

# CONSTELLATION TERRE

Michel BONAVIDACOLA  
Président de Licorness

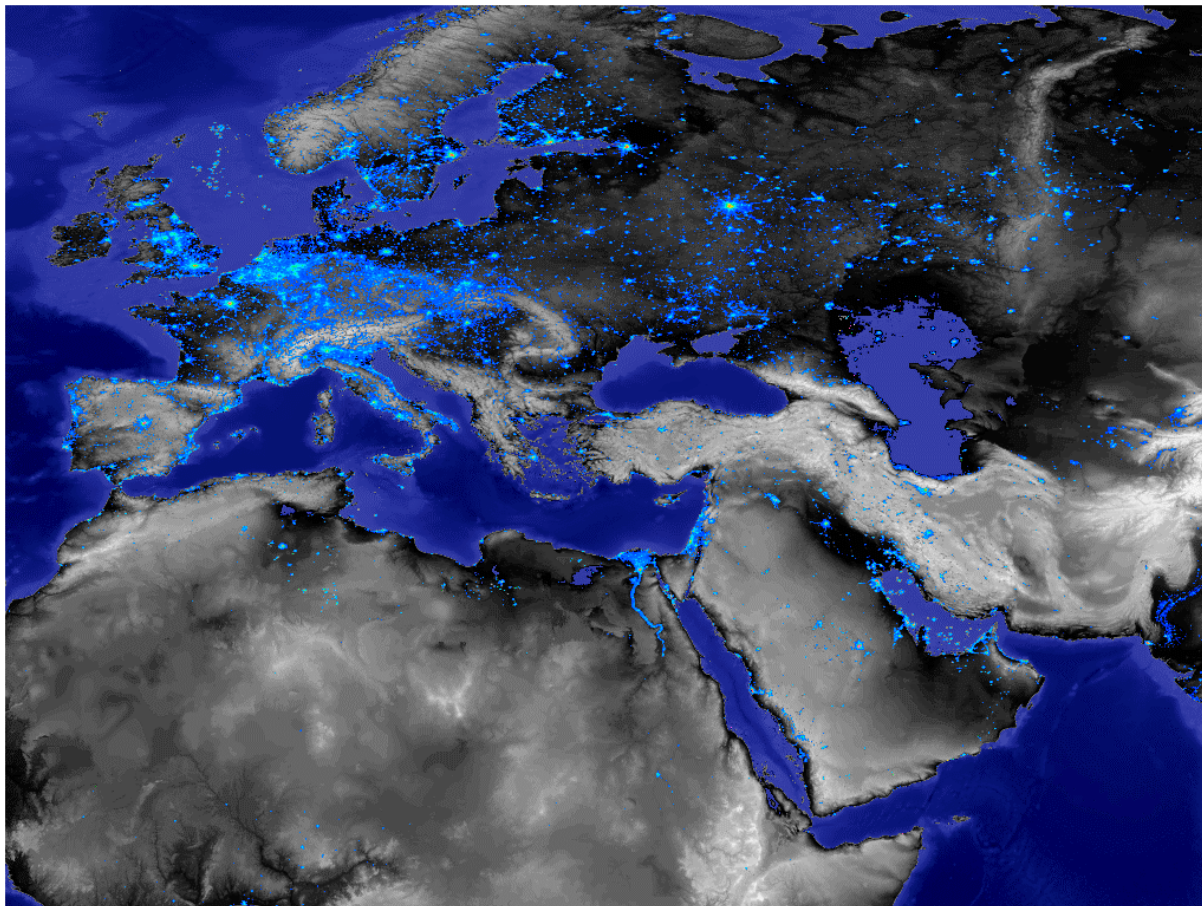


Photo1 : L'Europe de nuit vue depuis l'Espace . Copyright NASA

## I. Introduction :

L'alternance du jour et de la nuit est une des composantes fondamentales de la vie sur Terre. En effet depuis des centaines de millions d'années elle anime et régule les cycles biologiques de la flore , de la faune et aussi des humains.

Les activités humaines et éclairages excessifs envahissent la nuit. Les grands centres urbains prennent des allures de "flipper". Ils sont noyés dans un halo de brume couleur orange rose visible à des dizaines voire centaines de kilomètres. Sans nier les apports de l'éclairage artificiel, de plus en plus de personnes s'interrogent sur l'impact de la pollution lumineuse sur l'environnement nocturne.

Dans les années 1980 l'Union Astronomique Internationale et la commission internationale de l'éclairage analysent l'origine des lumières parasites qui entrent dans les télescopes des observatoires astronomiques. La relation avec l'éclairage urbain est directe et sans équivoque. Des recommandations sont alors publiées pour la protection des observatoires astronomiques et géodésiques professionnels. ([références 1 et 2](#)).

Certains pays et régions notamment en Europe ont fait évoluer leur réglementation pour réduire la pollution lumineuse. L'aménagement des territoires passe alors par la mise en conformité et le contrôle des sources lumineuses artificielles et les études d'impacts associées.

Les bilans nécessaires sont effectués aux travers de campagnes de mesures, cartes et imageries effectuées dans divers gammes de spectres soit à partir du sol, de "véhicules" aériens ou spatiaux.

## **II La pollution lumineuse et impacts sur l'environnement :**

La lumière qui éclaire le ciel et part vers l'espace ne sert à rien. Les éclairages bien conçus éclairent uniquement les zones au sol qui sont utiles. Ils génèrent des niveaux d'éclairage raisonnables. Ils sont allumés uniquement pendant les plages horaires strictement nécessaires.

Les éclairages mal conçus engendrent de nombreuses nuisances :

- Eblouissement : c'est la lumière qui part quasi horizontalement et qui aveugle.
- Lumières intrusives : c'est la lumière non désirée, celle qui rentre chez vous, que vous subissez.
- Lumière diffusée : c'est la lumière qui part vers le ciel et qui est dispersée par les molécules de gaz et les particules de l'atmosphère. C'est elle qui crée le halo lumineux des villes et masque la Voûte céleste.

Les conséquences de la pollution lumineuse sur l'environnement sont multiples ([voir référence 3](#)).

- Impact sur la biodiversité (faune, flore...)
- Impact sur les paysages (jour et nuit)
- Impacts sur l'humain (coûts financiers, impacts juridiques, aspects culturels, activités scientifiques, sécurité...).
- Impact sur la planète (économie d'énergie, bilan carbone, gaspillage des ressources naturelles...).

Des solutions techniques simples et pragmatiques existent pour limiter efficacement la pollution lumineuse. Ces solutions issues souvent de quelques réflexions de bon sens sont cohérentes avec des enjeux de développement durable. (Economies d'énergie, réduction des émissions de gaz à effet de serre, diminution de l'empreinte écologique...).



