

GAÏA, LUMIÈRE ET BIOSPHÈRE

J.F. HERMANN (1), T. HERMANN-LÉ (2), G.E. PIÉRARD (3)

RÉSUMÉ : Divers aspects de la vie dépendent étroitement de l'exposition à la lumière. La photosynthèse, la chronobiologie et divers comportements socio-culturels en sont des exemples typiques.

MOTS-CLÉS : *Biosphère - Chronobiologie - Photosynthèse - Comportement socio-culturel*

GAIA, LIGHT AND THE BIOSPHERE

SUMMARY : Some aspects of life are tightly bound to light exposure. Photosynthesis, chronobiology and various manifestations of the socio-cultural behaviour are typical examples.

KEYWORDS : *Biosphere - Chronobiology - Photosynthesis - Socio-cultural behaviour*

GAÏA ET LA VIE

Le Soleil est à l'origine de la vie. Le grand ensemble d'interactions biogéochimiques entre la vie, le sol, l'atmosphère et l'océan ressemble à la physiologie d'un grand organisme unique qui a été baptisé Gaïa par Jim Lovelock (Fig. 1). Tout le fonctionnement de la biosphère qui en fait partie est largement dépendant de l'apport énergétique solaire. Il est diversifié car le spectre des rayonnements électromagnétiques qui atteint la biosphère est large et variable en intensité et en nature.

La genèse de la biosphère se confond avec l'origine de la vie, et est soumise aux mêmes hypothèses. Son évolution est mieux connue. Au début du Précambrien, seuls des organismes hétérotrophes parvenaient à vivre dans une atmosphère dépourvue d'oxygène. L'apparition des organismes capables de photosynthèse chlorophyllienne est une étape fondamentale qui a permis l'enrichissement de la biosphère en oxygène, le développement de la couche d'ozone et, par la suite, la diversification de la vie. Il est vraisemblable que depuis le Carbonifère jusqu'à nos jours la composition chimique et les grands cycles biogéochimiques ont peu varié dans la biosphère.

La biosphère comprend la partie inférieure de l'atmosphère, l'hydrosphère et une partie de la lithosphère, jusqu'à une profondeur d'environ 2 km en quelques endroits du monde où certaines bactéries sont présentes dans des gisements pétrolifères. La biosphère est en relation avec les autres parties du globe terrestre par l'intermédiaire des cycles biosphériques, qui permettent aux éléments chimiques d'être incorporés aux organismes vivants, de passer de l'un à l'autre et d'être éliminés de la biosphère sous forme de produits du métabolisme ou de résidus de la minéralisation. Les fossiles en sont des témoins.

Bien que des interrelations puissent être reconnues entre tous les constituants de la biosphère, il

existe des unités fonctionnelles relativement indépendantes, appelées écosystèmes. Les dimensions de ces écosystèmes peuvent varier du microcosme de la flaque d'eau à Gaïa qui est la seule unité écologique véritablement fermée en ce qui concerne les échanges influençant la vie.

PHOTOSYNTHÈSE CHLOROPHYLLIENNE

Les plantes vertes en présence de lumière développent un ensemble de réactions biochimiques qui, à partir de molécules simples (CO_2 , H_2O , ...), produisent de petites molécules organiques de type glucidique. Certaines de ces molécules sont ensuite polymérisées en polysaccharides (comme l'amidon ou la cellulose). D'autres se transforment en lipides et d'autres, enfin, s'unissent à des molécules azotées. Ce phénomène de photosynthèse a pour origine l'assimilation chlorophyllienne qui est caractérisée par une absorption de CO_2 et par un dégagement d'oxygène dans l'atmosphère. Ce processus comporte deux phases successives : une phase lumineuse, au cours de laquelle se fait le captage de l'énergie solaire par la chlorophylle et une phase sombre, beaucoup plus longue, durant laquelle cette énergie est utilisée pour réaliser les synthèses chimiques.

