

## Table des matières

Table des matières .....	2
Figures et tables .....	3
Résumé .....	4
Introduction .....	5
Objectifs du travail .....	6
Hypothèses de travail.....	6
Questions de recherche .....	6
Revue de la littérature.....	7
Comparaison entre DMSP/OLS et VIIRS/DNB .....	10
Relation entre les émissions lumineuses et les variables socio-économiques .....	11
Méthodologie .....	13
Téléchargement des images composites VIIRS 2014 .....	14
Résultats.....	15
Composition colorée de DMSP annuels des années 1992, 2002 et 2012.....	15
Cartes des émissions lumineuses en Amérique du nord- DMSP .....	18
Cartes des émissions lumineuses en Amérique latine - DMSP.....	21
Cartes des émissions lumineuses en Europe - DMSP .....	24
Relation entre les émissions lumineuses et les variables socio-économiques .....	26
Résultats VIIRS 2014 .....	28
Discussion .....	32
Conclusion .....	39
Bibliographie.....	40
Photos.....	42
ANNEXE 1. Photos illustrant l'éclairage nocturne.....	44
ANNEXE 2. Méthodologie.....	46
ANNEXE 3. Tableau résultats des statistiques zonales 1992.....	52
ANNEXE 4. Tableau résultats des statistiques zonales 2002.....	54
ANNEXE 5. Tableau résultats des statistiques zonales 2012.....	57
ANNEXE 6. Tableau résultats des statistiques zonales 2014.....	59
ANNEXE 7. Surfaces des pays en km <sup>2</sup> 1992, 2002 et 2012 .....	61
ANNEXE 8. Question et réponse e-Mail NOAA .....	63
ANNEXE 9. Tableau de la population par pays en 1992, 2002 et 2012 .....	64
ANNEXE 10. Tableau de PIB par pays en US dollars en 1992, 2002 et 2012 .....	66

## Figures et tables

Figure 1. Série temporel de données DMSP disponibles pour le téléchargement .....	8
Figure 2. Procédure de téléchargements composites mensuels VIIRS .....	14
Figure 3. Composition colorée pollution lumineuse en 1992, 2002 et 2012 .....	15
Figure 4. Vue rapprochée composition colorée 1992, 2002 et 2012 DMSP .....	16
Figure 5. Extraction des Gas Flares de la couche des divisions administratives .....	17
Figure 6. Frontières des pays sans Gas Flares .....	17
Figure 7. Carte des émissions lumineuses en Amérique du Nord en 1992 - DMSP.....	18
Figure 8. Carte des émissions lumineuses en Amérique du Nord en 2002 - DMSP .....	18
Figure 9. Carte des émissions lumineuses en Amérique du Nord en 2012 - DMSP.....	19
Figure 10. Cartes des émissions lumineuses au Canada et Etats-Unis en 2012 .....	19
Figure 11. Printscreen relief et carte des émissions lumineuses 2012 DMSP dans l'Amérique du Nord .Source : Google Earth.....	20
Figure 12. Evolution des émissions lumineuses en Amérique du Nord entre 1992 et 2012 ....	21
Figure 13. Carte des émissions lumineuses en Amérique Latine en 1992 - DMSP.....	22
Figure 14. Carte des émissions lumineuses en Amérique Latine en 2002 - DMSP.....	22
Figure 15. Carte des émissions lumineuses en Amérique Latine en 2012 - DMSP.....	23
Figure 16. Evolution des émissions lumineuses par pays en Amérique Latine entre 1992 et 2012 .....	23
Figure 17. Carte des émissions lumineuses 1992 Europe - DMSP.....	24
Figure 18. Carte des émissions lumineuses 2002 en Europe - DMSP .....	24
Figure 19. Carte des émissions lumineuses 2012 en Europe - DMSP .....	25
Figure 20. Evolution des émissions lumineuses par pays en Europe entre 1992 et 2012 .....	26
Figure 21. PIB 2012 en milliards de dollars actuels US\$.....	26
Figure 22. Population total par pays en 2012 .....	27
Figure 23. Régression linéaire entre le PIB et la quantité des émissions lumineuses en Europe en 2012.....	27
Figure 24. Régression linéaire entre la population et la quantité des émissions lumineuses en Europe en 2012 .....	28
Figure 25. Carte des émissions lumineuses 2014 au monde - VIIRS .....	28
Figure 26. Carte des émissions lumineuses 2014 en Amérique du sud - VIIRS .....	29
Figure 27. Carte des émissions lumineuses en Europe l'année 2014 - VIIRS.....	29
Figure 28. Carte des émissions lumineuses 2014 en Amérique du nord VIIRS.....	30
Figure 29. Moyenne de lumières par pays en 2014.....	30
Figure 30. Emissions lumineuses en Amérique du nord selon les données VIIRS 2014.....	31
Figure 31. Emissions lumineuses en Amérique Latine selon les données VIIRS 2014.....	31
Figure 32. Emissions lumineuses en Europe selon les données VIIRS 2014.....	32
Figure 33. Carte des émissions lumineuses en Grand Bretagne pendant l'année 2012 - DMSP .....	34
Figure 34. Carte des émissions lumineuses à Liechtenstein en 2012.....	34
Figure 35. Emissions lumineuses à l'île de Puerto Rico l'année 2012 selon données DMSP .....	35
Figure 36. Printscreen Côte Est d'Amérique du Nord avec DMSP .....	37
Figure 37. Printscreen des lumières Côte Est d'Amérique du Nord avec VIIRS .....	37
Table 1. Eléments comparatifs entre les systèmes satellites DMSP et VIIRS.....	10
Table 2. Coefficients du model de régression de second ordre .....	12
Table 3. Statistiques Zonales Amérique du Nord .....	21

## Résumé

La pollution lumineuse est un phénomène de plus en plus répandu dans notre société. L'éclairage des centres urbains, bien que nécessaire pour le développement des activités quotidiennes et pour la sécurité, est parfois sur utilisé ou gaspillé. La communauté scientifique s'intéresse à l'étude de ce type de pollution car elle représente une influence négative tant pour l'environnement comme pour les êtres vivants. (Chalkias, 2006).

Ce travail étudie comment les émissions lumineuses nocturnes qui peuvent donner lieu à la "pollution lumineuse" ont évolué dans le monde. Les zones géographiques cibles sont l'Ouest de l'Europe et le Continent Américain, lesquelles présentent des degrés reconnus comment très élevés de luminosité artificielle par la communauté scientifique.

Les images utilisées pour procéder aux analyses ce sont les composites annuelles DMSP/OLS dès 1992 à 2012 et les composites mensuels VIIRS/DNB de 2014.

Le traitement des images a été réalisé en utilisant les Systèmes d'Information Géographique GRASS et ArcGIS. Certaines opérations et calculs ont été effectués en Excel, notamment les analyses statistiques qui incluent les variables de surfaces des pays en km<sup>2</sup>, le PIB par pays, en millions de dollars américains constants de 2005, et l'augmentation de la population. Ces données ont été obtenues dans la base de données de la Banque Mondiale. Toutes les procédures seront décrites dans la méthodologie.

