.

Commençons donc avec quelques rappels basiques. La **photosynthèse** est la synthèse de molécules qui vont permettre la vie, ou la survie, des êtres vivants, à partir de la lumière. On retrouve ce préfixe, « photo », qui désigne la lumière. La photosynthèse s'effectue dans les éléments verts des plantes, à partir de leurs cellules, et par autotrophie. L'autotrophie des cellules végétales et des organismes végétaux est leur capacité à s'alimenter (« trophie ») elles-mêmes (« auto »), à créer de la matière organique, de la matière vivante, à partir de matière minérale et de lumière. À l'intérieur de la cellule végétale, on trouve des organites. Ce sont des petits « grains » qui sont, à l'origine, des bactéries s'étant, à des époques très anciennes de l'évolution, associées à des végétaux très primitifs et se sont complètement « fondues » dans des cellules végétales dans une relation symbiotique, qui est une relation à bénéfice réciproque.

On trouve ainsi, à l'intérieur des cellules des végétaux autotrophes, des chloroplastes qui nous intéressent ici. À l'intérieur de ces organites, il y a des empilements de disques qui contiennent ce que l'on appelle la chlorophylle. C'est un terme que tout le monde connaît. C'est une substance chimique, support de cette activité de photosynthèse, laquelle se décompose en deux parties : une phase dite « lumineuse » et une phase dite « obscure », sachant qu'à partir d'eau, de lumière et de gaz carbonique, les plantes synthétisent les glucides, qui sont donc les sucres qui permettront l'alimentation des plantes et la libération de l'oxygène.

La phase lumineuse se passe réellement au niveau de la chlorophylle, avec la décomposition de l'eau sous l'effet de la lumière solaire, et la libération d'oxygène. À partir de l'énergie, qui est créée par cette réaction, se développe ce que l'on appelle le cycle de Calvin-Benson. Ce cycle comporte, d'une part, une phase d'absorption du gaz carbonique et, d'autre part, une phase de libération des sucres, qui sont à la base de l'alimentation des plantes, mais aussi de la plus grande partie de l'écosystème terrestre.

Mais ce système ne fonctionne donc grâce aux producteurs primaires que sont les végétaux chlorophylliens, qui apportent l'énergie de l'extérieur du système, par l'énergie solaire ou l'énergie lumineuse artificielle.

Cet apport énergétique permet, à partir de la matière minérale du sol, de créer toute une chaîne alimentaire. Cette chaîne débute par des producteurs primaires, les plantes, qui vont être consommées par les herbivores, le second niveau de la chaîne, qui seront à leur tour mangés par les carnivores. On trouve ainsi dans la plupart des écosystèmes cinq ou six niveaux avant le dernier, les décomposeurs, qui vont ramener la matière organique morte dans le sol.

Le moteur de ce cycle est la lumière, dont la première source est le soleil.

Le **photopériodisme** est un autre élément important. Il représente une adaptation des êtres vivants aux conditions du milieu qui changent avec l'accroissement de la longueur des jours. Les jours augmentant en durée, les ressources trophiques, qui sont en quelque sorte l'alimentation disponible, décuplent. On comprend qu'en été, il y a plus de choses à manger qu'en hiver, au moins en dehors des zones inter-tropicales. Il a bien fallu que les organismes vivants s'adaptent à cette variation. Leur physiologie, le mode de fonctionnement de leur mécanique interne, s'est donc coordonnée avec les variations des conditions d'alimentation. L'indicateur le plus sûr de cette variation est la longueur des jours, c'est celui qui ne varie pas, contrairement à la température, ou à l'humidité, par exemple, qui sont des facteurs pouvant varier d'une année sur l'autre. C'est donc le plus fiable.

L'homme aussi utilise ces phénomènes naturels, et les a aussi repris à son compte. Je citerai deux exemples pour illustrer ce phénomène.

Le premier est le maïs, qui est une plante originaire d'Amérique Centrale, mais qu'on a réussi à développer dans une grande partie de l'Europe, dans l'hémisphère nord, et aussi dans l'hémisphère sud. Le facteur qui a permis cette extension est la sélection du maïs. Juste après la guerre, ont été menés, en France, de gros travaux de recherche agronomique sur la sélection du maïs. Le facteur le plus déterminant qui a permis le développement de la culture de cette céréale est la sélection artificielle des variétés qui étaient moins sensibles au fait d'avoir des jours plus courts.

Mon deuxième exemple aux concerne les animaux, il s'agit plus précisément de la production laitière. Assez logiquement, les animaux des zones tempérées sont généralement programmés pour se reproduire au moment le plus favorable en termes d'alimentation. La production laitière, qui est évidemment associée à la reproduction, est très saisonnalisée en fonction du photopériodisme qui touche aussi les animaux. Dans certaines productions intensives, on arrive, en éclairant artificiellement les étables, à augmenter ou à régulariser la production de lait. On peut aussi favoriser le tarissement périodique des vaches laitières en diminuant la longueur du jour artificiel.