**Photo2** : Le « Pouncho d'Agast » de nuit (commune de Millau, dans le parc naturel régional des Grands Causses en région Midi-Pyrénées) - Cette photographie a été prise lors d'une campagne de tests dans le cadre d'un stage étudiant Licorress en 2005. Copyright Photos Copyright BADUEL Antoine - Simon GRIMAL 2005

### **III - Pollution lumineuse et protection de l'environnement :**

#### **La communauté internationale :**

L'Union Astronomique internationale (UAI), l'Organisation des Nations Unies (ONU) et la Commission internationale de l'éclairage (CIE) unissent leurs efforts pour encourager des programmes pragmatiques pour le contrôle des éclairages artificiels et limiter les impacts induits par la pollution lumineuse. Elles encouragent les travaux et efforts des organisations, gouvernements et industriels partout dans le monde.

L'ONU a d'ailleurs accordé au ciel étoilé une valeur particulière en déclarant la voûte céleste comme patrimoine commun de l'humanité.

L'UAI s'efforce d'intensifier les échanges interdisciplinaires. Pour cela elle maintient et développe des liens étroits, constructifs et pragmatiques entre les organisations et la communauté des éclairagistes et les utilisateurs de l'environnement nocturne. Un des axes majeurs est de faire évoluer de manière concertée les législations, moyens de régulations, réglementations et contrôles aux échelons appropriés, qu'ils soient locaux, régionaux, nationaux ou internationaux.

L'association « Dark Sky International » regroupe des milliers de membres dans le monde. Elle est particulièrement active. En accord avec les organisations internationales, industriels et professionnels de l'éclairage, notamment la « Illumination Engineering Society of North America » (IESNA), elle développe et favorise des processus et des matériels d'éclairage respectueux de l'environnement. Elle favorise et aide à l'émergence de zones environnementales protégées.

En France l'association nationale de protection du ciel et de l'environnement nocturne (ANPCEN) et Licorness (spécialisé dans la recherche et la formation) travaillent en accord avec l'IDA, l'UAI et les éclairagistes pour la sauvegarde et le classement des sites nationaux et la diminution de la pollution lumineuse ([voir référence 4](#)).

#### **Législation ,règlements,conventions :**

Le droit de l'environnement régional, national ou international évolue en permanence.

D'un point de vue juridique, la pollution lumineuse peut être abordée à différents niveaux, soit directement, soit indirectement (constitution, législation connexe, conventions, recommandations, normes...). Une attention particulière peut être apportée dans des zones classées protégées statutairement, stratégiques, sensibles ou fragiles (paysages classés, parcs nationaux, littoral, réserves naturelles...).

Certains pays prennent déjà en compte la pollution lumineuse dans leur réglementation et législation. Les règles d'urbanisme, processus d'aménagement du territoire évoluent pour s'adapter aux nouvelles législations et règlements en vigueur. Il en découle que les cahiers des charges doivent alors prendre en compte les nouvelles contraintes et recommandations en matière d'éclairage.

D'autre part, les règles de l'art et processus associés s'appuient sur des règles fondamentales comme les normes environnementales (exemple ISO14001) et les recommandations définies par le Comité International de l'éclairage et l'UAI ([référence 2](#)).

La jurisprudence et l'expérience acquise lors d'études d'impacts sur l'environnement menées autour de projets d'éclairages massifs permettent de développer et d'affiner les concepts juridiques et législatifs partout dans le monde.

#### **Aménagement du territoire :**

Le bon sens invite à n'éclairer que là où il faut à l'intensité suffisante et uniquement quand c'est nécessaire. Un éclairage adapté et de qualité ainsi qu'une réglementation réaliste et appropriée sont aussi sources d'importantes économies. (par exemple en France la ville de Lille a ainsi fait 35 % d'économies en un an, tout en éclairant mieux, grâce à des lampes et luminaires plus éco-performants).

Le « Plan-Lumière », concept récent, est un plan d'organisation et de mise en place de l'éclairage d'un site touristique ou industriel, d'une commune, d'une agglomération, ou d'une zone d'activité (commerciale, industrielle). Il vise à améliorer l'efficacité et la répartition de l'éclairage, dans des soucis de visibilité, d'esthétique, de sécurité, et d'économie d'énergie et peut parfaitement comporter un volet réduction de la pollution lumineuse.



Dans un cadre de développement durable et harmonieux, les politiques d'aménagement des territoires doivent prendre en compte la pollution lumineuse et les études d'impacts associées ;

- Plan lumière de zones urbaines
- Rythme d'expansion très important des zones d'activités (industrielles, commerciales, complexes, transports...)
- Zones environnementales définies autour des zones protégées, classées, sensibles (réserves de ciel étoilé, observatoires astronomiques, parcs et réserves naturelles, corridors de migrations, zones humides...).
- Projet d'éclairages massifs (monuments, sites naturels, ouvrages d'art...).



**Photo3** : Viaduc de Millau de nuit ( commune de Millau dans le parc naturel régional des Grands Causses en région Midi-Pyrénées ). Cette photographie a été prise lors d'une campagne de tests dans le cadre d'un stage étudiant Licorness en 2005

Copyright Photos Copyright BADUEL Antoine - Simon GRIMAL 2005

### **Fragmentation des écosystèmes et protection des corridors de noir :**

La fragmentation des écosystèmes et paysages est un phénomène artificiel de morcellement de l'espace. Cela empêche les espèces sauvages de se déplacer en toute liberté.

Certaines espèces sont attirées par la lumière, d'autres la fuient. Des études récentes ont montré qu'une source lumineuse puissante (comme par exemple une petite ville avec un monument ou des falaises éclairées par des faisceaux de type DCA) crée un véritable désert dans la biodiversité sur plusieurs kilomètres à la ronde.

([référence 5](#)).

L'implémentation non maîtrisée des zones d'éclairage continues (barrières de lumière) crée une fragmentation des espaces pour la faune et la flore sur Terre, dans l'eau (zones humides, lacs, littoral...) et aussi dans le ciel (oiseaux et insectes nocturnes, oiseaux migrateurs). Certaines espèces se retrouvent ainsi piégées, amputées de leur territoire de chasse, ne peuvent plus à terme se nourrir et se reproduire. Elles finissent parfois par disparaître. Ceci engendre des déséquilibres, les écosystèmes fragiles pouvant être amplifiés par des effets de cascades et provoquer des effets induits difficilement maîtrisables.

Les corridors désignent toute liaison fonctionnelle entre des écosystèmes ou entre différents habitats de groupes d'espèces permettant sa dispersion et sa migration. Les corridors assurent les flux d'espèces et de gènes qui sont

fondamentaux pour leur survie et leur évolution adaptative. Les corridors sont donc vitaux pour le maintien de la biodiversité animale et végétale et pour la survie à long terme de la plupart des espèces.

Beaucoup d'animaux se déplacent et migrent la nuit. Il est donc très important d'identifier les réseaux de « corridors de noirs » afin de les protéger et notamment d'en tenir compte dans l'aménagement des territoires.