Les données globales (World boundaries) ont été utilisées pour extraire celles correspondant aux régions d'étude (Country boundaries). Dans le Continent américain, les Etats-Unis est le pays avec la plus grande proportion d'luminosité nocturne par rapport à la surface. Les émissions lumineuses au Canada se concentrent d'avantage dans l'Est du pays. En Amérique latine, les pays du centre comme El Salvador, Costa Rica, Cuba et Puerto Rico ont des niveaux élevés des émissions lumineuses par rapport à leur surface relativement petite, en comparaison avec des autres pays plus grands de la même région.

Ce travail constate qu'en Europe et en Amérique du Nord se trouvent les pays les plus éclairés du monde et que les pays qui possèdent un PIB plus élevé et plus de population, ont en général un taux d'illumination artificielle nocturne plus conséquente.

## Introduction

Ce travail emploie une terminologie en accord avec celle utilisée par les experts dans le domaine. Cependant, les expressions "émissions lumineuses", "luminosité artificielle" et/ou "éclairage artificielle" seront privilégiés, compte tenu de controverses sur le terme "pollution lumineuse", et aux spécificités cette pollution implique. (Challéat, S., 2009).

Les chercheurs affirment que l'exposition prolongé et répétitive à l'éclairage artificielle est à l'origine des maladies pour l'être humain et des divers effets négatifs sur la flore et la faune. (Lyytimäki, J., 2013). Il est judicieux de s'intéresser à ce type de pollution pour tenter de comprendre son origine, ses conséquences et son amplitude au niveau global.

Dans la plupart de villes du monde, l'éclairage artificiel pendant la nuit est d'une telle magnitude qu'il n'est plus possible de voir l'illumination naturelle du ciel et de profiter de la vue des étoiles sur la voie lactée (Challéat, S., 2010). Des études approfondies sur ce phénomène sont présentées dans des textes scientifiques. Ce mémoire fait référence à plusieurs documents de recherche pour évaluer l'évolution de la pollution lumineuse dans le monde, mais ce travail se focalise sur des régions spécifiques comme nous l'avons mentionné précédemment.

Selon les chercheurs, une grande partie de la population mondiale est soumise à la pollution lumineuse et par conséquent aux effets secondaires que celle-ci induire. Cinzano, Falchi et Elvidge ont construit le premier atlas de la luminosité artificielle nocturne, qui a permis de démontrer concrètement que plus de 60% de la population mondiale vit sous un ciel pollué par la lumière artificielle, dont 99% de la population des Etats-Unis et d'Europe. (Falchi, F. Cinzano, P., Elvidge, C., 2011), (Khorram, A., 2014).

Ce mémoire fait une analyse à l'aide des outils de Systèmes d'Information Géographiques (SIG), des composites annuels et mensuels de lumières nocturnes fournis par la NASA-NOAA à travers les systèmes satellites *Defense Meteorological Satellite Program Operational Line Scanner* (DMSP-OLS), et le *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS). Cette analyse permettra par la suite d'établir une relation avérée entre les émissions lumineuses et certaines variables socio-économiques comme le PIB et l'augmentation de la population mondiale.

L'analyse des images composites DMSP inclue la calibration des données, pour permettre la comparaison des données annuelles. Il existe des différences fondamentales entre les systèmes DMSP et VIIRS donc chaque système produit des images techniquement très divergentes, notamment, la résolution des images et la qualité de données. (Wu, J., 2013).

Dans ce travail, les données prises en compte sont : le PIB par pays et par année en millions de dollars constants et l'augmentation de la population dans les années concernées par l'étude, c'est-à-dire 1992, 2002 et 2012. Egalement, une brève analyse des images VIIRS 2014 a été faite, sachant que il n'est pas possible de comparer directement les composites provenant des deux systèmes satellites. En occurrence, des études plus approfondies pourraient permettre de comparer les deux systèmes, notamment l'étude sur la consommation électrique et le PIB en Chine réalisé en 2014 par Shi et ses collaborateurs (Shi, K., Yu, B., & Wu, J., 2014). Avec cette approche, il est possible d'étudier et de comparer les images au niveau local et régional. Une limite de cette approche est la disponibilité des données. (Wu, J., 2013).

Selon cette mémoire de géomatique, la luminosité artificielle présente dans le monde, et plus particulièrement dans les régions étudiées, est d'une ampleur de plus en plus importante avec le temps. Effectivement, selon les résultats obtenus, les moyennes des lumières nocturnes pour l'Europe ont augmenté d'environ 3%, et d'environ 2% pour l'Amérique latine et du Nord entre 1992 et 2012.

### **Objectifs du travail**

Ce travail a pour but principal d'étudier l'évolution des émissions lumineuses dans différentes régions du globe, notamment l'Europe et le Continent américain.

Pour ce faire, des variables comme la surface des pays, l'évolution de la population et de PIB des pays concernés ont été étudiées.

### **Hypothèses de travail**

L'augmentation globale de la population, a générée une augmentation dans les besoins essentiels et de la consommation de ressources nécessaires à satisfaire ces besoins. Les besoins en éclairage obéissent à des fins domestiques, sécuritaires, commerciales, industriels, récréatifs et autres. Aujourd'hui la plupart de la population bénéficie des moyens et technologies pour s'éclairer, à partir des énergies fossiles et/ou des énergies renouvelables. Le sur-éclairage des surfaces extérieures a donné lieu au phénomène connu comme « pollution lumineuse », et celle-ci devient d'une magnitude de plus en plus importante avec le temps.

### **Questions de recherche**

- Est-ce qu'il y a eu une évolution de la pollution lumineuse en Europe et en Amérique entre les années 90 et aujourd'hui ?
- Est-il possible de quantifier et de qualifier cette pollution par régions et par pays ? Comment ?
- Quelle est la proportion de l'éclairage des pays et régions par rapport à leur surface ?
- Existe-t-il une vraie corrélation entre des variables économiques comme le PIB, l'évolution de la population et la pollution lumineuse ?

## Revue de la littérature

La télédétection permet d'analyser les images aériennes de la terre et de comprendre les phénomènes naturels et les activités humaines comme, les catastrophes naturelles, le développement socio-économique et/ou la pollution. Depuis plusieurs décennies les données de luminosité nocturne, grâce auxquelles la « pollution lumineuse » sur la planète peut être clairement identifiée et quantifiée, sont accessibles. « La recherche écologique sur les modifications de l'environnement nocturne par la lumière artificielle a fait son apparition bien avant les années 1990, mais c'est durant la décennie 1990-2000 qu'elle a pris son véritable essor » (Challéat, S. 2011). Les satellites de la *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) et *Operational Linescan System* (OLS) capturent les images lumineuses émises par la terre depuis les années 1970. (Small C., and Elvidge, C., 2011).