C'est tout particulièrement au niveau des feuilles végétales que s'effectue la photosynthèse. A ce niveau, les cellules sont riches en chlorophylle agencée régulièrement dans les chloroplastes. L'intensité du phénomène, exprimée par le volume d'oxygène dégagé ou par celui de CO_2 absorbé, varie sous l'influence de divers facteurs. La teneur en CO_2 dans l'air (0,03%) est normalement très faible. Les végétaux sont capables de synthétiser une plus grande quantité de substances quand ce taux augmente jusqu'aux environs de 0,1%. Cette propriété est parfois utilisée dans les serres et les couches des horticulteurs. Au-delà de 2%, le CO_2 devient toxique pour la photosynthèse. La température optimale est variable suivant les espèces végétales. Elle est voisine de 30°C pour les plantes des régions tempérées, alors qu'elle

(1) Collaborateur clinique, (2) Consultant Expert clinique, (3) Chargé de Cours, Chef de Service, CHU du Sart Tilman, Service de Dermatopathologie

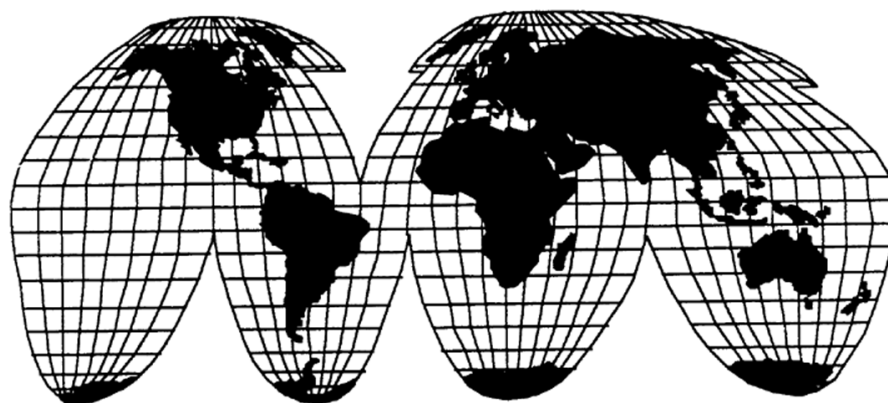


Fig. 1 : Gaïa, ses terres et ses océans

se situe vers 40 à 50°C pour certaines plantes tropicales. Au-delà de la température optimale, l'intensité de la photosynthèse décroît très rapidement. L'assimilation chlorophyllienne par les plantes tropicales est stoppée lorsque la température décroît vers 7 à 8°C. L'inhibition se produit pour les végétaux des régions tempérées dès que la température devient négative, et à un niveau beaucoup plus bas pour les plantes alpines et polaires.

La lumière est un facteur décisif dans la régulation de la photosynthèse. Les végétaux héliophiles exercent leur fonctionnement optimal en lumière intense. En revanche, les plantes sciaphiles ont un optimum d'irradiance lumineuse beaucoup plus bas et souffrent de tout excès de lumière. Les diverses radiations qui composent la lumière blanche ont une action spécifique. Les radiations rouges (600 nm) et indigo (400 - 500 nm) qui sont absorbées par la chlorophylle s'avèrent les plus efficaces, alors que la lumière verte n'a aucun effet sur la photosynthèse.

CHRONOBIOLOGIE

On appelle biorythme tout phénomène périodique régulier et spontané survenant chez des organismes vivants. L'activité rythmique apparaît, en fait, comme une propriété fondamentale de la matière vivante (1, 2). Une cellule n'assume pas toutes ses fonctions de manière synchrone, par exemple assurer son renouvellement et entretenir telle ou telle fonction de sa différenciation. Beaucoup d'activités cellulaires et subcellulaires sont programmées dans le temps. Il existerait une adaptation génétique de notre structure temporelle aux variations de l'environnement liées à la rotation axiale de la Terre en 24 heures. La finalité des rythmes biologiques semble être l'adaptation de l'individu et de l'espèce aux variations

périodiques et prévisibles selon une période moyenne de 24 heures. Il existe aussi une périodicité annuelle de 365 jours, avec des manifestations saisonnières de plus courtes périodes (3). Bien d'autres biorythmes sont indépendants de la position de la Terre par rapport au Soleil. Les rythmes cardiaque, respiratoire et ovarien en sont des exemples.