La restauration d'un réseau de corridors biologiques est l'une des deux grandes stratégies de gestion restauratoire ou conservatoire pour les nombreuses espèces menacées par de la fragmentation de leur habitat, l'autre, complémentaire, étant la protection ou la restauration d'habitats.

## **Classement, désignations, labellisations :**

### **Labellisation internationale**

L'International Dark Sky Association a défini un processus de labellisation et de certification comportant 3 catégories de zones géographiques . Ces zones ont d'une part un environnement nocturne exceptionnel. D'autre part, les instances qui en ont la charge ont mis en oeuvre les moyens nécessaires pour les protéger durablement .

Ces 3 catégories sont :

- les communautés territoriales (International Dark Sky Communities)
- les parcs naturels. (International Dark Sky Parks)
- les réserves internationales de ciel étoilé . (International Dark Sky Reserves)

Recevoir la labellisation IDA n'est pas facile. Il faut, pour cela, une solide volonté , des moyens, et des investissements importants. Les municipalités, collectivités, acteurs privés et publics s'engagent à appliquer systématiquement sur le territoire l'ensemble des recommandations préconisées par l'UAI et la Commission internationale de l'éclairage.

A chaque étape, les progrès réalisés sont validés. La démarche s'inscrit durablement dans le respect de l'environnement nocturne.

Les retombées notamment en terme d'économie , d'environnement, et de tourisme sont très importants.

Récemment au Québec, l'observatoire astronomique et la réserve naturelle de Mégantic, après 5 ans d'efforts incessants, ont uni leurs efforts et créé une immense réserve internationale de ciel étoilé.

En France, le projet « réserve internationale de ciel étoilé du pic du Midi Bigorre » auquel j'ai l'honneur de participer devrait aboutir en 2009 pour l'année mondiale de l'astronomie.

Ce nouveau type de zones environnementales peut être très étendu. Certaines couvrent plus de 40000 hectares et contraignent les aménagements des territoires et cahiers des charges associés sur un rayon de près de 100 km. ([référence 6](#))

### **Zone de protection autour des observatoires et sites astronomiques**

Bien avant la création des réserves ciel étoilé, certains grands observatoires astronomiques ont signé des conventions avec les partenaires locaux . Ces conventions définissent une zone tampon où la pollution lumineuse est contrôlée. La plus grande zone s'étend sur plus de 90 km et concerne l'observatoire Mc Donald aux Etats Unis. Actuellement 12 observatoires dans le monde ont signé ce type de convention (7 en Amérique du nord et 5 en Europe (dont l'Observatoire de Haute-Provence en France). ([référence 5](#))

Beaucoup de grands observatoires sont installés dans le nord du Chili. De ce fait, dans les régions concernées, la pollution lumineuse est contrôlée de façon systématique, sans référence à des zones autour des observatoires.

Les sites à l'essai pour les nouvelles générations de télescopes nécessitent l'assurance d'une limpidité exceptionnelle de la voûte céleste sur le long terme. La nuit, l'augmentation de la luminosité du fond de ciel par rapport au fond de ciel naturel devra rester inférieure à 1% pendant au moins 20 ans. Cela implique une mise en conformité et un contrôle rigoureux à la fois des installations d'éclairage, des nouvelles zones d'urbanisation sur de grandes régions autour des sites de recherche et d'observation (éventuellement jusqu'à 250 km de rayon).

## **Protection des parcs et réserves naturelles :**

Les sites et zones naturelles présentant un caractère exceptionnel font l'objet de classement afin de les sauvegarder durablement. Les espaces protégés sont de 3 types :

- les parcs nationaux
- les parcs naturels régionaux
- les réserves naturelles

Ils sont régis par des lois, conventions ou réglementations au niveau local, régional, national ou international. Ils ont un statut juridique fonction des méthodes de gestion et d'administration différentes suivant les pays et leur type de classement.

Il y a dans le monde environ 2000 parcs nationaux. L'Europe, de l'Atlantique à l'Oural, en compte pas moins de 220. En France il y a 7 parcs nationaux, 45 parcs naturels régionaux et plusieurs centaines réserves naturelles.

Les parcs nationaux français sont créés par un décret en Conseil d'état et gérés par l'Etat en concertation avec les instances locales et régionales. Leur fonction est de sauvegarder durablement une partie du territoire national présentant un intérêt particulier en préservant la nature (milieu naturel, espèces animales et végétales) et les paysages contre toute dégradation et en maintenant leur diversité biologique. Ils sont divisés en deux parties : le cœur et la périphérie.

Le cœur des parcs nationaux ont par leur statut vocation à devenir des réserves labellisées par l'International Dark Sky Association. Récemment, le parc naturel « bridges national monument » (Utah, USA) a été ainsi labellisé « International Dark Sky Park » au titre de la sauvegarde du ciel étoilé et de la protection de l'environnement nocturne.

En France, un parc naturel régional peut être créé sur un territoire au patrimoine culturel et naturel riche mais à l'équilibre menacé. Une charte est élaborée par la Région avec l'accord des collectivités territoriales concernées, du Ministère de l'environnement et en concertation avec les partenaires intéressés. Elle fixe les objectifs à atteindre, les actions à mener et les mesures pour les mettre en œuvre. Elle engage pour 10 ans ses signataires ainsi que l'Etat. Passé ce délai, une procédure de révision permet, après avoir dressé un bilan, de reconduire éventuellement le classement du parc pour 10 ans.

Les parcs naturels régionaux couvrent 13 % du territoire français et concernent 10 % des communes. Petit à petit, les parcs naturels régionaux introduisent dans leur charte un article sur la sauvegarde de l'environnement nocturne et la lutte contre la pollution lumineuse.

L'association Licorness a établi en 2006 le premier bilan en de l'impact de la pollution lumineuse sur les parcs naturels nationaux et régionaux en France métropolitaine ([référence 6](#)).

## **IV - Evaluation et surveillance des sources lumineuses artificielles depuis le sol :**

### **Evaluation et sauvegarde des site astronomiques et zones à protéger :**

On considère qu'au-delà de 10% d'augmentation de luminosité du fond du ciel par rapport au fond de ciel naturel un site astronomique est visuellement affecté par la pollution lumineuse. Pour les implantations et investissements lourds d'observatoires astronomiques de type professionnel, ce seuil descend à 1 %. Pour les astronomes, il est donc fondamental d'identifier des zones géographiques à fort potentiel dans le temps (plusieurs décennies).

