

# OBSCURITAS NOCTIS



REVUE DE L'ASSOCIATION POUR LA SAUVEGARDE DU CIEL ET DE L'ENVIRONNEMENT NOCTURNES ASBL



JOURNÉE D'ÉTUDE  
SUR LA MISE EN  
LUMIÈRE DU  
PATRIMOINE

QUELQUES ÉCHOS  
DE LA DERNIÈRE  
NUIT DE  
L'OBSCURITÉ

EXTINCTION DES  
ÉCLAIRAGES SUR  
LES AUTOROUTES  
EN FLANDRE

DIFFUSION DE LA LUMIÈRE, FORMATION  
DES HALOS ET CHOIX DE L'ÉCLAIRAGE  
2<sup>ÈME</sup> PARTIE : DIFFUSION DE MIE ET  
DIFFUSION DE RAYLEIGH



Revue éditée par l'Association pour la Sauvegarde du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ASCEN) ASBL  
Rue du Dolberg, 7  
B-6780 Messancy  
0473.63.44.24  
[www.ascen.be](http://www.ascen.be)

**PRÉSIDENT :**

Francis Venter  
GSM : +32 (0)473 63 44 24  
Tél. : +32 (0)63 38 96 86  
[francis.venter@gmail.com](mailto:francis.venter@gmail.com)  
Rue du Dolberg, 7  
B-6780 Messancy

**VICE-PRÉSIDENT :**

Philippe Demoulin  
GSM : + 32 (0)485 07 47 55  
Tél. : +32 (0)4 252 16 65 (privé)  
Tél. : +32 (0)4 366 97 85  
[demoulin@astro.ulg.ac.be](mailto:demoulin@astro.ulg.ac.be)  
Rue Saint-Maur, 95  
B-4000 Cointe (Liège)

**SECRÉTAIRE :**

Philippe Vangrootloon  
GSM : +32 (0)499 16 26 02  
Tél. : +32 (0)71 32 58 18  
[philippe.vangrootloon@gmail.com](mailto:philippe.vangrootloon@gmail.com)  
Rue Pays de Liège, 30  
B-6061 Montignies-sur-Sambre

**TRÉSORIER :**

Jean-Marie Mengeot  
GSM : +32 (0)473 53 90 93  
Tél. : +32 (0)81 73 57 86  
[jean.marie.mengeot@gmail.com](mailto:jean.marie.mengeot@gmail.com)  
Rue Charles Zoude, 53  
B-5000 Namur



Photo de couverture :  
Eglise de Hody (Anthignes)  
© Philippe DEMOULIN

## FAITS & ÉVÉNEMENTS

### A) COMPTE RENDU DE LA JOURNÉE D'ÉTUDES « LA MISE EN LUMIÈRE DU PATRIMOINE » DU 13/10/2010

Voici un petit compte rendu de la journée d'études « La mise en lumière du Patrimoine », organisée hier par la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles (CRMSF) où notre ami Philippe DEMOULIN présentait un exposé sur la pollution lumineuse.

Parmi les interventions, il a pu retenir :

Agnès Calberg, directrice des voiries subsidiées (Service Public de Wallonie - ancien MET), a parlé d'un nouveau cahier des charges de la Région Wallonne pour l'éclairage. On y mentionne notamment :

- des valeurs minimum ET maximum d'éclairage
- un aspect économie d'énergie « Plus de lumière n'est pas synonyme de plus de sécurité », a-t-elle mentionné !

Isabelle Quoilin, également du Service Public de Wallonie, a cité ces chiffres :

- 874 km d'autoroutes en Wallonie, dont 816 km éclairés ;
- 6 850 km de routes, dont 1 582 km éclairés ;
- le trafic augmente de 2.4 % par an.

Pour elle, le meilleur éclairage sur les autoroutes, ce sont les poteaux en berme centrale hauts de 20 m, interdistant de 90 m et portant 4 lampes Na LP (Sodium Basse Pression) de 131 W. Ensuite les Na HP (Sodium Haute Pression) de 150 à 400 W, puis les lampes à iodures métalliques de 150 à 250 W.

Patrick Castiau, chef du service de l'éclairage public chez Ores (Opérateur des Réseaux Gaz et Électricité) a présenté le site Lumiweb ([www.lumiweb.be](http://www.lumiweb.be)), une application interactive de gestion du parc d'éclairage public de nos Villes et Communes.

Richard Benrubi, directeur général des services techniques de la

#### Les réseaux routiers belges

Année 2004

En km	Wallonie	Flandre	Bruxelles-Capitale	Belgique (total)
Autoroutes	869	867	11	1.747
Routes régionales	6.839	5.372	320	12.531
Routes provinciales	714	635	0	1.349
Routes communales	70.840	62.550	1.550	134.940
<b>Total</b>	<b>79.262</b>	<b>69.424</b>	<b>1.881</b>	<b>150.567</b>

« Le ciel étoilé fait partie intégrante du patrimoine mondial à préserver »  
UNESCO, 1992

ville de Mons, a présenté le plan lumière de Mons. Il mentionne le conflit entre l'éclairage des rues et l'éclairage des monuments (l'éclairage des rues empêchant souvent de voir les monuments). Pour lui aussi « éclairer plus n'apporte pas plus de sécurité ».

Jean-Louis Etienne, de la firme Schröder, a présenté les nouveaux matériels de la firme, ainsi que de nombreuses mises en lumière de monuments, bien réussies en général, mais qui contiennent malheureusement très souvent des spots encastrés dans le sol au pied des murs pour éclairer ceux-ci (et aussi surtout le ciel). Il a montré toute une série de réalisations récentes à l'aide

de LED (exemples : la lumière bleue de quelques ponts à Liège, l'église de Sohier (200 watts au total !), la lumière rouge de l'hôtel de ville de Liège, la maison communale de Ferrières, des arbres verts à Wellin, le pont métro à Anderlecht...). Après les exposés, Jean-Louis Etienne a signalé à Philippe que Schröder testait actuellement des lampadaires à LED à Blégny.

Philippe était le dernier orateur, et sa présentation a été très bien accueillie (beaucoup de félicitations après l'exposé : les participants étaient très contents d'avoir un autre avis que ceux des éclairagistes). Les participants ont été particulièrement

impressionnés par les projecteurs à masque de la firme suisse Opticalight dont Thierry HANON-DE-GROOTE, Jean-Marie MENGEOT et Raoul LANOY nous avaient parlé lors de notre réunion du 24 septembre dernier.