Les rythmes biologiques ont une origine endogène et ils persistent lorsque l'organisme est placé dans un environnement stabilisé et en isolement temporel. Ces rythmes sont gouvernés par un système d'horloges biologiques internes appelées oscillateurs ou pacemakers endogènes, principalement localisés dans les noyaux suprachiasmatiques. L'organisme utilise aussi des signaux périodiques, appelés synchroniseurs, pour calibrer et remettre ses horloges biologiques en phase. Les synchroniseurs exogènes et endogènes ne créent donc pas les rythmes biologiques. Leur rôle est de mettre en concordance la périodicité de l'environnement et celle des oscillateurs.

Certains biorythmes importants pour l'Homme se déroulent sur une période de 24 heures. Ce sont les rythmes circadiens (circa : environ; die : jour) et nycthémeraux. Un rythme nycthémeral est nettement activé et contrôlé par la lumière, qui est alors un synchronisateur majeur. Un rythme circadien de même période obéit moins à cette influence, ou en est totalement indépendant (4-6). De nombreux rythmes biologiques circadiens ont pendant longtemps été considérés comme le résultat exclusif de la variation de facteurs exogènes. Ainsi, le pic matinal de l'activité corticostyrénalienne chez l'Homme en activité diurne était attribué au stress de l'éveil. Ce concept n'est plus actuellement admis.

A) *SYNCHRONISEURS ET OSCILLATEURS*

Les rythmes biologiques sont mis en évidence en supprimant ou en modifiant l'action des synchroniseurs externes sur l'organisme. La connaissance des synchroniseurs se fait donc par défaut au travers des modifications observées lorsqu'ils manquent, postulant que l'environnement joue un rôle sur les oscillateurs endogènes.

Des interactions existent entre les oscillateurs et les synchroniseurs. De plus, les végétaux et les animaux possèdent des structures internes permettant d'anticiper les variations périodiques de l'environnement. Dans ces conditions, les synchroniseurs sont confrontés aux mécanismes endogènes capables de se régler spontanément sur les phases du nyctémère. Les oscillateurs assurent la coordination entre les différents changements internes de l'organisme, tout en étant eux-mêmes synchronisés par l'environnement, de telle sorte que la période de l'horloge endogène est ajustée en permanence aux rythmes environnementaux.

Un grand nombre de fonctions métaboliques sont gouvernées par des oscillateurs endogènes, eux-mêmes influencés par des variations périodiques prévisibles externes et internes. Le rythme d'exposition à la lumière et à l'obscurité, et le rythme nyctéméral endogène corollaire médié par la mélatonine, sont les principaux facteurs régulateurs. Bien que la lumière constitue le synchroniseur externe le plus puissant, d'autres facteurs d'entraînement apportent une information temporelle directe aux oscillateurs et aux processus qu'ils gouvernent. A l'inverse, les rythmes entraînés par ce synchroniseur pourraient avoir une action de rétrocontrôle.

Toute la difficulté dans la connaissance des horloges biologiques vient de l'effet de masquage exercé par certains rythmes imposés et certains comportements modifiant la succession entre les états de veille et de sommeil. L'Homme peut ainsi volontairement adopter une façon de vivre qui conduit éventuellement à une désynchronisation entre son horloge endogène et son rythme de veille et de sommeil. C'est ainsi que l'activité physique augmente la température centrale tandis que le repos l'abaisse. Dès lors, les variations circadiennes de la température corporelle sont peut-être liées au repos nocturne et à l'activité diurne, ou résultent d'un rythme propre à la thermorégulation cutanée. Les deux éventualités sont en fait probablement combinées.