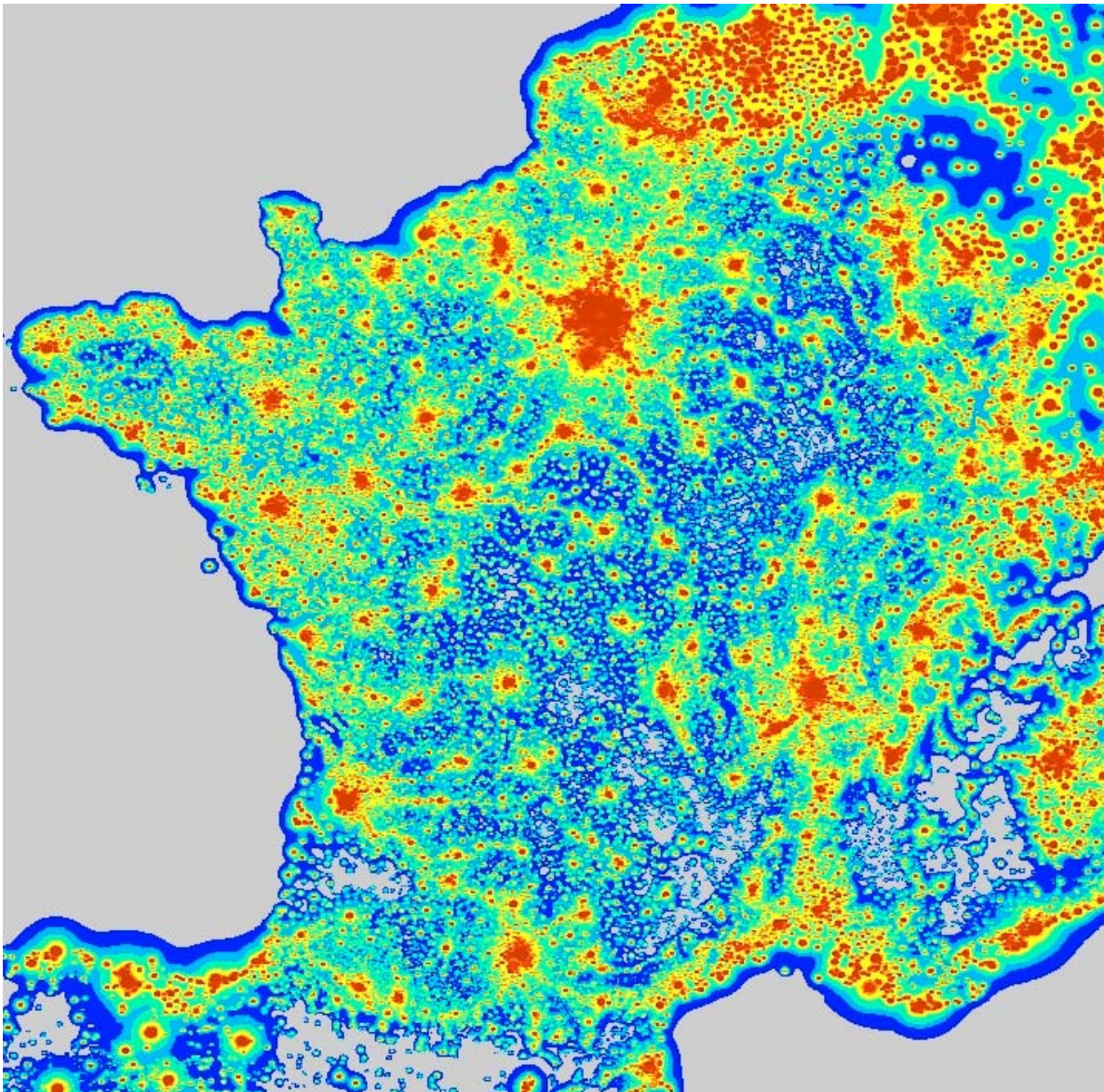
Lorsqu'une communauté (astronomique, scientifique, ou autre) décide d'engager une démarche de protection et sauvegarde de son site (comme récemment pour l'observatoire du Pic du Midi de Bigorre) le processus généralement suivi est :

- établir un état des lieux (niveau photométrique de la pollution, bilan source par source, spectre, puissance...).
- identifier les contributeurs
- hiérarchiser les contributeurs
- établir des actions correctives
- négocier avec les contributeurs
- établir un monitoring des sources et du niveau de pollution du site



Le processus peut prendre des années. Les actions correctives consistent à baffler les sources, définir des horaires d'extinction de l'éclairage extérieur, modifier ou changer les matériels voir interdire certaines sources dans un périmètre donné (zones environnementales définies par l'International Dark Sky Association). Ce travail très pragmatique est effectué en concertation avec les acteurs locaux dans des délais et à des coûts raisonnables et réalistes. Les méthodes et processus mis en oeuvre dans les observatoires astronomiques peuvent être généralisés et appliqués aux zones géographiques classées et fragiles donc spécifiques.(parcs nationaux,...).

Afin d'aider les astronomes à trouver des sites astronomiques « propres » sur le territoire français j'ai été amené à développer des méthodes nouvelles (références 7 , 8 et 9). Une des applications de ces méthodes est la réalisation des cartes haute résolution utilisant un code de couleurs qui correspond à une échelle de dégradation de la qualité du ciel très fonctionnelle (l'échelle de Bortle). (Un exemple de ces cartes est présenté ci-dessous.



**Photo 4** : Carte de France de la pollution lumineuse. Chaque couleur correspond à un niveau de dégradation de la qualité de site. Le rouge et orange correspond aux sites de type urbains, le vert et bleu clair de type transition et milieu rural. Le bleu foncé correspond à des sites pour lesquels le ciel est vraiment noir et le gris le ciel y est excellent. Copyright Licorness

Ces cartes ,méthodes, processus associés ont de nombreuses applications qu'il serait trop long de développer dans le cadre de cet article (environnement ,faune,...).

D'autre part, il faut être capable d'anticiper et de comparer les mesures effectuées au cours des campagnes d'observations par rapport à des données techniques et modèles fiables et éprouvés. Plusieurs méthodes existent. Sur la base des travaux décrits précédemment, Licorness a développé des outils et modèles qui font référence :

- THOT : établit pour un site donné le bilan théorique et hiérarchise les contributeurs
- THOTPRO : calcule et trace les cartes de pollution pour une zone géographique donnée.
- Pour la France, la base de données associée comporte actuellement plus de 40000 sources ( agglomérations, villes, villages...).
- Le noyau de calcul est basé sur un modèle théorique recalé sur des campagnes de mesures de type photométrique (bande spectrale visible).