Dans la discussion qui a suivi les exposés, la CRMSF a décidé de publier rapidement un vade-mecum sur les bonnes pratiques de l'éclairage des monuments, et a demandé à Philippe de participer à la rédaction de ce vade-mecum.

En résumé, la CRMSF est très favorable à notre lutte contre la pollution lumineuse.

## B) QUELQUES ÉCHOS DE LA DERNIÈRE NUIT DE L'OBSCURITÉ

PHILIPPE DEMOULIN : Une soixantaine de participants pour la Nuit de l'Obscurité à Anthisnes, malgré les conditions météo défavorables (pluie fine et vent fort).

Le vent fort ayant éteint la plupart des lanternes, le défilé aux lanternes dans la forêt s'est fait dans l'obscurité. Aucun oiseau nocturne n'a été entendu, pas plus que la moindre étoile n'a été observée... Mais grâce au conteur Rumeleur et à l'exposé d'André Burnel sur les oiseaux de nuit, les gens sont repartis satisfaits. J'avais aussi imprimé tous les posters de l'ASCEN, que le public a pu étudier à son aise, vu la météo... Et le bourgmestre lui-même m'a demandé de commenter le nouveau éclairage des environs de l'église à Hody, et notamment de montrer les très mauvais luminaires (encastrés dans le sol) tout à côté d'autres bons éclairages. Bourgmestre tout à fait conscient de ce que les communes ne connaissent pas du tout les bons ou mauvais lampadaires et se laissent entièrement guider par les éclairagistes.

EMMANUEL JEHIN : A Spa cela commençait dès 17h30. Au total 80 personnes à mon avis jusque 22h (150 d'après les organisateurs cad la commune). Pas vu une seule étoile non plus mais on

avait monté deux télescopes et une expo avec 15 panneaux sur la Pollution Lumineuse. La marche a pu se faire, les contes aussi et un gars avec des rapaces nocturnes a eu aussi son petit succès. La soupe aux oignons aussi... Quelques médias mais peu dès l'ouverture. La for-

mule avec les différentes animations est bonne reste à avoir une meilleure météo. octobre cela commence aussi à faire plus froid... mi septembre serait mieux. Sinon je crois que toutes les personnes avec qui j'ai parlé était assez convaincues de l'aspect pollution de ce fléau.



RAOUL LANNOY :

Ok,  
C'était près de Bruxelles,  
Ok,  
La ville la plus belle,  
Ok,  
Notre rendez-vous avec elle,  
Ok,  
Et là-haut avec le ciel...  
Ok,  
Tout ça n'était qu'un jeu,  
Ok,  
On jouait avec le feu,  
Ok,  
On s'est pris au sérieux,  
Ok,  
Passion au fond des yeux

Nuit Magique,  
Une histoire d'enviro  
Qui tourne à l'astro  
Sans faire dodo....

Bon ben, ce fut génial ! Arrivée en confiant le destin au GPS qui m'oblige à faire un u-turn vers un chemin en pavés, impossible à réaliser d'un coup et donc j'ai quelque peu gêné les voitures d'en face. Pas grave mais déjà du monde sur place au Rouge Cloître à Auderghem vers 16:45, très accueillant et prêt à aider à se retrouver et à monter le matériel! Il avait plu la veille et l'eau tombait en cascade des tentes...Il a même plu un peu en fin d'après-midi.

Astrovéga se retrouvait avec le CAO (Gaston nous a rejoint; Linda et Ashraf aussi) et Astronamur (puis vint Thierry), Mira (avec Philippe) et le Planétarium (avec Gert et plus tard Anne-Lize). Nous rencontrons Nicolas Forrez et Nathalie de La Besace et Thierry Ney du ministère.

J'installe la bête (oui, enfin le Dobson de 31cm) d'où nous pourrions voir Jupiter plus tard.

Ciel très couvert mais une ouverture laisse entrevoir la Lune, vite être prêt et quelques personnes ont pu admirer notre satellite naturel pendant environ 30 minutes ! Puis à nouveau, le ciel se couvre; J'en profite pour aller au restaurant et manger la "tarte au sel" ? C'était excellent !



Retour dehors, toujours pas d'éclaircie, en petit tour aux stands où Linda et Ashraf sont très bien entourés d'auditeurs attentifs, grâce au beamer, l'écran et leur programme éducatif !

Et une conférence par Thierry qui explique le phénomène de la pollution lumineuse !

Ah, on vient d'apercevoir Jupiter, de retour sur l'esplanade avec MIRA et d'autres qui ont aussi leurs Dobson. Enfin, Jupiter daigne se montrer de plus en plus et pratiquement en permanence jusqu'au bout, ainsi que le reste du ciel ! Nous avons assisté au passage de Ganymède devant Jupiter ainsi que son ombre sur la surface de la planète très bien visible au travers du Dobson de 12 pouces, la barlow 3 et l'oculaire Hyperion 24mm !! Europe était aussi toute proche de la planète géante !

Edouard, Marguerite puis Rodrigo et Sophie et les enfants sont venus voir au Dobson ! J'ai aussi montré M31, M33 au Dobson, M45 aux jumelles 20x80; je n'ai pas pu repérer la comète Hartley P103....De nombreux enfants ont pu admirer le ciel durant la soirée (sans doute vers les 400 personnes sont venues). Nous avons chacun un rôle et j'ai aussi pu faire participer nos associations à la Beauty Without Borders qui est la nuit internationale d'observation de Jupiter !

En fin de soirée, passé minuit, Voilà que Friedel arrive! Tout le monde fut très satisfait! Quelques choses à améliorer pour la prochaine fois mais nous avons eu de la chance avec la météo qui est devenue généreuse assez tôt pour que de nombreux visiteurs puissent en profiter aussi !

ALEX BRUCATO : Malgré un temps couvert et venteux, rendant toute observation impossible, la NO fut un succès. Le chalet du Conservatoire naturel d'Orp-Jauche était rempli, environ 35 personnes. Mr. le bourgmestre a écouté avec intérêt la présentation de l'ASCEN sur la pollution lumineuse : la commune a fait l'effort de couper l'éclairage nocturne de certaines rues.