Passons maintenant à la seconde partie, sur « **la vie, source de lumière** », le pour parler du phénomène de bioluminescence ou photogenèse, qui est la production de lumière par un organisme vivant. Ce phénomène se produit dans un nombre assez important d'organismes. C'est un principe qui utilise deux types de molécules chimiques : la luciférine et la luciférase. La luciférine est un substrat qui va permettre, par oxydation-réduction, de créer des photons. La

luciférase est le catalyseur qui va permettre cette réaction. La nature de cette luciférine et de cette luciférase est extrêmement variable. On devrait parler de « complexes » luciférines-luciférases, parce qu'il existe, à peu près, 700 espèces qui sont capables de photogenèse, qui appartiennent à dix-sept branches des arbres de l'évolution. On pourrait presque dire que chacune de ces espèces a un couple luciférine-luciférase particulier. Ces organismes appartiennent à des groupes extrêmement différents. Il s'agit de ce que les spécialistes de l'évolution appellent une convergence. On verra que les bactéries sont extrêmement importantes, beaucoup d'organismes vivants qui produisent de la lumière le font indirectement, par le biais de bactéries symbiotiques qui vivent dans leurs corps. On dénombre pourtant, parmi les êtres vivants qui sont eux-mêmes capables de photogenèse, des organismes autres que les bactéries : des insectes, des mollusques, des méduses, des étoiles de mer, des poissons.

A quoi cette capacité peut leur servir ? On ne peut pas affirmer que les êtres vivants concernés en tirent toujours un réel avantage. Dans un certain nombre de cas, nous n'arrivons pas à déterminer l'avantage évolutif que cette fonction apporte à l'organisme vivant qui la supporte. Mais pour d'autres, on a clairement identifié une fonction biologique à ce phénomène. Dans certaines forêts tropicales humides, il y a des champignons saprophytes (qui consomment le bois) qui sont bioluminescents. On peut voir des forêts illuminées par des bois en décomposition. Mais en ce qui concerne les animaux, puisque je parle surtout des animaux, on a recensé un certain nombre de fonctions individuelles. Ces facultés concernent beaucoup de poissons, et, en fait, beaucoup d'organismes aquatiques. Pour qu'elle serve à quelque chose, il faut que la lumière soit visible, elle est plus efficace dans l'obscurité : la lumière issue de la photogenèse ne saurait rivaliser avec celle du soleil. Les organismes terrestres produisant de la lumière ne se remarquent que rarement, leur lumière étant subjuguée par la lumière de l'astre. Par contre, chez beaucoup d'organismes vivants, en particulier dans les grands fonds sous-marins, il y a des organismes qui présentent des capacités bioluminescentes étonnantes. Ce sont, principalement, des fonctions individuelles, de défense, par exemple, la production d'éclairs peut provoquer la répulsion de certains prédateurs. On peut aussi trouver des cas de mimétisme par contre-jour assez amusants : il y a des poissons qui vivent entre deux eaux, qui sont bioluminescents sur la face ventrale et sombres sur la face dorsale. C'est-à-dire qu'en face ventrale, pour un prédateur qui viendrait par en dessous, ce poisson serait peu visible, puisque l'illumination produite empêcherait un effet de contre-jour, et au contraire, en vue dorsale, il se confondrait plus ou moins avec le fond en apparaissant noir. C'est une façon de se cacher.

Il y a aussi un poisson prédateur dont je vous épargne le nom scientifique puisqu'il n'en a pas dans le langage courant. La femelle est beaucoup plus grosse que le mâle qui vit en quelque sorte en parasite sur le corps de la femelle. La particularité de la femelle de cette espèce, c'est aussi qu'elle dispose d'un petit organe sur le dessus de la tête, qui est un rayon de la nervure dorsale, déformé et qui porte en son extrémité un petit lumignon qui contient des bactéries symbiotiques qui brillent et attirent des proies. Si ces dernières s'approchent d'un peu trop près, attirées par la lumière, elles seront aspirées par le poisson.

Un deuxième type de fonction identifié est celui de la communication à l'intérieur d'une même espèce. Pour la défense du territoire, certains oiseaux ont choisi le chant, d'autres animaux ont préféré la lumière, et semblent dire « j'éclaire mon territoire donc ne venez pas vous y aventurer ».

La bioluminescence peut servir, dans un autre cas, pour l'agrégation des espèces grégaires, qui vont avoir des comportements de rassemblement basés sur l'existence et le repérage de ces lumières.