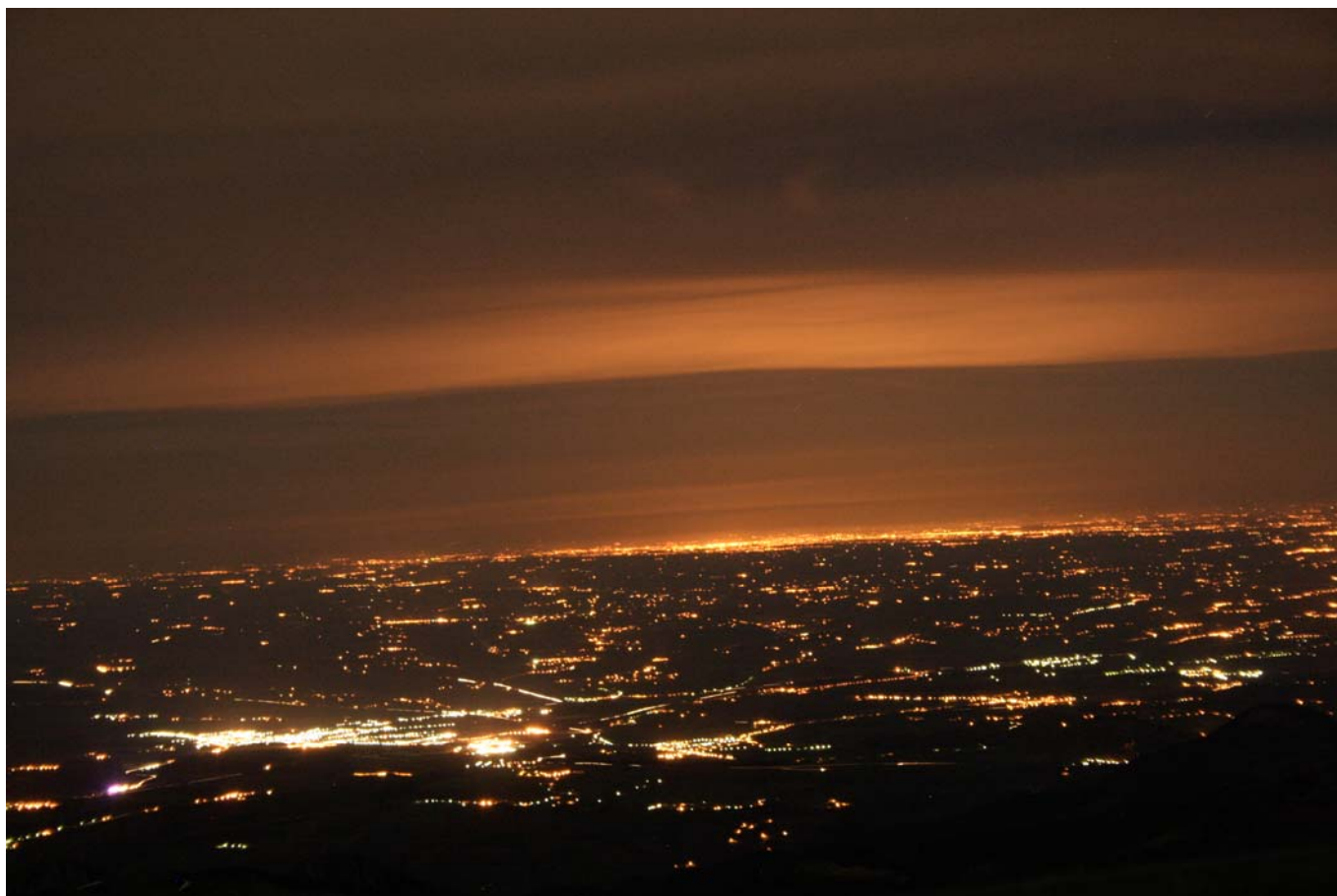
Des matériels nouveaux apparaissent sur le marché et permettent de faire des mesures dans les nombreux sites. C'est le cas notamment du « Sky Quality Meter » spécialement conçu pour ce type de mesures. Ces outils et protocoles permettent désormais de réaliser un grand nombre de mesures dans tous les pays.

L'amélioration constante des techniques utilisées, notamment dans les domaines aériens et spatiaux, permet d'augmenter significativement le nombre et la qualité de sources artificielles modélisées dans les banques de données . Ces progrès permettent, après analyse, d'affiner en permanence les modèles, banques de données utilisées dans les calculs, cartes et bilans de sites. Ainsi, il sera possible d'effectuer des études d'impact de la pollution lumineuse de plus en plus précises et d'élargir ainsi les domaines d'applications.

### Utilisation des belvédères :

Les montagnes ,cols , collines et point de vues constituent de magnifiques belvédères. Ce sont souvent des sites privilégiés pour effectuer des études d'impact de la pollution lumineuse générées par les villes, agglomérations, et zones d'activités dans différentes gamme de spectres .

Par exemple, la plate-forme de l'observatoire du Pic du Midi de Bigorre domine de plus de 2000 m la plaine qui s'étend au nord. L'horizon nord embrasse ainsi 1/6 de la France (Région Aquitaine et Région Midi Pyrénées) .



**Photo 5** : Les lumières et du halo de l'agglomération Toulousaine vue depuis l'observatoire du Pic du Midi de Bigorre ( Photo Michel Bonavitacola le 15 mars 2008).



## **V - Evaluation et surveillance aérienne des sources lumineuses artificielles :**

Le survol de nuit par avion ou hélicoptère d'une ville ou d'une agglomération apporte des informations extrêmement précises et fiables. La technique consiste à effectuer un quadrillage méthodique à altitude constante et vitesse réduite pendant que des systèmes d'imagerie et photométrie extrêmement performants acquièrent des données à différentes longueurs d'onde.

Ce type de marché est en forte expansion. Il est tiré par une conjoncture favorable aux économies d'énergies et aux politiques de développement durable. De nombreuses agglomérations en Europe ont signé des conventions pour effectuer des bilans thermiques avec notamment en complément un volet bilan des éclairages.

On sait évaluer et quantifier précisément l'éclairage d'une collectivité par voie aérienne. On peut aussi identifier et différencier les zones urbaines sur-éclairées, bien éclairées, mal éclairées. L'analyse des données ainsi recueillies permet notamment de vérifier la conformité des matériels installés et leur mise en œuvre.

Une zone sur-éclairée est une zone où les flux de lumière projetés au sol par les éclairages sont excessifs. De bons éclairages ont une puissance lumineuse et une répartition spectrale conforme au cahier des charges. Vu du ciel on ne voit pas la source lumineuse, mais uniquement leurs « cibles » (carrefours, passages piétons, etc...). Ce qui n'est pas le cas des éclairages "polluants" qui éclairent le ciel et dont la source est souvent visible du ciel. Ils sont en général non conformes au cahier des charges, et sont souvent des éclairages urbains, des éclairages de monuments, sites naturels, centres et locaux commerciaux, enseignes publicitaires, des éclairages intégrés dans les trottoirs....

Il peut arriver que le cahier des charges ne soit pas conforme aux règles de l'art, règlements ou conventions signées. (proximité de zones naturelles protégées, zones humides, littoral, zones frontalières...).

Les survols de nuit permettent aussi de vérifier la mise en œuvre des plages horaires de fonctionnement lorsque des heures d'extinction totale ou partielle sont décidées.