La soirée fut suivie d'une promenade dans les bois où était organisé un « tour du système solaire » qui reprenait une visite de chaque planète représentée par des éléments végétaux. Retour au chalet pour une présentation plus détaillée des 8 planètes, d'une présentation des logiciels gratuits éducatifs, d'une présentation des différents types de montures et télescopes, car il avait des astronomes amateurs dans la salle. Le tout se terminant par un vin chaud à 23h30.

Bref, on m'a redemandé pour une NO en 2011...

FRANCESCO LO BUE : notre NO au jardin géologique d'Obourg (périphérie de Mons) a attiré au moins une cinquantaine de personnes enthousiastes. Sensibilisation à la pollution lumineuse, planétarium, stand sur les météorites, et observation du ciel pour les plus courageux qui ont veillé tardivement pour attendre enfin l'arrivée d'une belle grande éclaircie (Jupiter et sa GTR, le passage de Ganymède ont particulièrement bien été observés).

Mais un seul regret tout de même : pourquoi donc choisir une date pour la NO avec une lune si avancée ? On parle d'obscurité, mais on ne peut pas la montrer finalement, cela n'a pas bcp de sens selon moi. ROLAND BONINSEGNA : Une trentaine de personnes se sont rassemblées au Centre de Physique du globe de Dourbes pour visiter l'exposition "From Earth to the Universe". On y a mis en relief la problématique de la pollution lumineuse.

Les participants ont ensuite visionné une vidéo relatant les expériences en cours au Centre de Physique du globe. Anne Lambert (Natagora et Chouette-Nature) a ensuite introduit le sujet de la promenade qui suivait : l'observation des rapaces nocturnes et des chauves-souris. La promenade elle-même fut de courte durée car, vu la météo et la température, l'activité de ces animaux nocturnes est restée très discrète. Inutile de dire que le ciel fut couvert ...

JEAN-MARIE MENGEOT : Réussite mitigée à Fernelmont. Heureusement que Natagora était présent pour animer. Natagora a reproché le choix de la date tardive pour la nuit de l'obscurité. Pour eux, cet événement ne devrait pas se faire avant avril et pas plus tard que septembre. Et je suis entièrement d'accord avec eux.

Ciel couvert toute la soirée. Chasse aux insectes de nuit rien donné (vent et froid). Construction de gîte pour chauve-souris et nichoir pour chouette, beaucoup de succès. Visite d'une chouette effraie pendant 5 bonnes mi-

nutes. Traquée par une lampe torche que disposait un guide de Natagora, elle nous a dévoilé son plumage superbe. Côté Astro, à part notre stand bien achalandé et ma conférence sur la pollution lumineuse qui a intéressé plus d'un, pas d'observation possible. A 22h30 tout était fini.

Le froid et le ciel couvert en a refroidi plus d'un. La nuit des étoiles filantes au mois d'août avait eu beaucoup plus de succès malgré la météo pluvieuse.

Autre reproche: voyant les conditions météo la commune n'a même pas éteint les lumières.

MICHEL VAN DEN BROECK, MARIE-LAURE ALFF : c'est la troisième année que la Ferme des Fées propose de vivre la Nuit de l'Obscurité dans le petit village de Les Hayons. La commune de Bouillon avait accepté, pour l'occasion, d'éteindre l'éclairage public cette nuit dans toutes les rues du village.

Dans le cadre magique de la grange de la Ferme des Fées, Michel a d'abord fait un exposé sur la problématique de la pollution lumineuse (merci à Francis pour le power-point). Beaucoup de gens présents ne connaissent pas toute l'ampleur des effets négatifs de la pollution lumineuse, mais comme les questions-réponses le montraient, certaines personnes se sont déjà plaintes d'un éclairage communal abusif et ont approché sans succès les représentants de leur commune à ce sujet.

Après une petite pause qui permettait à tout le monde de chercher son gilet fluo pour être vu par les voitures, le groupe d'environ 25 personnes se met en route pour la balade contée. (Durant la balade, seules deux voitures roulant prudemment dans le noir, croisent le groupe de promeneurs nocturnes.)

Marie-Laure, "ambassadrice des fées et des sorcières", avait choisi quelques unes des plus belles légendes de nos forêts ardennaises, histoires de fées, sorcières et loups... Trois flambeaux illuminaient les promeneurs nocturnes et faisaient danser mille ombres. Un vent capricieux et froid attisait les torches qui se consumaient rapidement en crépitant. Les premières "stations" se sont faites en dehors du village : près du point de vue, devant une pâture et dans un chemin forestier.

Quand le groupe entre dans le village, la dernière torche rend l'âme, mais cela ne pose pas de problème car la lumière d'une seule fenêtre éclairée ou d'un petit lampadaire de façade projette assez de clarté sur la rue pour marcher sans danger. Un arrêt dans le cimetière, à côté de l'église, donne le cadre idéal pour deux histoires à frissonner. On en redemande!

Ne rigolons pas des peurs nocturnes de nos ancêtres car nous, les hommes du XXI siècle, ne semblons pas avoir vaincu la peur du noir non plus. Pourquoi sinon changeons-nous nos belles nuits noires en "jours" ?



## C) PLUS DE LUMIÈRES DU TOUT SUR LES AUTOROUTES EN FLANDRE

La ministre de la mobilité, Hilde Crevits annonce qu'à partir de l'été 2011, la plupart des autoroutes en Flandre ne seront plus illuminées du tout, toutes les nuits et ceci permettra des économies de l'ordre de 2 millions d'euros par an... et elle ajoute que ce n'est pas plus dangereux ainsi !

Dans un article paru dans la revue *Touring explorer* [www.touring-e-explorer.be](http://www.touring-e-explorer.be), on peut lire que la mesure a suscité de nombreuses réactions. La litanie des opposants nous est bien connue : la perte de sécurité routière. « Sur les routes non éclairées, la visibilité est nettement inférieure la nuit » (sic). L'acuité visuelle, les couleurs et les contrastes s'estompent et les risques d'éblouissement augmentent. Pourtant, les couleurs et les contrastes sous des éclairages artificiels au sodium (le plus souvent sodium basse pression) ne sont pas les meilleurs du monde. L'amélioration de l'acuité visuelle risque de pousser les automobilistes - et c'est ce que l'on

observe le plus souvent - à rouler plus vite sur des routes dont l'éclairage est loin de rivaliser avec la lumière du jour. En effet, avec ses 20 à 30 lux, les éclairages nocturnes sont loin des 50.000 à 100.000 lux du Soleil.