La fonction qui nous paraît la plus évidente est l'attraction de partenaires sexuels soit par la parade des mâles, qui s'expriment par la lumière « regardez comme je suis beau : j'ai de belles lumières ! », soit par l'attractivité des femelles : l'exemple le plus connu est celui de la luciole femelle avec son petit lumignon à l'arrière. Ces caractères ont nécessité des adaptations concomitantes de l'anatomie des animaux. Je ne prendrai qu'un exemple, parce qu'il est

frappant : les yeux de la luciole. Ceux du mâle sont immenses en comparaison avec ceux de la femelle, pour faciliter son repérage.



Tête de *Lampyris noctiluca* Linné, 1767 – à gauche, mâle, à droite, femelle
Photos extraites du site www.ulb.ac.be/sciences/biodic/

La troisième partie, comme je l'ai annoncé en introduction, traite de « **la vie à l'ombre** », que j'ai subdivisé en plusieurs sous-parties. Premièrement, **la vie nocturne**, la vie au-dessus de la surface du sol concernant les animaux nocturnes. Ils ont eu besoin d'un certain nombre



Tarsier des Philippines.
Photo extraite du site www.ushuia.com

d'adaptations physiologiques et morphologiques pour pouvoir vivre normalement. Je prendrai deux exemples que l'on pourrait multiplier assez largement, en particulier pour les organes des sens puisqu'une des caractéristiques de la nuit, c'est qu'évidemment, on y voit peu ! Pour compenser cet inconvénient, certaines espèces ont développé des organes sensitifs spécialement adaptés à la vision en faible éclairage. C'est le cas du tarsier, qui est un petit lémurien nocturne de certaines forêts d'Asie. Ce petit prédateur d'insectes a des yeux remarquables qui lui permettent de repérer ses proies dans une quasi-obscurité.

Pour remplacer la vue, d'autres systèmes existent, on peut notamment citer l'émission d'ultrasons chez les chauves-souris. Elles ont développé ce sens d'une façon extrêmement précise, qui dépasse l'imagination, puisqu'elles sont capables de percevoir un fil de l'épaisseur d'un fil de couture pour l'éviter, simplement avec leur sonar qui leur permet d'avoir une perception très fine de l'environnement. Ce sens leur permet de voler mais aussi de chasser. Une chauve-souris arrive, avec ce type de sens, à percevoir la nature de la proie qui vole devant elle, sa vitesse de déplacement, et si elle est comestible ou pas. On s'imagine mal comment percevoir de la sorte avec les oreilles. Il faut dire qu'elles sont équipées d'une façon particulière.

Passons maintenant à la deuxième sous-partie de la vie à l'ombre, c'est ce que j'ai appelé **la vie souterraine**, pour parler des troglobies. Ce sont des animaux cavernicoles stricts, ceux qui ne vivent que dans les grottes, par opposition aux troglaphiles et troglonexènes qui sont les deux autres types d'organismes que l'on va trouver dans les grottes. Les troglaphiles aiment bien

l'ombre et sont à l'entrée de la grotte, ils vivent de façon permanente dans la grotte, mais dans une espèce de semi-obscurité. Quant aux troglodites, ils y entrent pour hiverner ou, dans certaines zones particulièrement chaudes, car température et humidité y sont plus favorables, mais ils passent une grande partie de leur vie à l'extérieur.