Comme mentionné dans l'article *Assessment of light pollution in Bojnord city using remote sensing data*. (Khorram, A., Yusefi, M., & Fardad, M. 2014). « Nous pouvons utiliser les images satellites pour détecter la pollution lumineuse à grande échelle dans les zones urbaines. Aujourd'hui, la télédétection d'images se distingue comme les dernières informations sur la terre dont les systèmes d'information géographiques (SIG) jouent un rôle important dans la liaison et l'analyse de telles données spatiales comme la planification de l'environnement et la gestion des ressources ». (Khorram, A., Yusefi, M., & Fardad, M. 2014).

Les images satellites nocturnes sont mises à disposition par le «NOOA - National Geophysical Data Center » - Earth Group Observation<sup>1</sup>. Le NGDC se spécialise dans les observations nocturnes des lumières et des sources de combustion dans le monde. Deux systèmes satellites captent les données, Le *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) et *Operational Linescan System* (OLS) capturent les images lumineuses émises par la terre depuis les années 1970. (Small C., and Elvidge, 2011). Les archives contenant les séries temporelles de composites annuels sont établis du 1992 à 2013<sup>2</sup> et le Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS-DNB) Day/Night Band qui produit de composites mensuels depuis 2013 jusqu'à présent.

Les images d'éclairage artificiel nocturne permettent aussi d'établir la corrélation avec les variables socio-économiques au niveau local, régional et global. Parmi ces variables se trouvent les zones urbanisées, le PIB, la consommation d'énergie, les rejets d'eaux usées, l'augmentation de la population. (Mellander, C., 2013), (Wu, J., 2013).

Selon le *National Center for Environmental Information*, le DMSP est un programme du Département de la Défense Américaine qui conçoit, lance et maintient les satellites de surveillance de la météorologie, océanographie, et les environnements physiques solaire-terrestres. Actuellement, pour obtenir les images composites finales, le NGDC reçoit des données décryptées, les inventorie, copie et enregistre ; ces données (environ 8,5 giga bytes par jour) sont ensuite traités par un software développé par la NGDC et des sous-traitants externes.

Les images nocturnes DMSP/OLS permettent également de visualiser les sources terrestres telles que les incendies, les lumières des villes, torchères (Gas Flares), et les sources

---

<sup>1</sup> <http://ngdc.noaa.gov/eog/>

<sup>2</sup> [https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/dmsp\\_banda\\_aceh.html](https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/dmsp_banda_aceh.html)

atmosphériques comme les aurores boréales. Ces images sont utilisées pour suivre la distribution globale de nuages et leurs températures deux fois par jour.

Les images sont balayées dans un périmètre de 3000 km avec une basse résolution globale (2,7 km) et une haute résolution régionale (0,55 km). Les pixels visibles se trouvent dans des valeurs relatives (Digital Numbers) entre 0 et 63. Des niveaux de gains instrumentaux sont ajustés afin de maintenir de valeurs de référence constante dans différentes conditions d'éclairage solaire et lunaire.

Les composites annuels DMSP fournis par NOAA vont depuis 1992 à 2103. Toutefois, il peut y avoir deux images composites par année réalisées par des satellites différents. Les années suivantes sont concernés 1994, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 et 2007. Dans ce cas, il est nécessaire de faire la moyenne de deux pour obtenir une seule image par année. Voir figure 1. F10, F12, F14, F15, F16, F18 représentent le nom du satellite, suivi de l'année donc l'image a été créée.

Average Visible, Stable Lights, & Cloud Free Coverages						
Year\Sat.	F10	F12	F14	F15	F16	F18
1992	<a href="#">F101992</a>	-----	-----	-----	-----	-----
1993	<a href="#">F101993</a>	-----	-----	-----	-----	-----
1994	<a href="#">F101994</a>	<a href="#">F121994</a>	-----	-----	-----	-----
1995	-----	<a href="#">F121995</a>	-----	-----	-----	-----
1996	-----	<a href="#">F121996</a>	-----	-----	-----	-----
1997	-----	<a href="#">F121997</a>	<a href="#">F141997</a>	-----	-----	-----
1998	-----	<a href="#">F121998</a>	<a href="#">F141998</a>	-----	-----	-----
1999	-----	<a href="#">F121999</a>	<a href="#">F141999</a>	-----	-----	-----
2000	-----	-----	<a href="#">F142000</a>	<a href="#">F152000</a>	-----	-----
2001	-----	-----	<a href="#">F142001</a>	<a href="#">F152001</a>	-----	-----
2002	-----	-----	<a href="#">F142002</a>	<a href="#">F152002</a>	-----	-----
2003	-----	-----	<a href="#">F142003</a>	<a href="#">F152003</a>	-----	-----
2004	-----	-----	-----	<a href="#">F152004</a>	<a href="#">F162004</a>	-----
2005	-----	-----	-----	<a href="#">F152005</a>	<a href="#">F162005</a>	-----
2006	-----	-----	-----	<a href="#">F152006</a>	<a href="#">F162006</a>	-----
2007	-----	-----	-----	<a href="#">F152007</a>	<a href="#">F162007</a>	-----
2008	-----	-----	-----	-----	<a href="#">F162008</a>	-----
2009	-----	-----	-----	-----	<a href="#">F162009</a>	-----
2010	-----	-----	-----	-----	-----	<a href="#">F182010</a>
2011	-----	-----	-----	-----	-----	<a href="#">F182011</a>
2012	-----	-----	-----	-----	-----	<a href="#">F182012</a>
2013	-----	-----	-----	-----	-----	<a href="#">F182013</a>

F15 2003 Nighttime Lights Composite

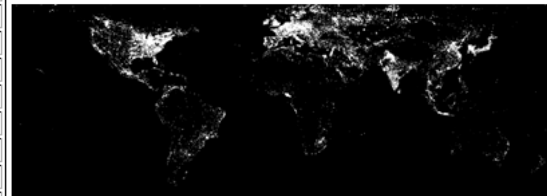


Figure 1. Série temporel de données DMSP disponibles pour le téléchargement

Elvidge explique que le vieillissement de satellites donne parfois de failles dans la production des données c'est pourquoi il est nécessaire de remplacer par un autre pour assurer la continuité. (Elvidge, C., 2009).

Les images plus récentes sont produites par le système VIIRS en format Geotiff. Elles sont enregistrées dans 6 titres, chaque titre contient deux images, la première est la moyenne des valeurs DNB, et la seconde représente le nombre des observations sans nuages utilisés pour faire la moyenne. Le résultat ce sont des composites mensuels dont les valeurs de luminance sont en nano Watts/cm<sup>2</sup>/sr, et les Digital Numbers se trouvent entre 0 et 255.

Khorram A et al. (2014), met en avant le fait que la pollution lumineuse augmente de plus en plus, proportionnellement avec la croissance de la population mondiale, la globalisation et l'urbanisation. Cette pollution est l'une de plus importants types de dégradation environnementale (Falchi, F., et al. 2011). Selon l' *International Dark-Sky Association*<sup>3</sup>, la pollution lumineuse est toute incidence défavorable de la lumière artificielle, y compris la lumière intrusive, l'éblouissement, le sur-éclairage, la visibilité réduite de la nuit, et le gaspillage d'énergie. « En 2001, la part de la terre sous un ciel artificiellement éclairé a dépassé le 10% dans 66 pays, et actuellement l'éclairage artificiel est largement utilisé et se propage à un taux de 6% par an dans l'univers». (Falchi, F., et al. 2011). Selon Wu, B., & Wong, H. (2012), la pollution lumineuse inclut deux paramètres en occurrence la brillance du ciel pendant la nuit et les niveaux d'éclairage des rues.