La Belgique est le seul pays européen où les autoroutes sont éclairées la nuit et il n'est pas le plus sûr, loin de là, même si on ne tient compte que des accidents sur autoroutes. L'extinction des éclairages qui a été décidée en juillet 2007 pendant 5 heures toutes les nuits (mais qui a été revue depuis par le Ministre Lutgen) n'a pas montré une hausse des accidents, ce que les opposants à l'extinction faisaient valoir. Il est arrivé ce que nous disons depuis toujours : l'éclairage n'amène souvent qu'une amélioration marginale, voire nulle de la sécurité routière !

Les conducteurs adaptent leur conduite en fonction des conditions d'éclairage, diminuent donc

leur vitesse et sont plus prudents, ce qui a un impact évident en cas d'accident : à 100 km/heure, un choc ne sera pas le même qu'à 120 km/h, CQFD.

Les 2 millions d'euros pourront être consacrés à de vraies améliorations de la sécurité et de l'infrastructure routière, comme par exemple les marquages au sol qui sont assez pauvres en Belgique quand on compare avec nos voisins.

La conclusion de l'article va dans le même sens que ce que nous disons depuis longtemps : « Il est possible de circuler en sécurité sur ces routes sans éclairage public. »

Dans un article paru dans la *Gazet Van Antwerp*, on peut lire que 3.000 poteaux d'éclairage sont corrodés sur les autoroutes en Flandre. Comme dirait Raoul Lannoy, c'est la moment de ne pas les remplacer !



# DIFFUSION DE LA LUMIÈRE, FORMATION DES HALOS LUMINEUX ET CHOIX DE L'ÉCLAIRAGE

## 2<sup>ème</sup> partie : diffusion de Mie et diffusion de Rayleigh

Nous avons vu dans le dernier Obscuritas Noctis la première partie de ce dossier, c'est-à-dire la partie I Réflexion et diffusion de la lumière. Aujourd'hui, nous allons examiner le deuxième volet de ce dossier, à savoir les diffusions de Mie et de Rayleigh.

### I. Réflexion et diffusion de la lumière

1. préambule
  2. introduction
  3. quelques mots sur la lumière
  4. réflexion, réfraction et diffusion
  5. la réflexion diffuse et la réflexion spéculaire
  6. la rétrodiffusion
- Annexe : les unités de mesure de la lumière

### II. Diffusions de Mie et de Rayleigh

7. la diffusion de Mie
8. la diffusion de Rayleigh
9. l'absorption
10. le LIDAR

### III. Halos lumineux

11. la formation des halos lumineux
12. la réflexion de la lumière au sol

### IV. Choix des éclairages

13. l'optimisation des éclairages
14. les éclairages Full Cut Off
15. sources

## 7. LA DIFFUSION DE MIE

En physique optique ondulatoire, la théorie de Mie, aussi appelée théorie de Lorenz-Mie, est une théorie de la diffraction de la lumière par des particules sphériques.

On parle de diffusion de Mie lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produit par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Ce genre de diffusion affecte les plus grandes longueurs d'onde et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont plus abondantes.

La répartition spatiale de la lumière diffusée n'est plus isotrope et dépend fortement de la forme des diffuseurs (sphères, cylindres, plaquettes...) et de leur taille (particules de 1nm à 10 microns). Plus le diamètre d'un diffuseur sphérique

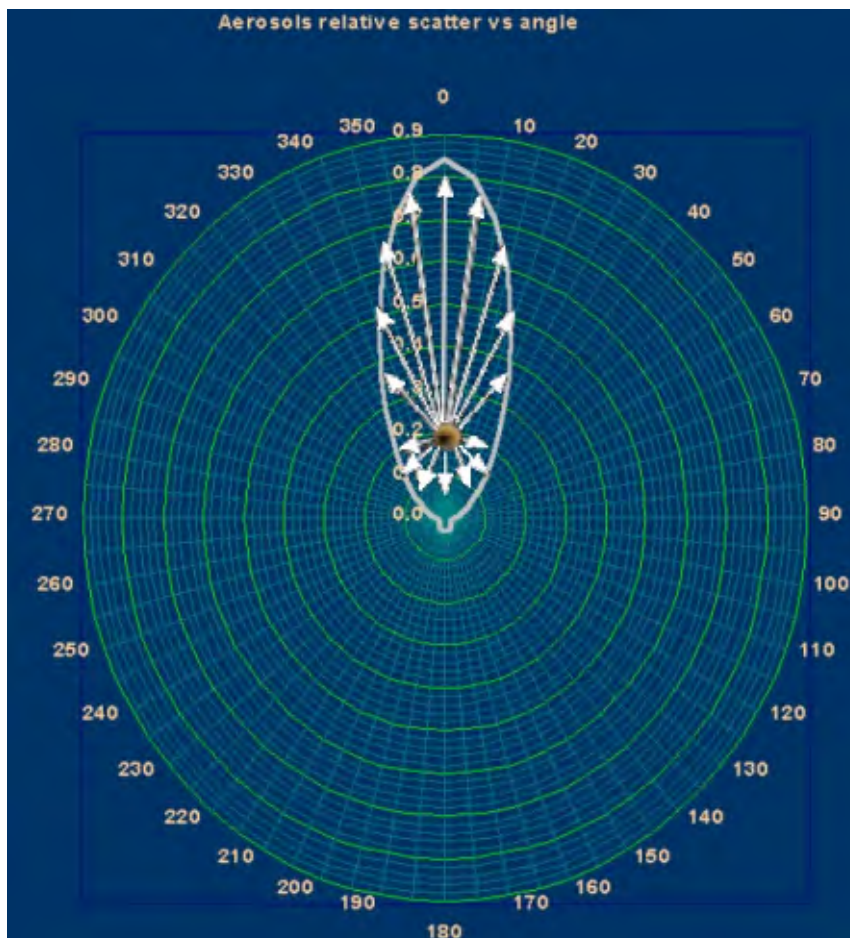


Figure 11 - Diffusion de Mie : la lumière vient du bas et est dispersée suivant les angles repris sur la grille, ce qui donne une courbe de probabilité de dispersion dans ces directions.