Les plus intéressants à étudier sont quand même les troglodites, qui vivent dans une obscurité totale. Au fond de la grotte, il n'y a aucun producteur primaire, et pas de lumière, la photosynthèse est irréalisable. Ils ont donc besoin d'apports nutritifs qui proviennent de la surface, venant de l'extérieur, apportés, par exemple, par la circulation de l'eau à travers les roches, qui transporte des bactéries, des déchets végétaux ou animaux, etc. Il existe un certain nombre d'organismes vivants qui vont se nourrir de ces apports de l'extérieur. Certains animaux de ces milieux se nourrissent d'argile. Ça peut paraître bizarre, puisque l'argile est un élément minéral, mais il se trouve qu'il y a quantité d'éléments organiques à l'intérieur de l'argile, à la fois vivants (des bactéries, des micro-organismes divers), mais aussi beaucoup de déchets organiques animaux ou végétaux comestibles, de la même manière que les vers de terre se nourrissent uniquement de la fraction organique que l'on trouve dans la terre. L'eau, et les éléments fins, transportent des matières organiques en suspension, mais les déplacements des animaux de l'extérieur apportent de la nourriture à l'intérieur. Je prends deux exemples, les chauves-souris, qui passent les journées dans les grottes, apportent des quantités considérables de guanos, d'excréments, éléments de base d'un écosystème assez complexe. Sur ces guanos se développent des champignons, des insectes, et bien d'autres arthropodes, qui vont se nourrir de ce guano et l'on va évidemment retrouver leurs prédateurs. Des proies troglodites vont aussi rentrer dans la grotte, elles auraient parfois mieux fait de rester dehors ! On connaît ainsi des petits carabes, insectes prédateurs, complètement aveugles, complètement adaptés à l'obscurité du fond de la grotte, qui se nourrissent, au moins pour partie, de proies provenant de l'extérieur. Ce sont des adaptations à la vie dans l'obscurité. Beaucoup de ces adaptations correspondent à des économies énergétiques. Pour un organisme qui vit dans l'ombre, la pigmentation et les yeux ne servent à rien, c'est un avantage évolutif que d'économiser l'énergie que l'on dépense à fabriquer des pigments ou à fabriquer des yeux pour la réutiliser dans le métabolisme pour, éventuellement, se reproduire, ou grossir, etc. Un poisson américain - mais je pense que l'on pourrait trouver un même genre de bestioles dans certaines grottes européennes - a ainsi complètement perdu ses yeux. On s'aperçoit que dans les premières phases de son développement, au stade de l'alevin, il a des yeux, qui sont des yeux vestigiaux, le souvenir de ces ancêtres, et puis, au cours de la croissance de l'animal, les yeux se résorbent, disparaissent, et la matière vivante qui les constituait est, pour partie, recyclée dans le fonctionnement de l'animal.

Alors, ne me faites pas dire ce que je n'ai pas dit, ce n'est pas parce que l'animal vit à l'ombre qu'il n'a pas besoin de ses yeux et qu'ils disparaissent : c'est un résultat. Comme le big-bang, c'est une théorie, je dois tout de même vous dire que l'on trouve de plus en plus d'éléments qui permettent de la confirmer. Cette théorie permet d'expliquer un certain nombre de phénomènes similaires.

D'autres espèces ont développé des organes sensoriels adaptés. On a déjà vu le cas des animaux nocturnes et celui des troglodites. Il a bien fallu remplacer ces yeux « perdus » par nécessité. Il y a, en particulier, le développement d'autres organes des sens, le toucher, par exemple. On a ainsi observé le développement d'organes tactiles, sous formes de longues antennes, de longs poils qui vont permettre de se repérer dans l'environnement. Selon le type de milieu, ces organes vont avoir des formes différentes. Ce ne sont pas les mêmes espèces qui vivent à l'intérieur des cavités souterraines, et celles qui vivent dans ce que l'on appelle le milieu souterrain superficiel (le MSS, pour ceux qui aiment les sigles). Le MSS est constitué des interstices qu'il y a à l'intérieur du sol, à l'intérieur de la roche, des micro-fissures, etc. Toute une faune particulière

s'est développée dans ces milieux-là, qui sont obscurs, évidemment, et très confinés. Ces animaux sont équipés d'antennes courtes, tandis qu'on pourra voir le développement d'antennes plus longues pour les espèces qui vivent dans des cavités plus vastes. On a donc des adaptations des organes sensoriels de cette nature. Les plus difficiles à analyser, ce sont les adaptations physiologiques, biologiques. Je parlais, tout à l'heure, de la photopériode. Dans les grottes, il n'y a évidemment pas de cycle jour-nuit, il n'y a pas, ou très peu, de cycle des saisons. Le photopériodisme n'existe quasiment pas chez ces animaux. C'est une adaptation par défaut à la régularité des disponibilités alimentaires. Régulière, l'alimentation y est cependant peu abondante, il n'y a pas de quoi se nourrir en très grande quantité, ces organismes sont obligés de ralentir leur développement, et ont, par conséquent, des temps de croissance, des temps de maturité sexuelle beaucoup plus longs, leur permettant de construire leurs différentes fonctions vitales.

Il existe un cas particulier d'adaptation à la vie souterraine, particulier car c'est le seul que l'on ait trouvé jusqu'à aujourd'hui. C'est le cas de **la grotte de Movilé**, en Roumanie. C'est une grotte qui a été découverte en 1986, à quelques kilomètres de la Mer Noire. C'est un morceau de réseau karstique qui a été coupé de tout contact avec le monde de la surface, depuis à peu près cinq millions d'années, mais qui est resté connecté avec des fissures profondes, qui permettent des remontées d'eau chargée en gaz, en particulier de méthane et d'hydrogène sulfuré. Il est probable que, durant ces cinq millions d'années, on pourrait noter des contacts épisodiques avec le milieu extérieur, par le truchement de circulations d'eau, des apports d'organismes nouveaux dans cette grotte, en tout cas, qui n'y étaient pas auparavant. Toujours est-il que dans cette ambiance, il s'est constitué un écosystème tout à fait particulier, complètement déconnecté du système de surface, mais qui est construit autour de bactéries autotrophes. Ces bactéries oxydent l'hydrogène sulfuré, créent donc de l'énergie et ont permis la mise en place de tout un écosystème. On a trouvé dans la grotte de Movilé quarante-six espèces d'invertébrés différentes, dont trente et une sont endémiques. Leurs formes nous sont familières : une espèce de cloporte, une nêpe (punaise aquatique prédatrice ressemblant à celle que l'on connaît dans nos plans d'eau), une sangsue, un petit mille-pattes, une araignée, un petit crabe, un petit coléoptère, etc. Ces animaux-là vivent dans cet écosystème qui s'est construit sur la base de l'oxydation de l'hydrogène sulfuré par des bactéries qui en sont capables.