Lumière

La lumière est le principal synchroniseur chez l'animal. Chez l'Homme, elle est parfois utilisée

pour améliorer certaines situations impliquant les rythmes endogènes tels que le décalage horaire, le travail posté, les retards ou avances de phase, certaines insomnies et la dépression saisonnière. Une faible intensité lumineuse de l'ordre de 200 lux n'a qu'une faible influence sur les biorythmes. Avec une lumière intense, mais inférieure à 1000 lux, la période des rythmes circadiens peut être modifiée pendant un cycle du nyctémère. Avec une lumière au-delà de 4000 lux conduisant à la suppression de la sécrétion de la mélatonine, la limite supérieure d'entraînement du cycle circadien peut dépasser une journée.

Les effets chronobiologiques habituellement obtenus après plusieurs jours d'exposition à la lumière peuvent parfois être reproduits par une impulsion lumineuse unique. Lorsqu'elle est administrée à une intensité adéquate et à un moment où l'oscillateur circadien est le plus sensible, la lumière peut réduire l'amplitude du rythme concerné. Ceci indique que les effets de la lumière sur les horloges biologiques dépendent à la fois de son intensité et du moment d'exposition. Une stimulation lumineuse au cours de la soirée conduit ainsi à un retard de phase des rythmes photosensibles. A l'inverse, une exposition le matin amène une avance de phase. Dans la journée, la lumière n'exerce pas d'effet de phase.

Les effets de la stimulation lumineuse passent par un circuit anatomique partant de la rétine qui projette l'information sur les noyaux supra-chiasmiques via le faisceau rétino-hypothalamique. Cette stimulation est ensuite véhiculée vers l'épiphyse après un relais dans le ganglion cervical supérieur. De nombreux gènes sont impliqués dans le contrôle des rythmes circadiens. Bien que fortement exprimés au niveau des noyaux supra-chiasmiques, ils sont également présents dans d'autres organes, dont la peau. Le rôle fonctionnel de ces horloges périphériques reste encore débattu et des interactions avec le système des oscillateurs centraux sont possibles.

L'activation de la voie rétino-hypothalamique serait possible par une phototransduction humorale de l'information par le sang suite à l'action de la lumière sur des protéines photosensibles telles que l'hémoglobine et la bilirubine. Cette théorie s'appuie en partie sur l'analogie structurale existant entre la chlorophylle et les phytochromes, d'une part, et l'hémoglobine et les pigments biliaires, d'autre part. Elle expliquerait les effets d'entraînement de l'horloge endogène par l'illumination du creux poplité sans passage de la lumière par l'oeil. Ainsi, tout comme les plantes disposent de récepteurs superficiels de la lumière, certaines régions de la peau des ani-

maux et de l'Homme possèderaient des photorécepteurs relayés par la circulation sanguine. Cette propriété pourrait trouver certaines applications chez les aveugles et d'autres personnes chez qui une photo-activation est souhaitée par une voie indépendante de la rétine comme, par exemple, au cours du sommeil. Il existe cependant une prépondérance de l'efficacité des photorécepteurs rétiniens par rapport à celle des photorécepteurs cutanés.

Mélatonine

La mélatonine est une hormone produite de manière intermittente par l'épiphyse en fonction du rythme d'exposition à la lumière. Elle est libérée au cours de la nuit, alors qu'une luminosité intense bloque sa sécrétion. Elle exerce une action de rétrocontrôle sur les noyaux supra-chiasmatisques et sur les systèmes efférents. La mélatonine est considérée comme un synchroniseur endogène majeur du rythme de veille et de sommeil. Administrée le soir, la supplémentation en mélatonine provoque une avance de phase dose-dépendante du rythme de la mélatonine endogène. En revanche, elle induit le matin un retard de phase de ce rythme endogène, selon une réponse dite en phase. Cet effet est inverse et symétrique de celui obtenu par la lumière. Ainsi, la mélatonine administrée le soir améliore le sommeil, la vigilance et les performances. Chez l'aveugle, elle améliore le sommeil, synchronise le rythme de veille et de sommeil, et elle réduit la somnolence diurne. Elle ne synchronise pas pour autant les rythmes endogènes de la mélatonine, du cortisol et de la température centrale.