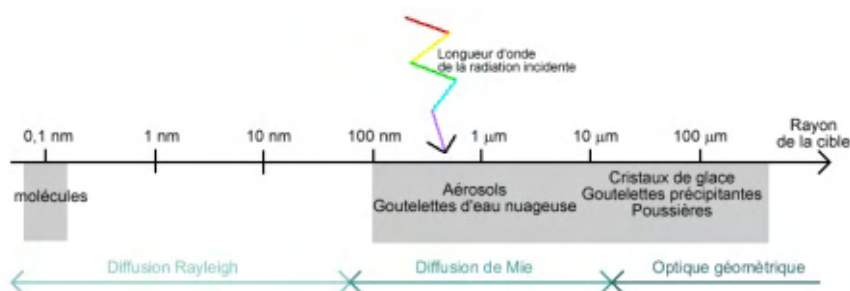


Figure 12 - Domaines du spectre pour la diffusion de Mie et la diffusion

augmente, plus la lumière est diffusée vers l'avant.

On voit sur le « patron de réémission » de la Figure 11 que la diffusion est dirigée vers l'avant. Il n'y a pratiquement pas de diffusion sur les côtés et la rétrodiffusion est négligeable. L'essentiel de la diffusion va vers l'avant.

La diffusion par des très petites particules, telles que des molécules, de dimensions inférieures au dixième de

la longueur d'onde de la lumière considérée, est un cas limite appelé diffusion de Rayleigh.

La diffusion de Mie explique la couleur blanche des nuages : les gouttelettes du nuage étant très larges par rapport à la lumière visible, la dispersion est celle de Mie, c'est-à-dire uniforme sur toutes les couleurs du spectre, anisotrope, et surtout dirigée vers l'avant. La lumière la subit une diffusion dès qu'elle se propage dans



Figure 13 - La diffusion de Mie explique la couleur blanche des nuages.

un milieu transparent encombré de particules. Si les particules sont suffisamment grosses, on a une diffusion de Mie, indépendante de la longueur d'onde donc de la couleur. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc (lumière bleue + verte + rouge = lumière blanche) d'où le blanc des nuages.

Pour de très grosses particules ou gouttelettes (aérosols), la diffusion reste achromatique et la couleur et la nature physico-chimique des particules interviennent aussi, ce qui donne les couleurs variées des brumes de la pollution atmosphérique, comme les couleurs des fumées, naturelles (volcans, incendies) industrielles.

## 8. LA DIFFUSION DE RAYLEIGH

La diffusion de Rayleigh se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde du rayonnement. Celles-ci peuvent être soit des particules de poussière ou des molécules d'azote ou d'oxygène. On parle de diffusion élastique, car cela se fait sans variation d'énergie, autrement dit l'onde conserve la même longueur d'onde.

La diffusion de Rayleigh disperse et dévie de façon plus importante les courtes longueurs d'onde que les grandes longueurs d'onde. Cette forme de diffusion est prédominante dans les couches supérieures de l'at-

mosphère. Ce phénomène explique pourquoi nous percevons un ciel bleu durant la journée. Comme la lumière du Soleil traverse l'atmosphère, les courtes longueurs d'onde (correspondant au bleu) du spectre visible sont dispersées et déviées de façon plus importante que les grandes longueurs d'onde. Par contre, au coucher et au lever du Soleil, le rayonnement doit parcourir une plus grande distance à travers l'atmosphère qu'au milieu de la journée. La diffusion des courtes longueurs d'onde est plus importante. Ce phénomène permet à une plus grande proportion de grandes longueurs d'onde (de couleur rouge) de pénétrer l'atmosphère.

Lorsque les particules ont une taille suffisamment grande devant la longueur d'onde incidente, il faut utiliser d'autres théories comme par exemple la théorie de Mie qui fournit une solution exacte à la diffusion par des particules sphériques de taille quelconque. La diffusion de Rayleigh est donc un cas limite de la diffusion de Mie. Néanmoins, elle diffère par plusieurs aspects perceptibles lors-

qu'on les compare pour des particules de tailles très différentes.

L'onde électromagnétique peut être décrite comme un champ électrique oscillant couplé à un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Ce champ électrique va déformer le nuage électronique des atomes, le barycentre (centre de gravité) des charges négatives oscille ainsi par rapport au noyau (charge positive). Le dipôle électrostatique ainsi créé rayonne, c'est ce rayonnement induit qui constitue la diffusion de Rayleigh.

La diffusion de Rayleigh est fortement dépendante de la longueur d'onde, mais disperse uniformément dans toutes les directions (tous les angles) avec une préférence pour la direction de propagation. Dans l'air, les molécules ont des dimensions de l'ordre de 0,0001 µm. La lumière visible a des longueurs d'onde de l'ordre de 0,5 µm (500 nm) et donc on est bien dans le domaine Rayleigh. Le bleu est environ 5 fois plus diffusé que le rouge (cfr Figure 17), ce qui nous donne le bleu du ciel. La diffusion de Rayleigh domine au-dessus de ± 9 km.

L'intensité lumineuse obtenue par la dispersion d'un rayonnement d'intensité  $I_0$  par des diffuseurs formés de particules beaucoup plus petites que la longueur d'onde se calcule, pour une particule simple, comme suit :

où  $\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière incidente,  $a$  est la polarisabilité

$$I = I_0 \frac{8\pi^2 a^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

où  $\theta$  est l'angle entre l'onde incidente et l'observateur et R la distance à la particule.