La principale source de cette pollution est l'éclairage des rues, mais il y a également la contribution des éclairages de bâtiments résidentiels et industriels, les centres commerciaux, l'architecture, la publicité, les aéroports, l'éclairage de sécurité, les centres de récréation et les véhicules. Selon l' *Agence Internationale de l'Energie*, l'éclairage de rues et routes dans les zones urbaines représente environ 114 TWh dans les pays de l'OCDE, et cela est fortement influencé par la qualité des luminaires utilisés. (Waide, P., & Tanishima, S., 2006). L'éclairage du ciel pendant la nuit est donc, en parti responsable du gaspillage d'énergie et d'argent. Selon l' *International Dark-Sky Association*, aux Etats-Unis, les dépenses en l'énergie pour l'éclairage des rues et parkings est de trois milliards de dollars par année.

Quand l'éclairage nocturne est plus fort que la lumière naturelle, au point d'empêcher la vue du ciel, cela est considéré comme pollution lumineuse. Cette pollution est devenue un problème de plus en plus discuté et il suscite l'intérêt des chercheurs et décideurs, qui ont développé des règlements pour limiter la perte inutile de lumière dans le ciel et dans l'environnement. (Falchi, F., et al., 2011). Les photos illustrées en annexe 1 montrent un exemple de villes et bâtiments éclairés pendant la nuit.

Selon les estimations, environ 50% de la population mondiale vit dans les villes. (Véron, J., 2007). « L'impact de la pollution lumineuse sur le ciel nocturne a été décrit en profondeur par Cinzano, Falchi et Elvidge dans le premier Atlas de la luminosité artificielle du ciel nocturne. Il a montré que plus de 60% de la population mondiale vit sous la lumière du ciel pollué, dont 99% de la population des Etats-Unis et d'Europe ; et près d'un cinquième du terrain du monde est sous un ciel pollué par la lumière». (Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C., 2001)

L'article Eclairer la ville autrement explique que « l'acceptation de la terminologie « pollution lumineuse » est aujourd'hui quasiment unanime dans la communauté scientifique. Les astronomes ont ainsi été rejoint, dans leur dénonciation de l'utilisation à outrance et souvent anarchique de l'éclairage artificiel, par des écologues, des chrono-biologistes et aujourd'hui certains médecins spécialisés dans les rythmes du sommeil chez l'homme. Mais cette terminologie reste fortement discutée – parfois même fortement discréditée – au sein de la communauté des concepteurs lumière et éclairagistes. L'Association Française de l'Eclairage (AFE) préfère ainsi parler des nuisances lumineuses ou des nuisances dues à la lumière » (Challéat, S., 2009).

La pollution lumineuse a des effets négatifs sur l'écologie, les animaux et les humains. Challéat (2009) explique que: « Dans l'ensemble, ces effets dérivent de désorientations dues à

---

<sup>3</sup> <http://darksky.org/light-pollution/>. Consulté le 12 janvier 2016



un environnement altéré par la lumière et d'attractions, fixations ou répulsions dans lesquelles les sources lumineuses elles-mêmes sont directement en cause. Ainsi, en aval, ce sont la prédation, la reproduction, la migration et la communication au sein de nombreuses espèces animales qui s'en trouvent considérablement dérégées » (Challéat, S., 2009).

En ce qui concerne l'influence sur l'être humain, des études affirment que la pollution lumineuse est à l'origine des altérations dans les niveaux de production et la sécrétion de mélatonine qui peuvent causer des risques de cancer. « Cette hormone est essentielle pour la régulation du rythme circadien et le sommeil. La variation de cette substance pendant la nuit peut être l'origine de certains types de tumeurs » (Khorram, A., Yusefi, M., & Fardad, M., 2014).

Il est impératif de trouver des solutions pour réduire la pollution lumineuse dans le monde afin d'atténuer des effets indésirables. Une des solutions proposées unanimement est l'amélioration de la qualité des agents lumineux, et l'éclairage intelligent<sup>4</sup> (réduire l'intensité, ajuster l'orientation, contrôler la période, limiter la lumière bleue, entre autres), comme proposé par l'*International Dark-Sky Association*. Tout cela appuyé par une réglementation appropriée et un cadre législatif bien défini.

### Comparaison entre DMSP/OLS et VIIRS/DNB5

Les deux systèmes permettent d'avoir des images libres de nuages dans lesquelles il est possible d'apprécier l'influence de l'éclairage nocturne sur la terre, mais le VIIRS, étant un système plus récent, possède des caractéristiques plus performantes. (Elvidge, C., 2013). La table 1 montre une liste des éléments comparatifs entre les deux systèmes satellites et leurs principales caractéristiques.

Table 1. Eléments comparatifs entre les systèmes satellites DMSP et VIIRS

DMSP	VIIRS
Plus ancien, opérationnel depuis 1972	Plus récente, opérationnel depuis 2011
Créé par US Air Force	Créé par NASA-NOOA
Champ de vision 3000 km	Champ de vision de 3000 km
2 bandes spectrales VIS et TIR (Visible et thermal infrarouge)	22 bandes spectrales
Résolution de 30 arc-secondes, c'est-à-dire que chaque pixel a une superficie d'environ 0.86km <sup>2</sup> de l'Equateur	Résolution 15 arc-secondes
Résolution spatial nominale 5 km	Résolution spatial nominale 742m
6 bit (vis)	14 bit DNB
Pas de calibration à bord	Système de calibration à bord
Saturation de brillance des lumières Radiance 10 <sup>-1</sup> à 10 <sup>-8</sup> W·cm <sup>-2</sup> ·sr <sup>-1</sup> ·um <sup>-1</sup>	No saturation des images Radiance 0.02 à 3x10 <sup>-9</sup> W·cm <sup>-2</sup> ·sr <sup>-1</sup> ·um <sup>-1</sup>
Les lumières de combustion peuvent être détectés (GAS FLARES)	Contient bandes multi spectrales additionnels pour détecter et distinguer les lumières provenant des sources de combustion et l'épaisseur de nuages

<sup>4</sup> <http://www.urban-hub.com/fr/ideas/un-guide-pour-leclairage-intelligent-des-villes/>

<sup>5</sup> [https://apan.net/meetings/Fukuoka2015/Sessions/1/VIIRSworkshop1503\\_Y\\_Nakayama.pdf](https://apan.net/meetings/Fukuoka2015/Sessions/1/VIIRSworkshop1503_Y_Nakayama.pdf)



<b>DMSP</b>	<b>VIIRS</b>
Composites annuels	Composites mensuels
Capteur OLS ( <i>Operational Linescan System</i> = (1 capteur VINR <sub>400 to 1100 nm</sub> + 1 capteur TIR <sub>10.5-12.6 μm</sub> ) <sup>6</sup> )	Capteur DNB ( <i>Day/Night Band</i> composites)
Désigné pour capter les données de l'infrarouge visible et infrarouge thermique pour être utilisé dans les systèmes météorologiques	Désigné pour capter les données radiométriques de haute qualité pour des analyses digitales et modèles numériques.
Altitude 850 Km	Altitude 827 Km
Saturation de lumières en zones urbaines	No saturation de lumières
DN entre 0 et 63 ( <i>Digital numbers</i> )	DN entre 0 et 255 ( <i>Digital numbers</i> )
Système de coordonnées WGS84	Système de coordonnées WGS84
Chaque composite couvre une aire entre -180 et 180° de longitude -65 et 75° de latitude	Chaque composite couvre une aire entre -180 et 180° de longitude 75N et 65S° de latitude
Images manquantes dans certaines surfaces de Groenland, Alaska, Canada, Scandinave et Antarctique <sup>7</sup> .	Images manquantes dans certaines surfaces de Groenland, Alaska, Canada, Scandinave et Antarctique.