Température

Le rôle de la température sur le rythme de veille et de sommeil est indubitable, le rythme circadien de la température atteignant un maximum dans l'après-midi et un minimum au petit matin. Il influence considérablement les décisions du coucher et du lever. En général, les sujets placés en isolement temporel se couchent lorsque leur température centrale est décroissante, et ils se lèvent lors de son ascension. La durée des épisodes de sommeil dans ces conditions d'isolement ainsi que le moment du réveil sont influencés par le même rythme. Il est, en effet, difficile de s'endormir lorsque la température est à son maximum, mais en cas de succès, la durée de l'épisode de sommeil est longue. L'endormissement est plus facile à proximité du creux thermique, mais pour un sommeil de courte durée. La phase thermique ascendante est donc un moment clé de la régulation du rythme de veille et de sommeil puisqu'il conditionne la

fin d'un épisode de sommeil et, par conséquent, sa durée. La richesse en sommeil paradoxal varie aussi en fonction de sa survenue dans le décours du rythme de la température, car elle augmente vers le minimum thermique.

B) RYTHME NYCTHÉMÉRAL

Un rythme nycthéral est un type particulier de rythme circadien qui est superposable à l'alternance entre la luminosité diurne et l'obscurité nocturne. Divers rythmes nycthéraux ont été rapportés au niveau de certains mécanismes biologiques et aspects fonctionnels de la peau. C'est ainsi que le cycle de division cellulaire fluctue dans l'épiderme au cours de la journée. La température cutanée, l'intensité de la sudation, le flux de sébum et le pH de la couche cornée seraient eux aussi soumis à des variations au cours du nycthéral avec une diminution des valeurs mesurées au cours de la nuit. Dans tous les cas, ces rythmes ne sont pas directement influencés par la lumière. Des rythmes inversés ont été retrouvés chez des rongeurs qui ont une activité nocturne prépondérante. Les horloges biologiques pour la peau seraient donc sensibles à des contrôles complexes par divers neuromédiateurs et quelques hormones.

C) RYTHME SAISONNIER

Les saisons influencent de nombreux aspects de la physiopathologie cutanée. Il semble que le climat par ses facettes de température, d'humidité et de luminosité soit un élément influent majeur. La manifestation clinique majeure est la xérose hivernale, communément appelée peau sèche qui se développe particulièrement lorsque l'environnement est froid et sec.

Le flux sébacé à la surface de la peau augmente avec la température, probablement par la fluidification thermique des lipides constitutifs du sébum. Il en résulte que l'aspect gras de la peau et des cheveux peut s'intensifier en période estivale.

Une perte saisonnière accrue des cheveux est souvent rapportée. Il s'agit d'un effluvium télogène, plutôt estival, dans les régions sous une latitude au-delà du tropique du Cancer. Il a été appelé effluvium actinique, car l'influence de la lumière ultraviolette est plausible sinon vraisemblable (3).

COMPORTEMENTS SOCIO-CULTURELS

A) FASCINATION DE L'HOMME POUR LE SOLEIL

De tous temps, les Hommes ont été fascinés par le Soleil. L'astre a été élevé au plus haut rang des dieux dans quelques grandes civilisations.

Des prêtres, des sorciers et des médecins lui ont attribué des vertus magiques et/ou thérapeutiques. Ebers, médecin des pharaons de l'ancienne Egypte, Hippocrate, père de la médecine occidentale, Celse, médecin de l'empereur Auguste le préconisaient dans le traitement du vitiligo, pour maintenir une bonne santé, pour combattre certaines maladies neuro-psychiques. Plus récemment, Downes a découvert son activité bactéricide, Palme son activité antirachitique et Goekerman son effet anti-psoriasique.

Cependant, le Soleil a les deux visages de Janus et le revers de la médaille est en proportion des bienfaits. Le Soleil est en effet responsable de brûlures cutanées et source d'une pathologie riche, liée aux substances photosensibilisantes. Des lésions oculaires graves et la vaste majorité des cancers cutanés lui sont aussi attribués.