On voit ici la forte dépendance de la diffusion de Rayleigh à la longueur d'onde. Elle est inversement proportionnelle à la puissance 4 de la longueur d'onde ( $\lambda^{-4}$ ). Donc les faibles longueurs d'onde (dans le bleu) sont celles qui diffusent le plus. On le remarque aisément sur le gra-

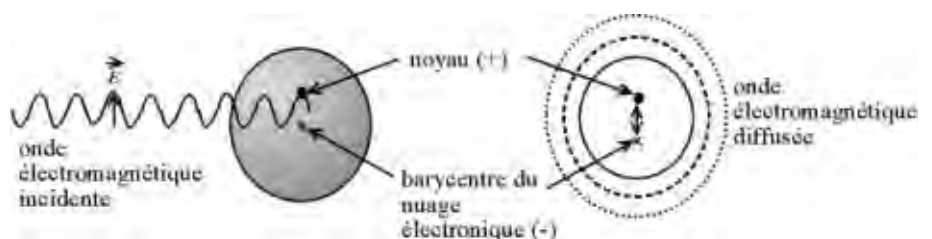


Figure 14 - L'onde électromagnétique peut être décrite comme un champ électrique oscillant couplé à un champ magnétique oscillant à la même fréquence.



phique de la Figure 16 où l'essentiel de la diffusion de Rayleigh a lieu dans le violet et le bleu, ce qui explique la couleur du ciel, tout au moins lorsqu'il ne contient rien d'autre (pollution urbaine, particules en suspension, gouttelettes d'eau ou cristaux de glace) que de l'oxygène et de l'azote. Le pourcentage de diffusion de Rayleigh augmente quand la longueur d'onde diminue, c'est-à-dire quand on se déplace du rouge au bleu.

La puissance diffusée par l'atmosphère est prélevée sur celle des rayons solaires. A midi, le soleil n'est pas loin de la verticale et ses rayons ne traversent qu'une trentaine de kilomètres d'atmosphère dense et l'affaiblissement des rayons est négligeable. Par contre au soleil couchant, la longueur traversée est beaucoup plus grande. Dans ce cas, l'absorption n'étant pas la même pour toutes les longueurs d'onde, les rayons solaires ont complètement épuisé leurs composantes violette et bleue, diffusées fortement par l'atmosphère et il ne reste qu'un peu de vert et beaucoup de jaune, orange et rouge, peu diffusés, d'où la couleur rouge-orangée du soleil couchant.

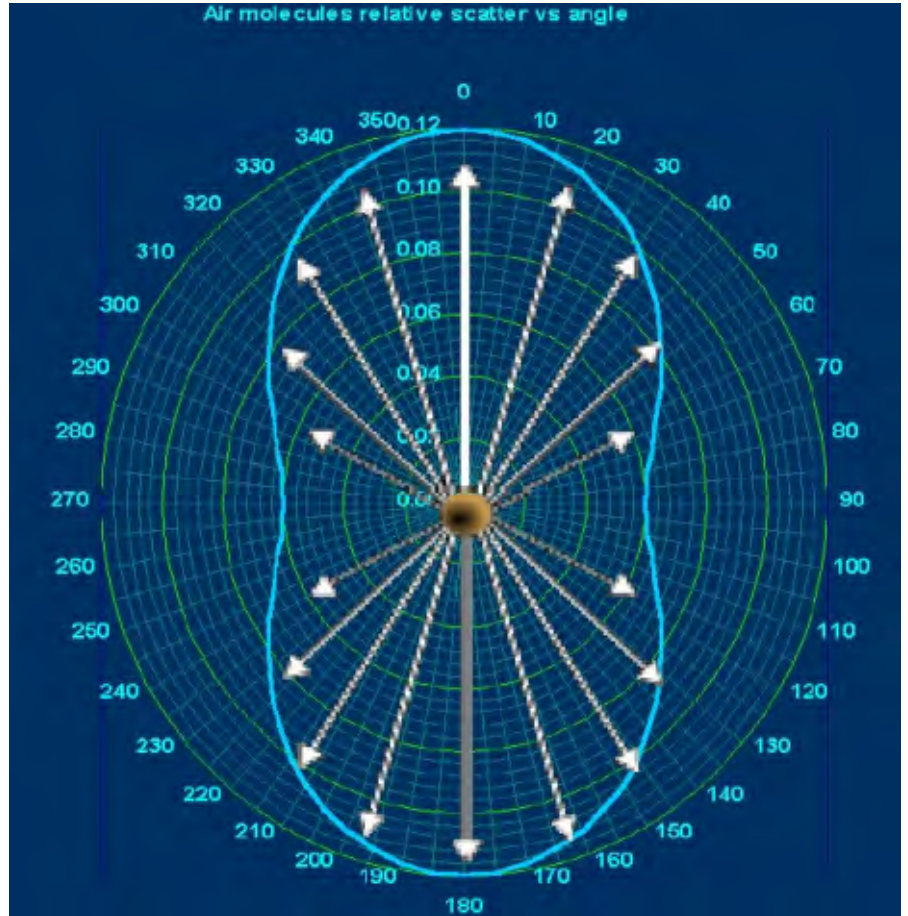


Figure 15 - Diffusion de Rayleigh : la lumière vient du bas et est dispersée suivant les angles repris sur la grille, ce qui donne une courbe de probabilité de dispersion dans ces directions.

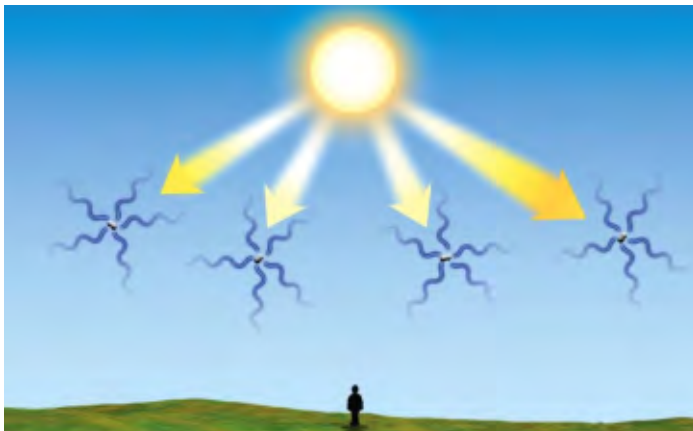


Figure 16 - La diffusion de Rayleigh a lieu préférentiellement dans les courtes longueurs d'onde, c'est-à-dire dans le bleu, ce qui explique la couleur bleue du ciel.