On reviendra dans un instant sur ce sujet, pour le dernier exemple de la vie à l'ombre. Dans les grands fonds océaniques, il existe deux types de milieu. Il y a les grands fonds, en quelque sorte banals où on va trouver une vie qui va s'apparenter, par certains côtés, à la vie troglobie, comme on l'a vu tout à l'heure, et qui va être alimentée par la pluie d'éléments organiques venant de la surface avec, à la fois, les organismes marins qui meurent et qui tombent vers le fond, et les excréments de tous les animaux marins qui tombent aussi vers le fond, et puis aussi tous les apports arrivant des continents. C'est une pluie assez dense, dans la mer, qui nourrit ainsi un certain nombre d'animaux qui se trouvent dans les grands fonds.

Et puis il y a un cas très particulier, que l'on va trouver le long des rifts, aux endroits où les plaques tectoniques se rejoignent dans les grands fonds. A ces endroits-là, il y a des remontées de sources chaudes qui viennent de zones plus proches du magma, des eaux très chaudes qui sortent de l'écorce terrestre, qui atteignent des températures de l'ordre de 350°, qui sont très chargées en hydrogène sulfuré, en méthane, etc. et qui entrent au contact d'eaux très froides, qui sont à quelques degrés au-dessus de zéro (2° ou 3°). Ce choc thermique favorise des précipitations, sous formes de cheminées qui se construisent que l'on appelle des **fumeurs noirs**. On est là dans un milieu tout à fait particulier, qui semble extrêmement hostile à la vie, avec de très grandes pressions, des températures ou très chaudes, ou très froides mais de toutes les façons qui ne sont pas compatibles avec la vie. C'est un milieu sans lumière, avec très peu d'oxygène.

Et pourtant, ces écosystèmes sont assez florissants. Ceux qui sont les mieux connus sont fondés sur un organisme, un ver qui vit dans un tube, que l'on appelle *Riftia*. Ces animaux vivent agglomérés les uns aux autres et en symbiose avec des bactéries qui sont capables d'utiliser l'hydrogène sulfuré comme source d'énergie. Le fonctionnement de ces *Riftia* est, finalement, un peu le même que celui des plantes chlorophylliennes à la surface de la terre, sauf qu'au lieu de chloroplastes symbiotiques, on trouve des bactéries, et à la place de la lumière, il y a l'hydrogène sulfuré et, au lieu du soleil il y a la source hydrothermale. S'est ainsi construit un écosystème assez complexe, avec de très nombreuses espèces, et on ignore encore beaucoup de détails, car il est difficile d'étudier ces milieux. On y trouve des crustacés, des poissons et aussi des mollusques, donc on voit le degré de complexité d'un écosystème pouvant se créer dans ce type de milieu.

Nous abordons la dernière partie de mon exposé, que je ne vais pas trop prolonger de peur de déborder sur les questions qui seront traitées demain. La lumière a des **effets attractifs** reconnus sur beaucoup d'êtres vivants. Par exemple, hier soir, dans ma chambre une grosse mouche volait et me gênait pour dormir. Qu'ai-je fait ? J'ai éteint la lumière, j'ai ouvert la porte de la pièce voisine dans laquelle j'ai allumé la lumière. La mouche a suivi la lumière, j'ai fermé la porte et j'en étais débarrassé. Il n'y a pas besoin d'être entomologiste pour faire ce genre de chose ! C'est une façon d'utiliser cette attractivité de la lumière ! On utilise aussi la lumière pour des usages économiques. Certains connaissent peut-être la pêche au lamparo. C'est une activité relativement ancienne, qui consiste à éclairer la surface de la mer pour attirer les poissons ou les animaux que l'on veut capturer. Ce type de pêche est assez dévastateur, car du fait de l'attractivité très forte de la lumière, on est arrivé, à certains endroits, à des baisses très importantes des populations visées. Matthieu Camps, qui doit intervenir demain, me disait que sur certaines photos aériennes de la planète, on voyait apparaître les îles Malouines de façon assez surprenante, car la méthode de la pêche au lamparo y est très répandue, à tel point que la lumière peut en être perçue sur les photos satellites.