B) LE BIEN-ÊTRE ET LE BRONZAGE

Pendant des siècles couvrant le Moyen-Âge, la renaissance et l'époque du romantisme, la pâleur du teint a constitué un critère incontesté de beauté. La peau claire était considérée comme un symbole de pureté. L'usage des mouches sur la peau et du rouge à lèvres n'avait comme but que de contraster et mettre en valeur la carnation opaline. Jusqu'à la fin de la première guerre mondiale, le teint pâle de la bourgeoisie et de l'aristocratie s'opposait au teint bronzé des ouvriers, des agriculteurs et des pêcheurs. L'aspect de la peau était en fait révélateur de la condition sociale.

Un début d'engouement pour l'exposition au Soleil est apparu dans les années 1920, mais c'est en 1936, avec les congés payés et l'accès aux vacances au bord de la mer, que le comportement des sociétés occidentales s'est modifié radicalement. Mademoiselle Chanel exposait son visage au Soleil de Deauville, et le teint hâlé est devenu progressivement à la mode, tandis que les premiers maillots de bain faisaient leur apparition. Par la suite, le mouvement n'a fait que s'intensifier pour devenir une pratique sociale dominante. La surface du corps exposée au Soleil n'a fait que grandir. Le bronzage est devenu ainsi un témoin de bonne santé, de beauté et d'intégration sociale. Avoir un visage pâle était en revanche un synonyme de mauvaise santé. L'inconfort du coup de soleil incitait cependant à utiliser une photoprotection qui, pour le public de cette époque, ne devait pas empêcher le bronzage. Comme le coup de soleil est provoqué presque exclusivement par les UVB, les crèmes solaires ont d'abord recherché une efficacité toujours plus performante contre cette fraction du spectre solaire.

La privation de lumière telle qu'elle est subie dans certains pays nordiques, ou par les vieillards cantonnés dans une institution ou à leur domicile, facilite la survenue d'états dépressifs bien particuliers répondant à un mécanisme photopériodique. Dans ces cas de syndrome dépressif saisonnier (7), une action antidépressive de fortes intensités lumineuses a été établie sur des constatations cliniques et des essais thérapeutiques en psychiatrie. Son mécanisme paraît être lié à l'inhibition de la sécrétion de la mélatonine. Il s'agit de l'effet d'une stimulation lumineuse par voie oculaire sans relation avec des photorécepteurs de la peau.

C) LES BANCS SOLAIRES AU BANC DES ACCUSÉS

Le bronzage naturel est un témoin des vacances d'été et parfois de celles d'hiver. En toutes saisons, les voyages lointains peuvent aussi ramener le hâle si convoité. Les bancs solaires ont permis de se libérer de ces contraintes temporelles. Malheureusement, la prise de conscience des risques liés à l'exposition au Soleil ou à ses succédanés de type solarium est loin d'être optimale par les populations à carnation claire (8,9). Cette situation est dégradée en plus par l'essor commercial des bancs solaires, ce qui représente un fait de société qui s'est inscrit en marge des mises en garde par le corps médical. L'engouement est tel que plus d'un million de personnes aux Etats-Unis d'Amérique s'exposent chaque jour à des lampes à bronzer. Ce type de matériel utilisé dans des salons d'esthétique est souvent manipulé par des personnes qui n'ont pas de compétence particulière en photobiologie. Une enquête récente en Caroline du Nord a révélé que plus de 95% des responsables de salons de bronzage ne respectaient pas les recommandations émises par la "Food and Drug Administration" (FDA). En fait, la nature des spectres UVA et UVB et leur dosimétrie ne sont pas toujours prises en compte de manière adéquate. Le problème réside dans le fait que la dose délivrée en UVA est instable selon l'âge et la température des lampes. De plus, 0,5 à 3 % d'UVB sont également présents dans ces rayonnements.

Une étude menée en Europe a montré que les adolescents adeptes du banc solaire doublent globalement la dose annuelle d'irradiation UV accumulée par la peau. A titre de comparaison, ceci correspond à l'effet attendu d'une déplétion de 10% de l'ozone stratosphérique. Les problèmes de santé publique qui en découlent sont prédictibles. Au niveau de la peau, le photovieillissement est accéléré et le risque cancérogène accru. Les yeux sont également

susceptibles d'être atteints. Même si le risque individuel est limité, l'exposition aux bancs solaires représente un problème potentiel important de santé publique compte tenu du nombre de personnes qui s'adonnent à cette pratique.