La société française Tradind Corp.Consulting S.A ([référence 10](#)) utilise des hélicoptères pour établir le diagnostic de villes et communautés de communes . L'hélicoptère vole à 600-800 m d'altitude, de 20h à minuit. Une équipe au sol permet de caler l'analyse grâce à des sources lumineuses calibrées. Les photos numérisées sont ensuite converties en lux et intégrées à un SIG ou à une cartographie d'aide à la décision. Le coût est relativement faible par rapport à des techniques plus lourdes à mettre en œuvre et les résultats sont très précis.

En France, l'Institut Géographique National (IGN), en partenariat avec le Centre d'Etudes Spatiale (CNES), développe des systèmes embarqués sur avions extrêmement performants. Des caméras CCD grand champ ont été développées par le laboratoire d'optoélectronique et de micro-Informatique (LOEMI) de l'IGN ([voir référence 11](#)). En janvier 1996, le premier vol test avec ce type de caméra numérique grand champs a été effectué pour photographier la cathédrale d'Amiens. Les images numériques en noir et blanc enregistrées lors de cette mission sur Amiens et la vallée de la Somme ont permis de confirmer les potentialités de cette technique dont le développement a conduit aux caméras actuellement exploitées pour les prises de vues départementales.

Le vol qui peut être effectué à très faible éclairage consiste à effectuer des balayages de zones géographiques à altitude constante de l'ordre de 1500 à 2000 mètres . Pendant le vol des prises de vue et films sont pris en utilisant différents filtres et temps de pause. Le repérage des coordonnées est assuré par des GPS de grande précision. La résolution au sol après traitement peut atteindre quelques décimètres sur des zones de plusieurs kilomètres carrés.

La résolution au sol élevée, la surface importante des zones étudiées , le seuil de détection des flux ascendants très faible rendent ces techniques et recherches particulièrement intéressantes pour établir les bilans et études d'impacts de pollution lumineuse. Ces recherches ont indéniablement un immense potentiel notamment dans le domaine spatial.

Une analyse plus qualitative est théoriquement possible (infrarouge, ultraviolet, réverbération sur l'eau, impacts indirects sur les espaces verts et cours d'eau, etc. Mais les outils sont encore réservés au domaine militaire .

## **VI Evaluation et surveillance des lumières artificielles depuis l'espace :**

### **Les satellites DMSP**

Les satellites U.S. Air Force Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) sont en orbite polaire héliosynchrone à 830 km d'altitude (la période est de 101 minutes, soit 14 orbites par jour). On obtient ainsi la couverture totale de la surface terrestre (jour et nuit) toutes les 24 heures. La fonction principale de ces satellites est la surveillance météorologique de la Terre de jour et de nuit.

Le National Geophysical Data Center ([référence 12](#)) gère la banque de données du programme DSMP. La banque de données numérisée a été initiée en 1992. Puis en 1994 ont été ajoutés les outils et processus spécifiques développés pour le dépouillement et d'analyse des images des sources lumineuses terrestres issues du DSMP-OLS. Les données des satellites (3 jour / nuit, 1 aurore / crépuscule) sont ajoutées à l'archive chaque jour.

Le système OLS (Operational Linescan System) est un radiomètre à balayage oscillatoire capable de faire de l'imagerie à amplification en lumière visible et en infrarouge thermique. Il effectue des mesures et prend des images en lumière visible faible et en infrarouge. La nuit, il permet de détecter des nuages éclairés par la lune, les lumières des villes, des sites industriels, des torchères, des éruptions, et des événements transitoires tels que les incendies, les pêcheurs, et les éclairs, des nuages très lumineux, des aurores boréales...

La nuit, l'OLS utilise un photo multiplicateur (PMT) couplé à un télescope de 20 cm de diamètre. Le photo multiplicateur (PMT) intensifie le signal reçu de la bande visible. La bande spectrale utilisée va de 440 nm à 990 nm avec une sensibilité élevée entre 500 et 650 nm. Cette bande permet de couvrir l'ensemble des spectres habituellement utilisés pour les éclairages urbains actuels :

- vapeur de mercure : 545 nm à 575 nm
- sodium haute pression : 540 nm à 630 nm
- sodium basse pression 589 nm
- etc

OLS balaye une bande de 3000 km de large avec une résolution au nadir de 2.7 km en mode basse résolution et de 0.55 km en haute résolution. Le système d'acquisition instantané a des résolutions moins élevées qui dépendent de l'angle de la prise de vue par rapport au nadir. Cette précision peut aller jusqu'à 5.4 km à 1500 km du nadir.

La nuit, pour détecter les nuages, le photomultiplicateur (OLS) opère en gain élevé. Au début du programme DMSP, les lumières des villes étaient saturées et aucune mesure de flux (radiance) ne pouvait être effectuée. Il fallut donc adapter et introduire des algorithmes de façon à adapter les gains dans la bande visible à ce nouveau besoin sans altérer la fonction détection des nuages. En diminuant et adaptant les seuils de saturations on peut effectuer des mesures sur les centres urbains importants.

L'amélioration de la résolution, de la dynamique et la sensibilité du système OLS permettra d'accéder à des niveaux de flux lumineux (donc d'éclairement au sol) beaucoup plus faibles (petites villes, communes rurales, monuments isolés, sites naturels...).

**Photo 6** : Carte de pollution de l'Europe issue du premier atlas mondial donnant la clarté artificiel du ciel nocturne - Copyright Professeur Cinzano

### **L'atlas mondial de la pollution lumineuse**

Le premier « atlas mondial de la clarté artificiel du ciel nocturne » a été publié en 2001 ([référence 13](#)). Il est basé sur les données « haute résolution » fournis par les OLS embarqués sur les satellites DMSP.

Les données ont été recueillies sur 28 nuits en 1996 et 1997. La carte mondiale résultante est une mosaïque des images et mesures des zones géographiques avec nuit sans nuage. Les lumières éphémères et aléatoires ont été identifiées puis enlevées (incendies, pêcheurs...). Seules les lumières artificielles stables (visibles sur trois passages au moins du satellite considéré) sont prises en compte.

Les flux lumineux ascendants sont calculés à partir des rayonnements observés. Les mesures de flux ont été étalonnées lors de vols préparatoires (réglage des gains et calibration sur des mesures étalonnées au sol).