On peut utiliser cette attractivité pour des usages scientifiques. Tous les entomologistes utilisent des pièges lumineux. Ce sont des dispositifs très divers qui vont servir à attraper des insectes dans des objectifs d'études. Les techniques varient du simple drap accroché avec une lampe, jusqu'à des systèmes plus sophistiqués, qui vont faire appel à différentes sources lumineuses. On peut utiliser aussi des phares de voiture comme outil d'étude. En fait, on les utilise en circulant la nuit : vous avez sûrement remarqué qu'il y a beaucoup plus d'animaux qui viennent s'écraser sur le pare-brise la nuit que le jour. C'est lié, d'une part, au fait qu'il existe une très intense vie nocturne chez les insectes et, d'autre part, à l'attractivité de la lumière des phares. On peut utiliser cette caractéristique en piégeant ces bestioles, soit en comptant celles qui s'écrasent sur la plaque d'immatriculation, elles ne sont pas toujours faciles à identifier ..., soit en essayant de les attraper avec des filets.

Parlons des effets involontaires de ces lumières... À la vue de photos aériennes nocturnes de nos régions, on se demande où il fait nuit le long de la côte. Lorsqu'on sait que le cordon littoral a une fonction écologique extrêmement importante, c'est ce que l'on appelle en écologie, un écotone, une surface de contact entre deux milieux, ici la mer et la terre, où se développent un grand nombre d'organismes vivants. La lumière introduit une perturbation importante. Tentez de mettre en relation cet éclairage permanent avec tout ce qui a été dit auparavant sur le photopériodisme et sur les adaptations. Il est évident que des organismes qui sont équipés pour vivre la nuit ne peuvent pas survivre à des conditions aussi différentes de celles qui sont leurs conditions naturelles.

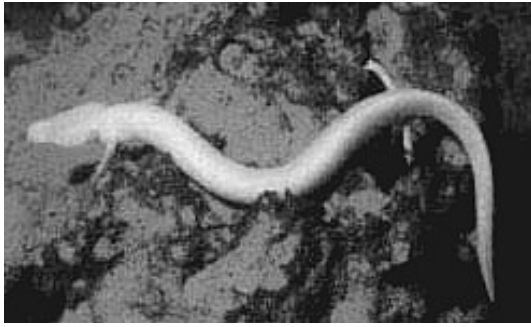
Beaucoup d'oiseaux, dans leur migration, utilisent le trait de côte comme point de repère, mais dans ces conditions, le repère est complètement faussé, donc les oiseaux sont perturbés et en perdent le nord, au propre comme au figuré.

Citons un autre exemple. Certains animaux nocturnes ne sont pas attirés par la lumière, au contraire la lumière peut avoir un effet répulsif. Une ligne lumineuse peut leur paraître infranchissable. Quand on sait que l'une des causes de l'érosion de la biodiversité – pour employer un terme un peu à la mode – est la fragmentation des habitats, le découpage des habitats de certaines espèces. Il n'y a plus d'échanges de gènes entre les différentes populations, ce qui aboutit inéluctablement à leur régression. On s'aperçoit que cette pollution lumineuse peut avoir des effets aggravants.

Pour illustrer un autre problème, je prendrai un exemple que je connais bien, puisque je n'habite pas très loin, c'est celui des Pénitents des Mées, dans la vallée de la Durance. C'est une falaise qui mesure entre 100 et 150 mètres de haut, et qui est soumise à un éclairage très intense, pour que l'on voit ces monuments naturels. Mais, le problème de cette falaise, c'est que cet éclairage fait un superbe piège : mais il ne sert à rien. Il fait jour 24 heures sur 24 sur les Pénitents des Mées. On peut se demander où sont passées toutes les bestioles, les chauves-souris, les rapaces nocturnes ou autres qui pouvaient éventuellement vivre sur ses zones-là.

L'éclairage à outrance produit des effets involontaires, qui sont certainement néfastes. Le photopériodisme et la physiologie sont complètement déréglés par la disparition de ce rythme nyctéméral, de la succession du jour et de la nuit, et par la perturbation du rythme des saisons. En hiver, les journées ne sont pas plus courtes qu'en été, lorsque c'est allumé toute la journée !