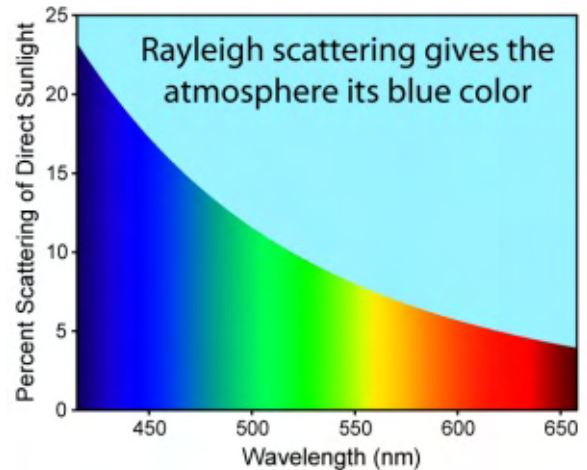


Figure 17 - La diffusion de Rayleigh augmente du rouge vers le bleu.

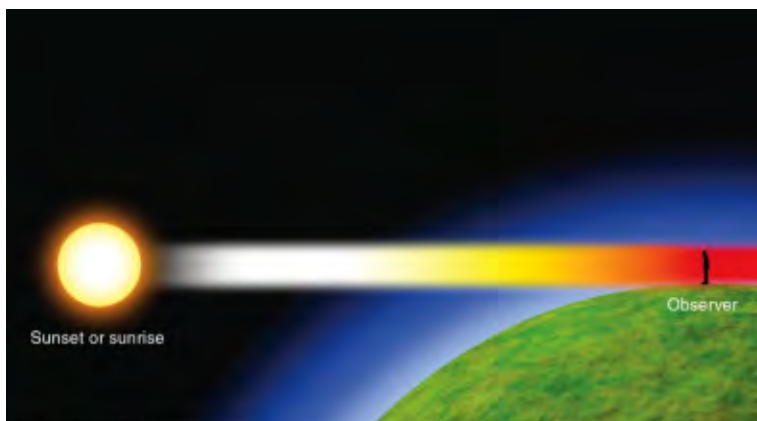


Figure 18 - Au coucher du Soleil, le ciel paraîtra rouge-orangé à l'observateur dû à la plus grande diffusion de la lumière.

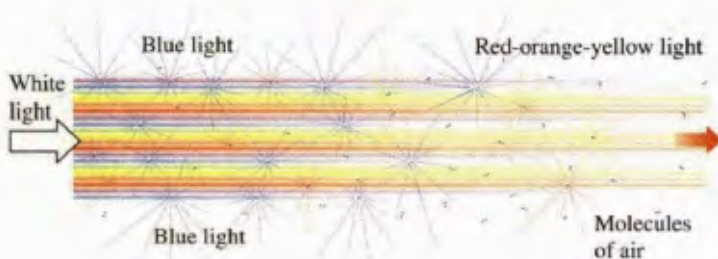


Figure 19 - Coucher de Soleil et diffusion des faibles longueurs d'onde.

LIDAR couvre en particulier le domaine du visible, et également les domaines ultraviolet (UV) et infrarouge (IR), d'autre part, le lidar utilise un faisceau laser, tandis que le radar utilise un faisceau électromagnétique classique, non polarisé.

Un LIDAR se compose d'un système laser chargé d'émettre l'onde lumineuse, d'un télescope qui récoltera l'onde rétrodiffusée (voir chapitre 6) par les particules rencontrées, et d'une chaîne de traitement qui quantifiera le signal reçu (cfr Figure 20). Le laser émet une onde lumineuse. Elle interagit avec les différents composants qu'elle rencontre. Une partie de cette onde est rétrodiffusée et collectée par le télescope. À partir de cette composante rétrodiffusée, on peut alors déduire des informations quant au diffuseur (sa concentration par exemple donnera une mesure de la pollution) et sa distance par rapport au système de mesure. Lors de la propagation de l'onde émise par le LIDAR, on peut envisager deux types de diffusion par les composants rencontrés :

- Une diffusion élastique : elle se produit sans échange d'énergie entre les photons incidents et la molécule rencontrée. Le photon est alors diffusé sans changement de fréquence. C'est le cas de la diffusion Rayleigh (lorsque la taille du diffuseur est largement inférieure à la longueur d'onde utilisée) ou de la diffusion de Mie (lorsque la taille du diffuseur est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde utilisée).
- Une diffusion inélastique, beaucoup plus faible, appelée aussi diffusion Raman. Il s'agit ici du phénomène physique par lequel un milieu peut modifier légèrement la

## 9. L'ABSORPTION

Un autre phénomène entre en jeu lorsque le rayonnement électromagnétique interagit avec l'atmosphère : c'est l'absorption. L'absorption par les molécules gazeuses ou les particules d'aérosols correspond à la transformation d'une partie des photons en chaleur. Les différents types d'aérosols contribuent de façon variable à l'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère : cette contribution est sensiblement plus élevée pour les aérosols d'origine anthropique, tels que les suies de carbone, que pour la plupart des aérosols d'origine naturelle (liquides, poussières). Elle est dans l'ensemble plus faible que l'absorption gazeuse, c'est-à-dire par les diverses molécules présentes dans l'atmosphère (Oxygène, Ozone, vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>).

L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Sans cette couche de protection dans l'atmosphère, notre peau brûlerait lorsqu'elle est exposée au Soleil. Le CO<sub>2</sub> est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère.

La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde et des hyperfréquences de petites longueurs d'onde qui entrent dans l'atmosphère (entre 22µm et 1 m). La

présence d'eau dans la partie inférieure de l'atmosphère varie grandement d'un endroit à l'autre et d'un moment à l'autre de l'année. Par exemple, une masse d'air au-dessus d'un désert contient très peu de vapeur d'eau pouvant absorber de l'énergie, tandis qu'une masse d'air au-dessus des tropiques contient une forte concentration de vapeur d'eau.