## Relation entre les émissions lumineuses et les variables socio-économiques

Les images d'éclairage nocturne sont des indicateurs précis de l'activité humaine et du développement à l'échelle urbaine, locale et globale. L'augmentation de la population, l'expansion des zones urbaines, le développement économique, la globalisation, la démocratisation de l'accès à l'énergie et l'efficacité des technologies lumineuses provoquent une augmentation graduelle de la pollution lumineuse existante. Les images satellites des lumières nocturnes émises peuvent fournir des informations sur le développement urbain et agricole, sur les phénomènes naturels, et autres indicateurs socio-économiques comme les revenus de la population. Ces données sont en même temps un outil d'évaluation, contrôle et prédiction de la pollution. (Han, P., 2014).

Les scientifiques et chercheurs s'intéressent d'avantage dans la quantification de la pollution lumineuse et ses liens avec des variables socio-économiques pour attirer l'attention des décideurs. Des études montrent comme la pollution lumineuse est influencée par ces variables. (Ma, T., 2014). L'article « *The Economics of Global Pollution* », montre un modèle qui prouve la corrélation entre la population habitant dans des zones urbaines, le PIB et la pollution lumineuse. (Galloway, T., Olsen, R. N., & Mitchell, D. M., 2010).

<sup>6</sup> VINR = *visible/near infrared*, TIR = *thermal/infrared*

<sup>7</sup> Pour cette raison Amérique du Nord dans l'étude comprend seulement Canada et Etats-Unis. Selon les estimations seulement 0.0002% de la population mondiale, l'équivalent à 10.000 personnes, habitent dans ces endroits, cela nous laisse envisager la faible quantité de lumières existantes dans ces régions, pourtant la pollution lumineuse n'est significative. (Henderson, et al., 2012).

## Intercalibration de données DMSP

L'intercalibration est une méthode quantitative pour corriger les composites annuelles prises par les différents satellites. Cette opération permet d'uniformiser les données pour les rendre comparables entre elles, étant donné que la bande visible de l'OLS n'est pas munie d'un système de calibration. (Small, C., & Elvidge, C., 2011).

L'intercalibration proposée par Elvidge consiste en une régression linéaire de deuxième ordre. « L'objectif essentiel est de faire possible l'assemblage des valeurs de l'indice 'somme des lumières' pour chaque année. Un signe de intercalibration réussi est la convergence des valeurs dont deux images satellites sont disponibles » (Elvidge, C., 2009). Après avoir effectué l'intercalibration il est nécessaire de faire la moyenne entre les deux composites pour obtenir un seul raster par année.

L'intercalibration concerne les composites annuels DMSP, dû au fait que ce système satellite ne possède pas un dispositif de calibration intégré. Cela permet qu'il y ait des incohérences entre les différentes composites, des erreurs radiométriques et des incompatibilités entre les Digital Numbers des différents composites annuels.

L'équation pour réaliser l'intercalibration des composites annuelles, est construite sur la base de coefficients dérivés empiriquement des images de Sicile pour l'année de référence F12 1999. Cette année a été choisie parce qu'elle a les plus hautes valeurs de DN, et cela peut permettre d'obtenir plus de précision. L'équation correspondant est:

$$DN_{adjusted} = a \times DN^2 + b \times DN + c$$

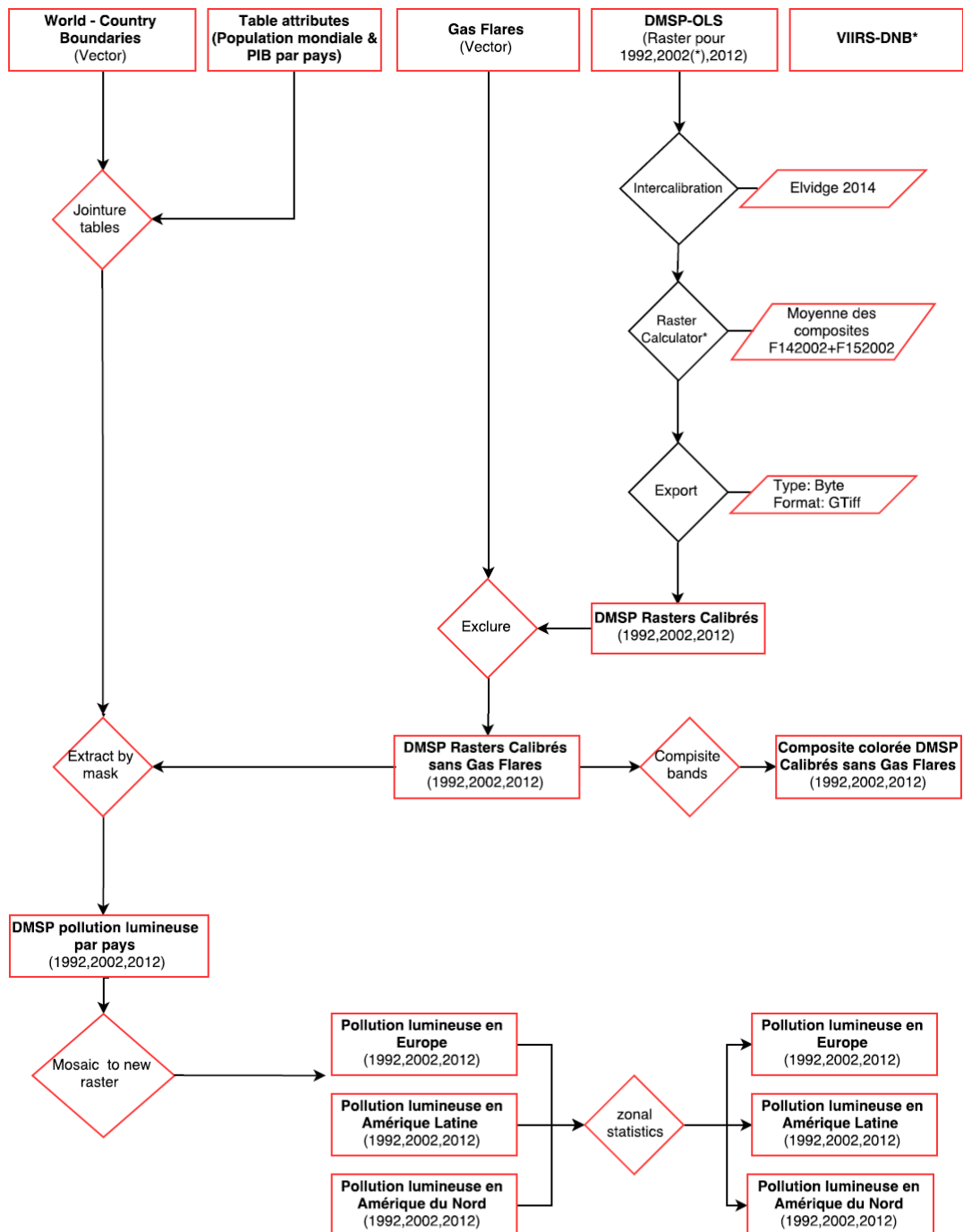
Le  $DN_{adjusted}$  est la valeur créée, et a, b, c, ce sont les coefficients de formule de régression. Ensuite nous pouvons voir dans la table 2 les valeurs de coefficients et du  $R^2$  pour chaque année entre 1992 et 2012. (Han, P. & Huang, W., 2014).