Les repères de migration des oiseaux sont bouleversés. On pense que certaines espèces seraient favorisées au détriment d'autres, car ce n'est pas un problème pour tout le monde. Certains pensent, par exemple, que le développement des populations d'étourneaux, que l'on voit pulluler, notamment en ville, serait favorisé par l'allongement du jour, et pourrait être lié à l'éclairage des villes. Ce ne sont encore que des hypothèses, car les recherches sont récentes. C'est non seulement gênant, parce que ma voiture est constellée de crottes d'oiseaux, mais c'est aussi gênant du point de vue écologique, car l'étourneau prend la place d'autres animaux, qui sont peut-être défavorisés par la lumière. En proliférant, cette espèce va accentuer les déséquilibres, sa pression sur les milieux et sur les ressources trophiques va être plus importante, et tout cela au détriment des autres espèces. La lumière peut provoquer des déséquilibres de ce type-là. Tous ces effets sont mal connus, et très peu reconnus, à cause du manque d'études, ce sont des questions que l'on se pose depuis peu, et il n'y a pas beaucoup de gens pour travailler sur ces sujets, peut-être aussi parce que ça dérange. Ce ne sont que des hypothèses, mais on est à peu près certain que ce n'est pas une très bonne chose.



En conclusion, je souhaite vous parler d'une bestiole, que certains pourraient me reprocher d'avoir omise. Il s'agit du Protée, qui est un petit amphibien. C'est le premier vertébré troglobie qui a été découvert au XIX^e siècle. C'est un animal assez remarquable, très localisé, puisqu'il vit uniquement dans les *karsts* de la zone adriatique, dans l'ancienne Yougoslavie. Un

laboratoire du CNRS à Moulis, dans l'Ariège, l'élève dans le but de l'étudier. C'est le « totem » de ces milieux, et c'est aussi un animal particulièrement intéressant, c'est un amphibien qui passe toute sa vie dans l'eau. Il vit donc dans l'obscurité totale et dans des milieux exclusivement aquatiques, il a gardé des caractères embryonnaires, en particulier ses branchies. C'est une sorte d'embryon, ou de larve, qui atteint sa maturité sexuelle à l'âge de dix ans. C'est exceptionnel pour un animal de ce type-là, qui, en général, a une durée de vie très courte (pour un amphibien normal, dix années représentent le double de son espérance de vie) mais le Protée a un développement beaucoup plus lent qui le conduit à sa maturité sexuelle après une décennie. C'est une autre caractéristique particulière de ce type de milieu.



Le Protée (*Proteus anguinus*). On observera en particulier le caractère vestigial des yeux, la persistance des branchies et l'absence de pigmentation.

Photos extraites du site frecolog.de14.cnrs.fr/FRET/moulis/ProteeM.html

DÉBAT

Intervenant : Je ferais une petite observation suivie d'une question. Vous n'avez pas parlé des recherches qui sont effectuées actuellement sur les effets bénéfiques de la lumière et notamment envers les espèces animales. Des recherches ont été lancées sur les cellules cryptochromiques, celles qui sont sensibles aux lumières monochromatiques. Il y a des laboratoires, notamment à Paris, qui ont fait un travail sur la manière dont la lumière bleue pouvait permettre de gérer le stress des poissons et de les relaxer, dans certaines conditions, et il y a d'autres études de ce même type qui sont faites sur les plantes. Donc c'est la luminothérapie qui est, à mon avis, un aspect à évoquer.

Ma question sera en rapport direct avec l'évolution. Quand on parle de l'évolution, on se reporte souvent à des millions d'années. On sait bien qu'il y a eu une évolution assez significative des espèces animales et qu'aujourd'hui celles qui sont présentes ne ressemblent en rien à celles qui étaient là des millions d'années auparavant. Est-ce qu'il y a des recherches qui sont faites sur l'évolution, dans les milliers ou les millions d'années à venir, qui viendraient appuyer les théories dont vous signalez les effets néfastes et pervers ?

Pierre FRAPA : C'est une illustration parfaite de ce que je disais en préambule de mon intervention. Ce sont des expériences que je ne connaissais pas, mais, en même temps, qui m'interpellent. Jusqu'à présent, les poissons n'ont pas eu besoin que l'on gère leur stress pour se développer. Au contraire le stress est nécessaire pour réagir à des situations difficiles. Effectivement, ça peut être économiquement utile, au même titre que la désaisonnalisation des brebis ou des vaches, mais pour les poissons eux-mêmes, je doute que ça leur serve vraiment. Mais je vous remercie tout de même de cette information.

Pour répondre à la deuxième partie de votre question, il ne faut pas oublier, comme vous l'avez souligné, que l'évolution se déroule sur des durées extrêmement longues. Les grottes, habitées, à l'époque, par nos ancêtres, et aujourd'hui occupées par les animaux, sont à peu près les mêmes.