Pour analyser les résultats des mesures de flux lumineux dues aux éclairages artificiels et calculer l'impact résultant sur la luminosité du fond de ciel, divers éléments doivent être pris en compte :

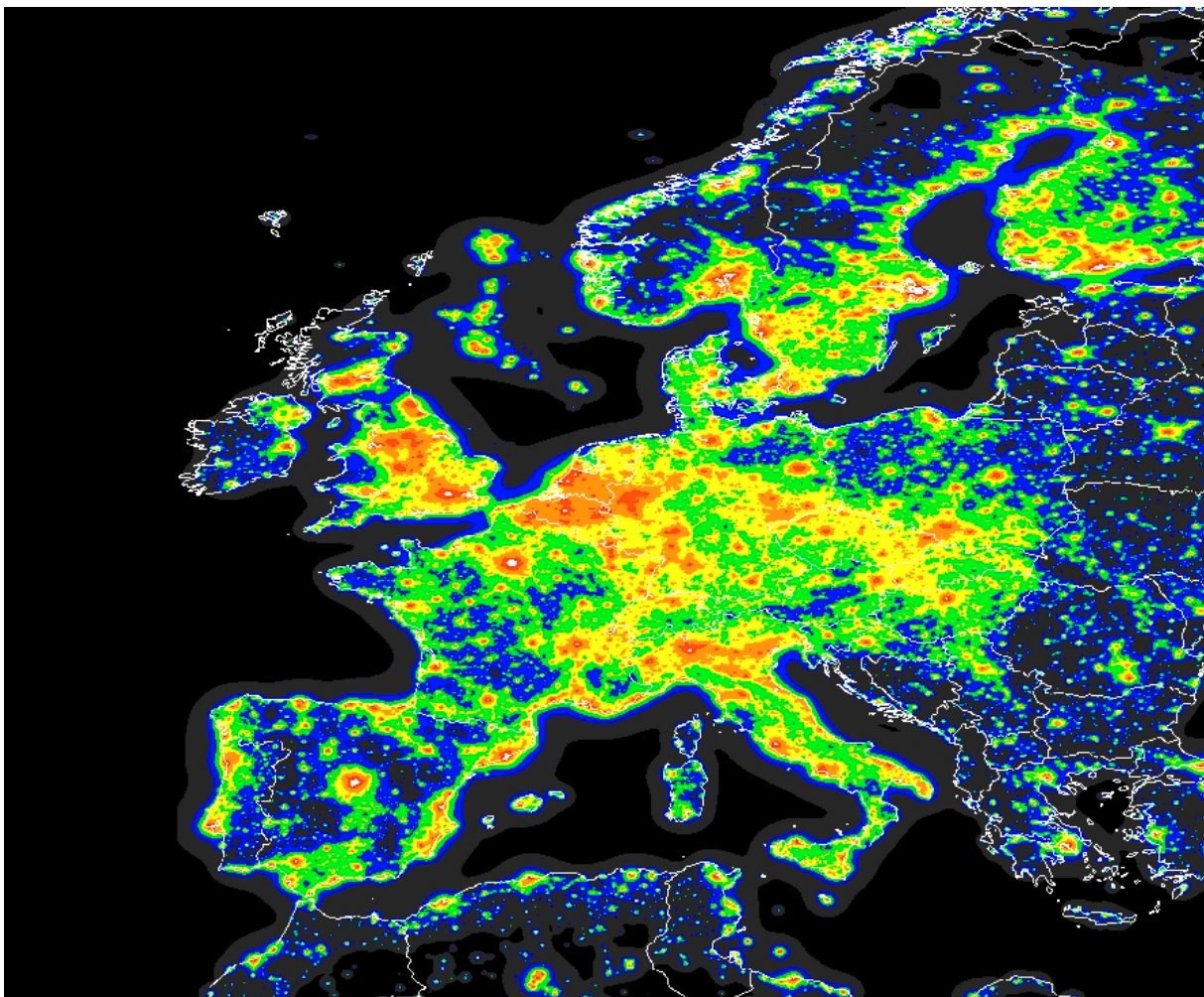
- Les lois de la propagation de la lumière dans l'atmosphère :
  - la diffusion de Rayleigh par les molécules
  - la diffusion de Mie par les aérosols

- l'absorption atmosphérique
- Les éléments géodésiques et géographiques terrestres :
  - la rotondité de la terre
  - l'altitude
  - les effets de masquage des montagnes et du relief
- Modélisation de l'impact photométrique de la pollution lumineuse sur la luminosité du fond de ciel

Les modèles de l'impact photométrique de la pollution lumineuse sur la diminution de la luminosité du fond de ciel par rapport au fond de ciel naturel ont été développés sur la base de campagnes de mesures menées dans les observatoires notamment en Europe et aux Etats-Unis. Ces travaux fondateurs sont la base des études et processus nécessaires pour définir et appliquer le contrôle et le monitoring des sources lumineuses artificielles et leur impacts.

Les modèles utilisés sont standards. Lorsqu'ils sont identifiés et récurrents, les effets locaux très spécifiques doivent être pris en compte . En effet , des phénomènes locaux peuvent modifier notablement, voire amplifier notablement, la réponse de l'atmosphère aux éclairages artificiels :

- Dômes urbains de pollution parfois très importants des mégapoles
- Réflexion (albédo) de la neige, étendues d'eau , givre, glace, nature des sols...
- Phénomènes atmosphériques particuliers (inversion de température, humidité locale en forêt ou zones humides...).



**Photo 6** : Carte de pollution de l'Europe issue du premier atlas mondial donnant la clarté artificiel du ciel nocturne - Copyright Professeur Cinzano



Les premier puis second atlas réalisés fournissent notamment une représentation presque mondiale de la façon dont l'humanité est en train de s'envelopper dans un brouillard lumineux. En comparant l'atlas avec la base de données de la densité de population du Ministère de l'Énergie américain, il a été possible de déterminer la fraction de la population vivant sous un ciel d'une certaine clarté. Environ deux tiers de la population mondiale et 99% de la population des États-Unis (hors Alaska et Hawaï) et de l'Union Européenne vivent dans des régions où le ciel nocturne dépasse le seuil fixé pour le statut de ciel pollué.

En considérant une acuité visuelle moyenne, environ un cinquième de la population mondiale, plus des deux tiers de la population des États-Unis et plus de la moitié de la population de l'Union Européenne ont déjà perdu la visibilité à l'œil nu de la Voie Lactée.

Ces résultats couplés aux études d'impact récemment menées à des études récentes sur l'impact de la pollution lumineuse sur la faune et la flore laissent entrevoir des modifications profondes sur notre environnement proche. [\(référence 5\)](#).

Les atlas mondiaux effectués grâce aux mesures des satellites DMSP sont des outils précieux pour la définition des zones à classer (International Dark Sky Communities , Park , Reserves) , protéger et sauvegarder à long terme. Ces travaux mettent en évidence l'augmentation très rapide des surfaces et réseaux urbanisés, leurs répartitions géographiques, l'évolution des flux et puissances lumineuses utilisées.

### [International Space Station :](#)

Il est possible à partir de la station internationale orbitant à environ 400 km d'altitude de prendre des images de la Terre de nuit. Des tests ont été effectués à partir d'une plate-forme photographique relativement simple et aisée d'utilisation installée près d'un des hublots de l'ISS. La NASA a constitué une banque de données d'images et de vidéos dont certaines sont disponibles sur le net. [\(référence 14\)](#).