**Table 2. Coefficients du model de régression de second ordre**

Satellite	Year	a	b	c	R <sup>2</sup>
F10	1992	0.0021	1.0297	-1.1242	0.8977
	1993	0.0025	1.1260	-0.9544	0.9022
	1994	0.0016	1.1312	-1.1391	0.8902
F12	1995	0.0082	0.6370	1.2033	0.8592
	1996	0.0097	0.5778	1.4918	0.8272
	1997	0.0009	1.0722	0.4025	0.8233
F14	1998	0.0050	0.8729	0.5210	0.8538
	1999	0.0007	1.0910	0.5410	0.9143
	2000	0.0086	0.4986	2.1741	0.8809
F15	2001	0.0012	1.0292	-0.8652	0.9126
	2002	0.0008	0.9713	-0.6740	0.9629
	2003	-0.0126	1.7774	-0.9333	0.9166
	2004	-0.0010	1.1041	-0.0450	0.9266
F16	2005	-0.0036	1.3178	-0.7441	0.9646
	2006	-0.0056	1.3436	-0.3514	0.9707
	2007	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
	2008	0.0012	0.9258	0.6122	0.9855
	2009	0.0070	0.4360	2.3540	0.9030
F18	2010	0.0035	0.7403	0.1945	0.9511
	2011	-0.0025	1.1073	0.1052	0.9584
	2012	0.0085	0.2291	3.8971	0.9252

Source: (Han, P. & Huang, W., 2014).

# Méthodologie



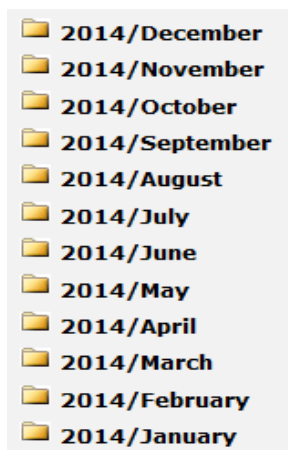
\* Nous avons effectué les même traitements qu'aux données DMSP sauf pour ce qui concerne l'intercalibration

Une description schématique plus détaillée de la méthodologie est présentée dans l'annexe 2.

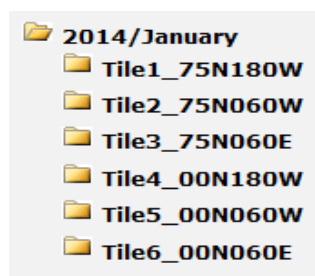
## Téléchargement des images composites VIIRS 2014

Les images composites mensuelles sont mises à disposition par l'*Earth Observations Group EOG* et NOAA/NGDC dans le site web : [http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_monthly.html](http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_monthly.html). Cette opération est un peu plus complexe puisque il faut chercher les fichiers mensuels individuels correspondant au 2014. Seule année disponible intégralement. Ensuite, il a fallu suivre la procédure de téléchargement (figure 2) pour composer un seul raster annuel.

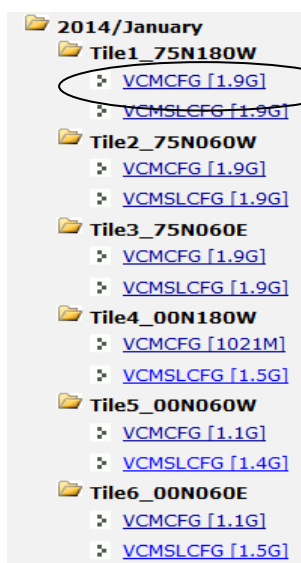
1.



2.



3.



12 fois

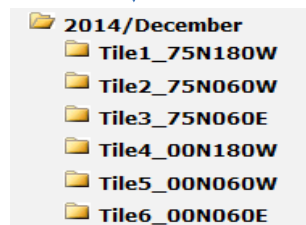


Figure 2. Procédure de téléchargements composites mensuels VIIRS

## Résultats

### Composition colorée de DMSP annuels des années 1992, 2002 et 2012.

Cette image composite (figure 3) montre respectivement les émissions de lumières nocturnes dans le monde les années 1992, 2002 et 2012. Les lumières stables sont colorées en blanc.