Effectivement, il se peut que certaines évolutions soient liées au surplus de lumière, si nous admettons que ce « sur-éclairage » dure encore quelques millions d'années. Mais le principal danger, c'est, à travers ces problèmes de pollution lumineuse - comme à travers toutes les activités humaines cumulées qui génèrent une dégradation ou une diminution de la biodiversité – d'entrer dans un cycle de disparition des espèces qui est à peu près équivalent à celui de la période de la disparition des dinosaures. Nous sommes aujourd'hui dans une phase de régression très forte de la biodiversité. Ça ne se mesure ni ne se fait en deux ou trois ans, c'est un phénomène rapide, mais à l'échelle temporelle de l'évolution, qui se calcule ici en siècles ou en millénaires. Des chercheurs américains ont fait des calculs, en étudiant les différentes phases d'extinctions liées à des grands cataclysmes, des éruptions volcaniques, des percussions de météores, etc., et ont proposé des modélisations de la disparition des espèces et la reconstitution de la biodiversité à partir des espèces subsistantes. Il semble évident que l'étourneau, par exemple, à supposer qu'il soit une espèce qui arrivera à dépasser ce stade-là, va prendre une grande place. Dans le cadre d'une évolution qui se continuerait à partir de notre étourneau, d'autres espèces d'oiseaux apparaîtront. Il y aura peut-être un étourneau des villes et un étourneau des champs, un étourneau du sud et un étourneau du nord, etc. Mais le problème c'est que pour que se reconstitue une biodiversité équivalente à celle que l'on avait avant l'extinction, il faut, d'après ces chercheurs, dix millions d'années. D'autre part, si le tigre disparaît, on ne retrouvera jamais le descendant du tigre. On peut faire des projections, mais, à ma connaissance, il n'y a pas d'études précises parce que je pense que, dans le fond, on n'en sait rien.

Intervenant : Lors d'un symposium international qui s'est tenu à Paris, il y a deux mois, un intervenant nous a parlé du phénomène du prolongement de la photosynthèse sur les arbres de villes, qui amènerait à diminuer l'espérance de vie des arbres de moitié, voire de trois fois, du fait que la photosynthèse s'effectue pratiquement 24 heures sur 24.

Sébastien GIORGIS : Alors d'où vient la question là aussi ? Est-ce que vous pouvez vous présenter ?

Intervenant : Paul BLU, président de l'ANPCN.

Pierre FRAPA : Ce que l'on sait, c'est que les arbres, comme tous les organismes vivants, subissent ces agressions et c'est leur cycle naturel de fonctionnement qui supporte ces variations. Je ne sais si nous avons pu chiffrer ces effets néfastes, puisqu'ils dépendent du type de lumière. Il existe une multitude de facteurs qui peuvent affecter le cycle naturel des arbres, en plus de leur état sanitaire, cet état est directement lié aux problèmes de pollution, pas seulement lumineuse, mais à la pollution atmosphérique et à celle des sols. Il me paraît assez logique et assez certain qu'il y a un impact de l'éclairage public sur les arbres, ils ont aussi un photopériodisme, et ont aussi besoin qu'il fasse nuit ; il me semble difficile de le chiffrer dans l'absolu. L'une des solutions, ça serait de faire comme le maïs, de choisir des arbres qui puissent être éclairés toute la journée. Je trouve que des arbres en plastique ne seraient pas mal ! (sic)

Intervenante (Amandine HÉBRARD, architecte) : Pour continuer sur l'histoire des arbres éclairés en ville, nous, on éclaire les arbres par en dessous. Est-ce que ça existe la photosynthèse par le dessous des feuilles ?

Pierre FRAPA : Oui, ce n'est peut-être pas pareil. Je ne sais pas si la différence a été étudiée. Mais il est sûr que les feuilles ont une certaine transparence. Ensuite, il y a aussi ce que l'on appelle un phototropisme, si les arbres poussent de bas en haut, c'est aussi parce qu'elles montent pour aller chercher la lumière - d'ailleurs, on le voit quand on met des plantes trop serrées dans un pot, ou dans un jardin. C'est ce qui se passe en forêt : il y a des plantes grimpantes, dites

« épiphytes » - le lierre, pour prendre le plus connu - qui vont utiliser le support d'un autre arbre pour monter vers la lumière. Si le lierre nuit aux arbres, ce n'est pas parce qu'il les étouffe, c'est parce qu'il leur fait concurrence pour la lumière. Effectivement, il y a une orientation des feuilles vers la lumière. Je n'ai jamais vu de feuilles se retourner, mais à mon avis ça n'a pas une grosse incidence sur l'activité photosynthétique. Ça va peut-être avoir une incidence plus importante sur l'activité respiratoire des plantes, puisque les organes respiratoires, l'estomac des plantes, sont situés sur la face inférieure des feuilles.