La photographie ci-après montre Londres, sa banlieue, l'embouchure de la Tamise et le côté Sud de l'Angleterre jusqu'à Hasting. Cette photographie a été prise le 04 février 2003 par un astronaute avec une camera digitale et mise à disposition par le laboratoire « Earth Sciences and Image Analysis Laboratory » du Johnson Space Center aux États-Unis. Le champ couvre une zone de plus de 120 km de côté et montre des détails inférieurs au kilomètre. On y remarque la structure détaillée de la banlieue de Londres, certains axes routiers éclairés, des zones portuaires et la saturation des quartiers du centre ville. On relève aussi dans l'embouchure de la Tamise des nuages ou brumes éclairés par les lumières

Ces images sont incontestablement encourageantes au regard du potentiel d'amélioration à apporter au système mis en œuvre.



ISS006E22939

**Photo7 :** Vue de Londres de nuit depuis l'ISS - Copyright NASA

### Observation de la terre depuis la lune :

Vu de la lune, le disque terrestre est environ quatre fois plus grand que la pleine lune soit environ 2 degrés. Lors d'une des missions Apollo, un petit télescope a été déposé sur le sol lunaire et a permis de prendre des images dans la bande UV.

Dans le cadre d'une base lunaire permanente, la mise en place d'un télescope automatique observant la nuit terrestre serait du plus haut intérêt. En effet les astronomes qui observent la lune depuis la Terre savent bien que dans certaines conditions de stabilité et turbulences atmosphériques et avec l'instrumentation adéquate on peut atteindre une résolution nettement inférieure au kilomètre du sol lunaire.

Les évolutions techniques actuelles et à venir (optique adaptative, interférométrie, caméra CCD nouvelle génération...) permettent d'améliorer significativement la résolution et les seuils de détection des flux dans les différentes gammes d'onde.

Un télescope automatique de la classe des 1 mètre à 1.5 mètres de diamètre (voire plus ) pointant la Terre depuis la face visible de la lune pourrait contribuer efficacement à la sauvegarde de l'environnement nocturne terrestre.

## **VI I -Conclusions :**

La prolifération rapide et la puissance non maîtrisée des éclairages extérieurs a des impacts multiples et quantifiables sur l'environnement nocturne. Des solutions techniques simples et pragmatiques permettent de réduire significativement les nuisances des éclairages artificiels tout en respectant le confort des utilisateurs. Les nouveaux processus décrits dans cet articles conduisent à des économies d'énergies très importantes et s'inscrivent dans une démarche de développement durable.

L'observation de plus en plus précise de la Terre de nuit par des moyens terrestres, aériens, et satellitaires permet d'établir au travers d'études d'impacts des bilans de plus en plus fiables.

Les processus détaillés dans cet article sont une aide précieuse pour la préservation de la faune nocturne et de la flore. Ils participeront de plus en plus à définir des politiques d'aménagement des territoires plus respectueuses de l'environnement. Ils conduisent à des économies d'énergies très importantes et s'inscrivent dans une démarche de développement durable.

## **8 - Références**

- (1) - Rapport de l'Académie des sciences «protection des observatoires astronomiques et géodésiques ». Jean Kovalevsky- France 1984
- (2) - Recommandations de la Commission Internationale de l'éclairage
  - Guidelines for minimizing sky glow (CIE 126-1997)
  - Guide on the limitation of the effect of obtrusive light for outdoor lightning installations Report of commitee TC5.12 - Obtrusive light. Vienna Austria : CIE - 2001
- (3) – Mise en place d'un processus d'impact au niveau d'un projet d'éclairages massifs - 2005- Université Paul Sabatier- Génie Environnement /Toulouse et Licorness Simon Grimal / Michel Bonavitacola (voir site Licorness : <http://astrosurf.com/licorness>)
- (4) – Institutions internationales et associations de sauvegarde de l'environnement nocturne :
  - Union Astronomique Internationale ( UAI ) ( site <http://www.iau.org/>)

- Commission Internationale de l'éclairage ( CIE) - ( site : <http://www.cie.co.at/>)
  - International Dark Sky Associatio (IDA) – Cette association basée à Tucson en Arizona est la plus importante association (site <http://www.darksky.org>)
  - Light Control Brightness Night Environnement Sky survey ( Licorness ) – Association basée à Toulouse en France qui est spécialisées dans la recherche et la formation concernant les multiples impacts de la pollution lumineuse sur l'environnement. (Site : <http://astrosurf.com/licorness>)
  - Association Nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturne – association française particulièrement active sur le territoire français au travers notamment de son réseau de correspondants départementaux. ( site <http://www.astrosurf.com/anpcn/>)
- (5) – Etudes d'impact de la pollution lumineuse sur les batraciens anourés – 2007- Université Paul Sabatier- Génie Environnement /Toulouse et Licorness - Brice Deslandres / Michel Bonavitacola (voir site Licorness : <http://astrosurf.com/licorness>)
  - (6) – Impact de la pollution lumineuse sur parcs nationaux et parcs régionaux - 2006 - Licorness – Brice Deslandres / Michel Bonavitacola (voir site Licorness : <http://astrosurf.com/licorness>)
  - (7) – « Vers un indice de qualité des sites du point de vue de la pollution lumineuse » - 1998 – Michel Bonavitacola (voir site Licorness : <http://astrosurf.com/licorness>)
  - (8) – Rapports du premier et second congrès national congrès de Rodez 1995 et 1998 – Commission recherche et développement - Laurent Corp / Michel Bonavitacola (voir site Licorness : <http://astrosurf.com/licorness>)
  - (9) – Modélisation de la pollution lumineuse – 2002 – Institut National des sciences appliquées – Toulouse / Licorness – Nicolas Pretat / Michel Bonavitacola (voir site Licorness : <http://astrosurf.com/licorness>)
  - (10) - Forum sur "l'analyse lumino-environnementale nocturne aérienne" , 31 janvier 2008, Assises nationales de l'énergie des collectivités territoriales. Atelier animé par Jean-Claude Barré (société Tradind Corp.Consulting S.A., qui développe une méthode dite A-LENA ; Analyse Lumino-Environnementale Nocturne Aérienne) et qui est par ailleurs spécialiste de la thermographie aérienne, avec vols en hélicoptères « compensé carbone » site <http://www.tcc-tm.com>
  - (11) - Le LOEMI (Laboratoire d'Opto-électronique et de Micro-Informatique) est le laboratoire d'instrumentation de l'institut géographique national. Il est est situé en France à Saint Mandé. Il dépend du Service de la Recherche qui dépend lui même de la Direction Technique de l'IGN. <http://recherche.ign.fr/LOEMI/accueilLOEMI.php>
  - (12) – Site du groupe « observation de la Terre » du National Géophysical Data Center : [www.ngdc.noaa.gov/dmsp/](http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/)
  - (13) – « The first world atlas of the artificial night sky brightness » Professeurs Cinzano, Falchi, Elvidge [www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf](http://www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf)
  - (14) – Images de la terre de nuit à partir de la station spatiale internationale : « the gateway to astronaut photography on earth » (<http://eol.jsc.nasa.gov/>) et vidéo (<http://www.youtube.com/watch?v=eEiy4zepuVE>)