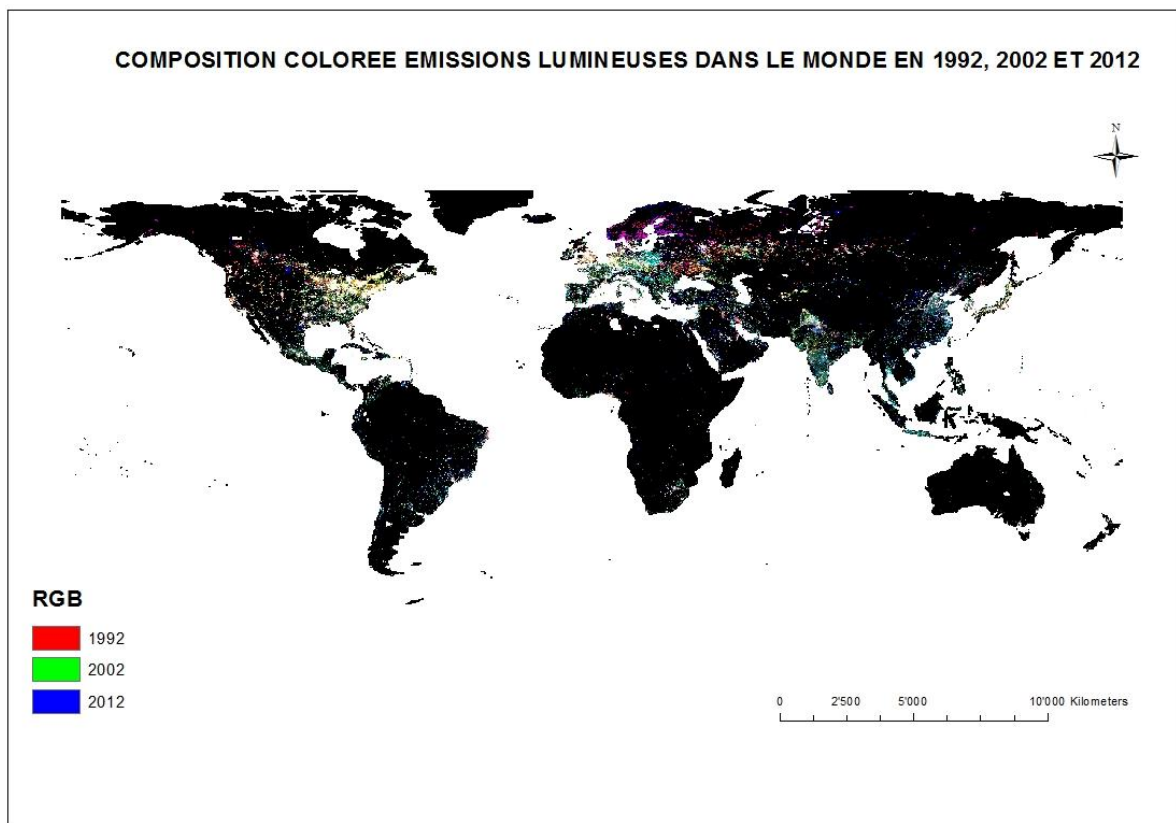


Figure 3. Composition colorée pollution lumineuse en 1992, 2002 et 2012

La figure 4 offre une vue rapprochée des régions étudiées. Les points invariables s'apprécient en blanc et correspondent, notamment, aux grandes villes d'Europe et d'Amérique.

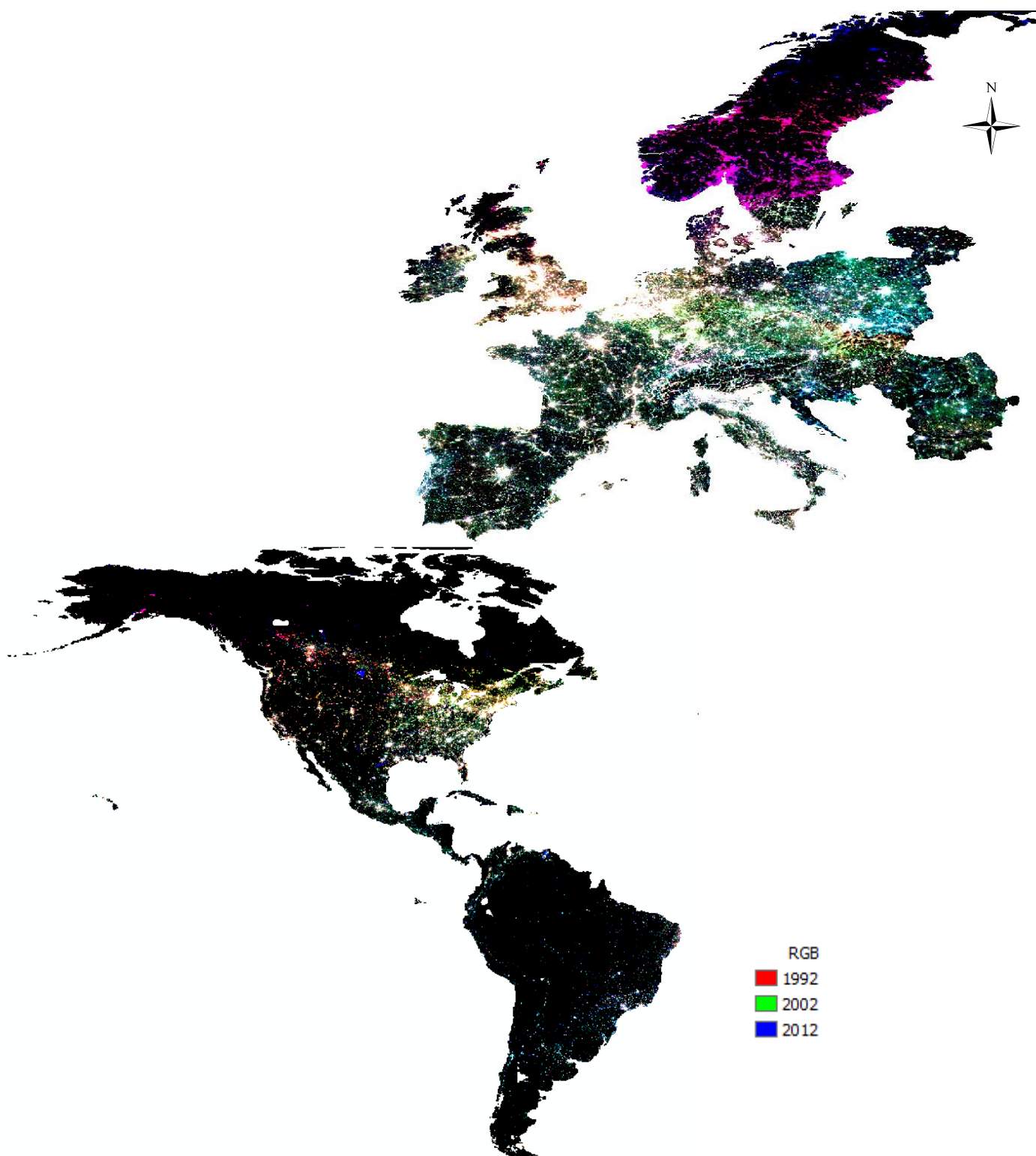


Figure 4. Vue rapprochée composition colorée 1992, 2002 et 2012 DMSP

Ensuite, la figure 5 présente le résultat de l'extraction des Gas Flares des frontières des pays.



Figure 5. Extraction des Gas Flares de la couche des divisions administratives

La figure 6, montre une image rapprochée du résultat, une fois les Gas Flares enlevés. Cette opération permet d'exclure de l'analyse les lumières éphémères et celles situées hors des frontières des pays ou sur la mer.