D) LES UV, DU PINACLE AU PILORI

En un an, un travailleur extérieur (agriculteur, marin, ...) reçoit en moyenne 10 fois plus de rayonnement UV qu'un employé de bureau. Trois semaines de vacances sur les plages de Méditerranée correspondent à l'équivalent de la dose d'UV reçue en un an pour un employé de bureau!

L'exposition du corps aux UV a les deux visages de Janus. La sensation de bien-être, la perception de la beauté du bronzage et l'impression d'une bonne santé ont un coût que les adeptes de cette pratique ignorent ou ne veulent pas prendre en compte. Le capital biologique que chaque individu possède à la naissance pour se défendre contre les effets néfastes des UV s'effrite à chaque exposition intempestive à ces radiations.

Les cancers de la peau et la cataracte posent de sérieux problèmes de morbidité et de santé publique représentant un lourd fardeau financier pour l'individu et la société. Leur prévalence pourrait baisser en réduisant l'exposition au rayonnement UV d'origine solaire. En effet, pour la plupart des individus, le Soleil est la principale source d'exposition aux UV. Or l'exposition au Soleil est associée à divers cancers de la peau, au vieillissement prématuré de celle-ci, à la cataracte et à d'autres affections oculaires. Il se pourrait de plus qu'elle entame la résistance de l'organisme à certaines maladies infectieuses.

Selon les estimations du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), on enregistre chaque année dans le monde plus de 2 millions de cas nouveaux de cancers cutanés divers et plus de 200.000 de cas de mélanomes. Compte tenu des tendances et comportements actuels, il faudrait majorer respectivement ces chiffres de 300.000 et de 4500 si la quantité d'ozone stratosphérique venait encore à diminuer de 10 % comme elle l'a fait dans des temps récents.

Il existe de par le monde 12 à 15 millions de personnes aveugles à cause de la cataracte. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a estimé que 20 % des cas de cataracte, soit 3 millions annuellement, pourraient être dus à l'exposition aux UV. Pour les seuls Etats-Unis d'Amérique, par exemple, il en coûte annuellement 3,4 milliards de dollars pour financer les interventions chirurgicales sur la cataracte. La prévention ou le retardement de l'affection permettrait donc de réduire substantiellement les dépenses de santé.

RÉFÉRENCES

1. Ticher A, Zshkenazi IE, Reinberg A.— Preservation of the functional advantage of human time structure. *FASEB J*, 1995, **9**, 269-272.
2. Reinberg A.— La chronobiologie cutanée, importante à reconnaître et à respecter. *Cosmétologie*, 2000, **26**, 32-34.
3. Piérard GE, Piérard-Franchimont C.— L'effluvium tégumentaire actinique : une facette de la chronobiologie humaine. *Int J Cosmet Sci*, 1999, **21**, 15-21.
4. Henry F, Arrese JE, Claessens N, et al.— La peau et son horloge chronobiologique au quotidien. *Rev Med Liège*, 2002, **57**, 661-665.
5. Flagothier C, Henry F, Piérard-Franchimont C, Piérard GE.— L'horloge chronobiologique de la peau. *Dermatol Actual*, 2004, **80**, 5-8.
6. Piérard-Franchimont C, Flagothier C, Henry F et al.— Chronophysiologie circadienne du cuir chevelu. *Ann Dermatol Venereol*, sous presse.
7. Eagles JM.— Seasonal affective disorder. *Br J Psychiatry*, 2003, **182**, 174-176.
8. Piérard GE.— Ageing in the sun parlour. *Int J Cosmet Sci*, 1998, **20**, 251-259.
9. Uhoda I, Petit L, Piérard-Franchimont C, Piérard GE.— Les bancs solaires au banc des accusés. *Rev Med Liège*, 2002, **57**, 29-32.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Prof. G.E. Piérard, Service de Dermatopathologie, CHU du Sart Tilman, 4000 Liège.
E-mail : gerald.pierard@ulg.ac.be