## 10. LE LIDAR

La télédétection par laser ou LIDAR (« Light Detection and Ranging ») désigne une technologie de télédétection ou de mesure optique basée sur l'analyse des propriétés d'une lumière laser renvoyée vers son émetteur. Son fonctionnement est le même que celui du radar, la différence étant le domaine spectral dans lequel il travaille et le type de faisceau utilisé : alors que le radar fonctionne dans le domaine des ondes radio, le

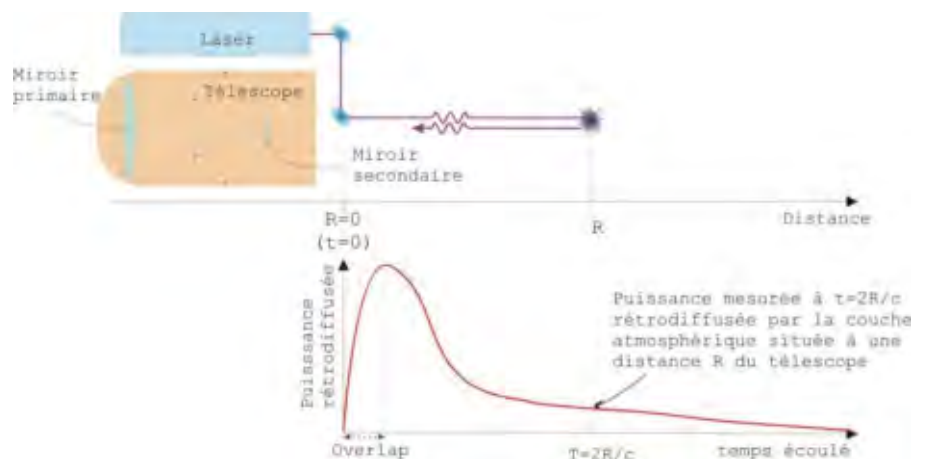


Figure 20 - Principe de la mesure LIDAR.

fréquence de la lumière qui y circule. Ce décalage en fréquence correspond à un échange d'énergie entre le rayon lumineux et le milieu. Ainsi, la lumière diffusée n'a pas la même longueur d'onde que la lumière incidente. On distingue deux cas :

1. décalage Stokes (cfr Figure 22) : la lumière est décalée vers le rouge (plus grande longueur d'onde, plus petite énergie)

2. décalage anti-Stokes : la lumière est décalée vers le bleu (plus courte longueur d'onde, plus grande énergie)

Ce décalage de fréquence est caractéristique de la molécule rencontrée et permet donc de la discriminer.

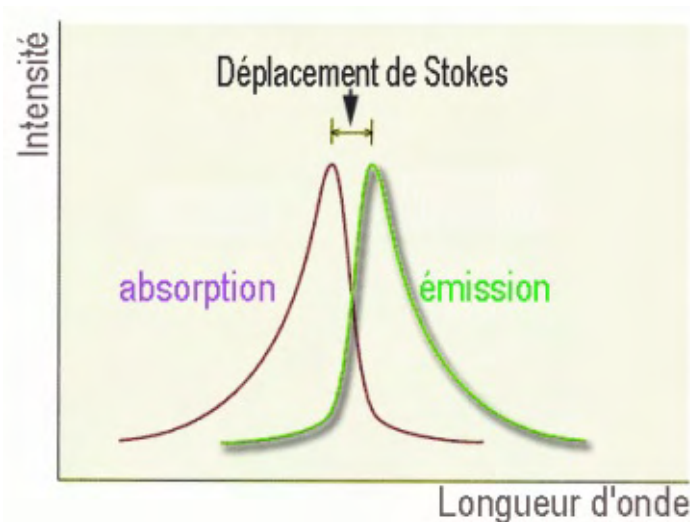


Figure 21 - Décalage « Stokes : la lumière absorbée est réémise à une plus grande longueur d'onde, donc vers le rouge.

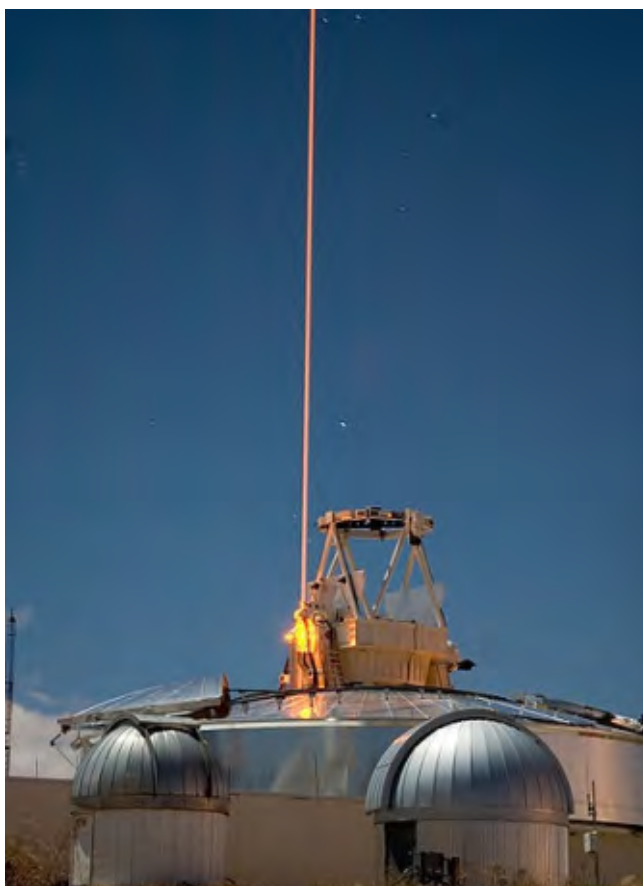


Figure 22 - LIDAR expérimental utilisé pour exciter les atomes de sodium dans la haute atmosphère.

## DOCUMENTATION ET INFORMATION SUR LA POLLUTION LUMINEUSE

Une documentation est disponible sur notre site web [www.ascen.be](http://www.ascen.be). Elle vous informera sur différents aspects de la problématique « pollution lumineuse » : impacts sur l'astronomie, sur l'environnement, recommandations pour un meilleur éclairage et économies à réaliser, éclairages publics et sécurité routière, éclairages publics et criminalité...

Vous pouvez aussi nous rejoindre sur notre forum internet « pollution-lumineuse » que vous trouverez à l'adresse suivante : <http://groups.google.com/group/pollution-lumineuse>.

Retrouvez-nous sur

[HTTP://GROUPS.GOOGLE.COM/GROUP/POLLUTION-LUMINEUSE](http://groups.google.com/group/pollution-lumineuse)



---

« Éclairons moins pour  
éclairer mieux »

---

Pour vous informer :

***WWW.ASCEN.BE***