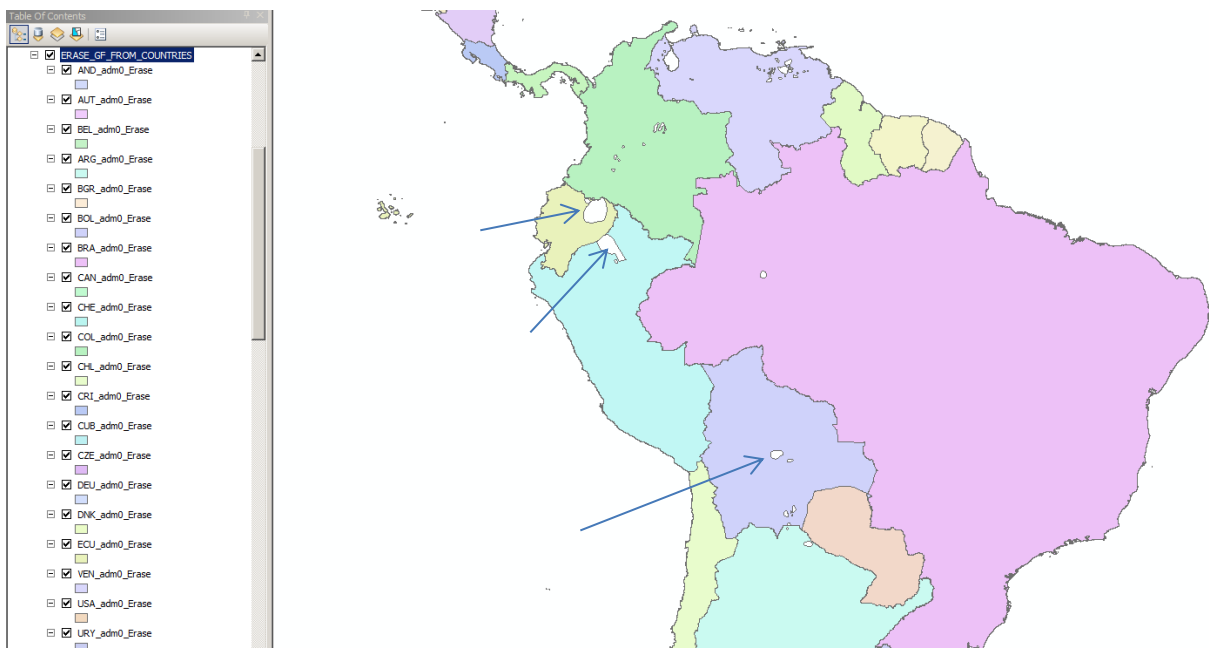


Figure 6. Frontières des pays sans Gas Flares



## Cartes des émissions lumineuses en Amérique du nord- DMSP

Il est possible d'extraire les lumières d'origines urbaines existantes dans chaque région. Les figures 7, 8, 9 et 10 montrent un aperçu des cartes résultantes pour les Etats-Unis entre 1992 et en 2012. La couleur bleu représente les endroits pas illuminés.

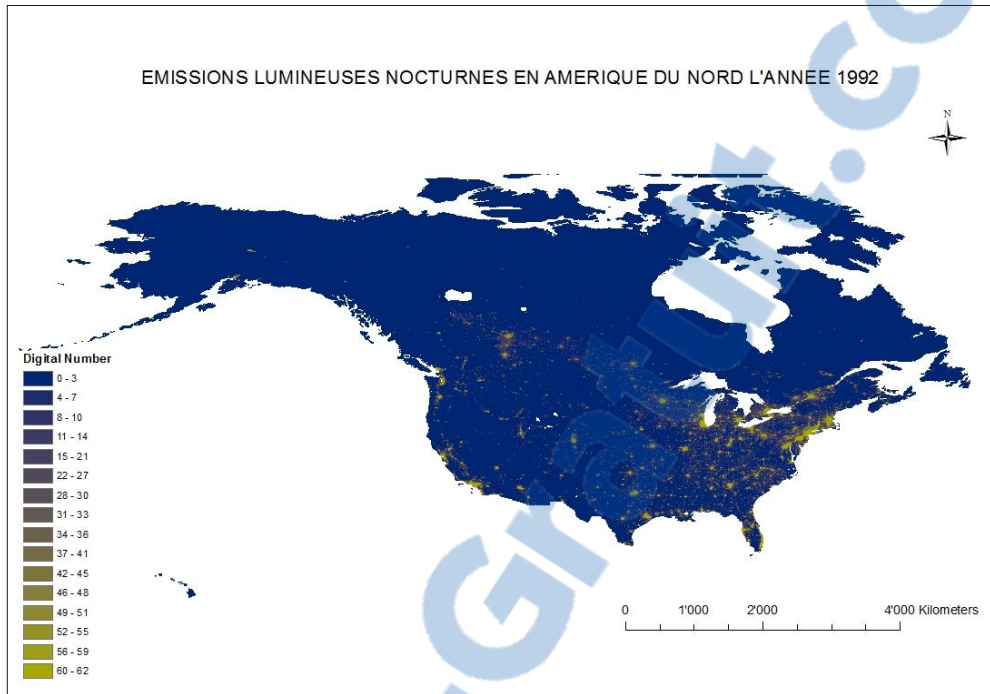


Figure 7. Carte des émissions lumineuses en Amérique du Nord en 1992 - DMSP

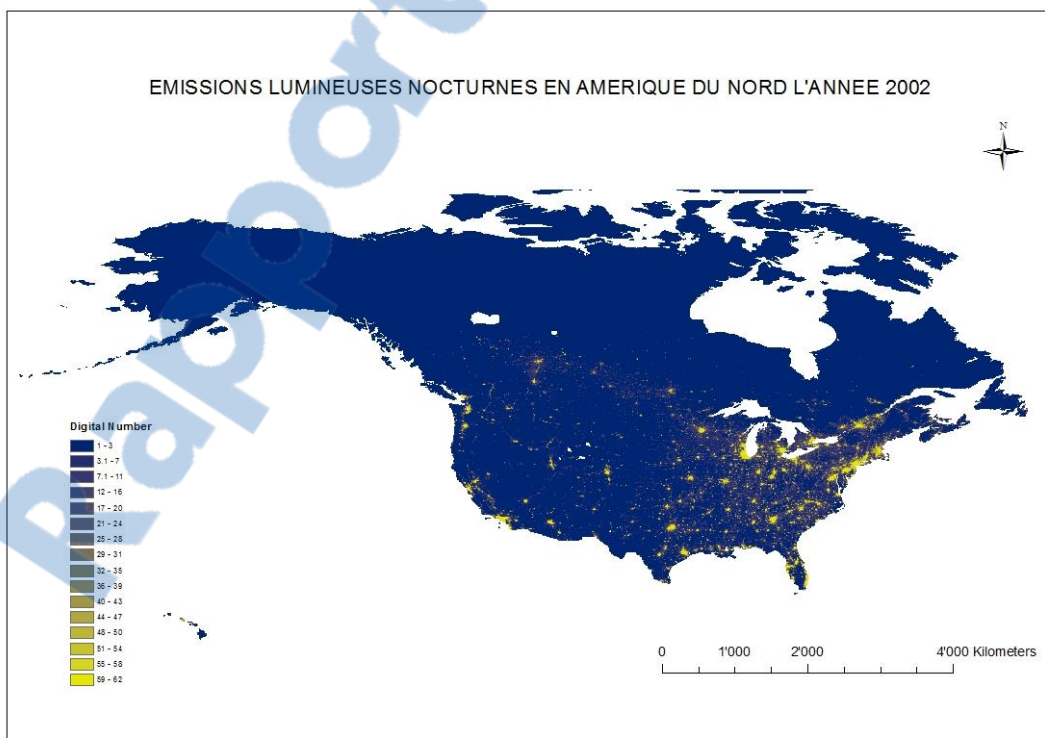


Figure 8. Carte des émissions lumineuses en Amérique du Nord en 2002 - DMSP

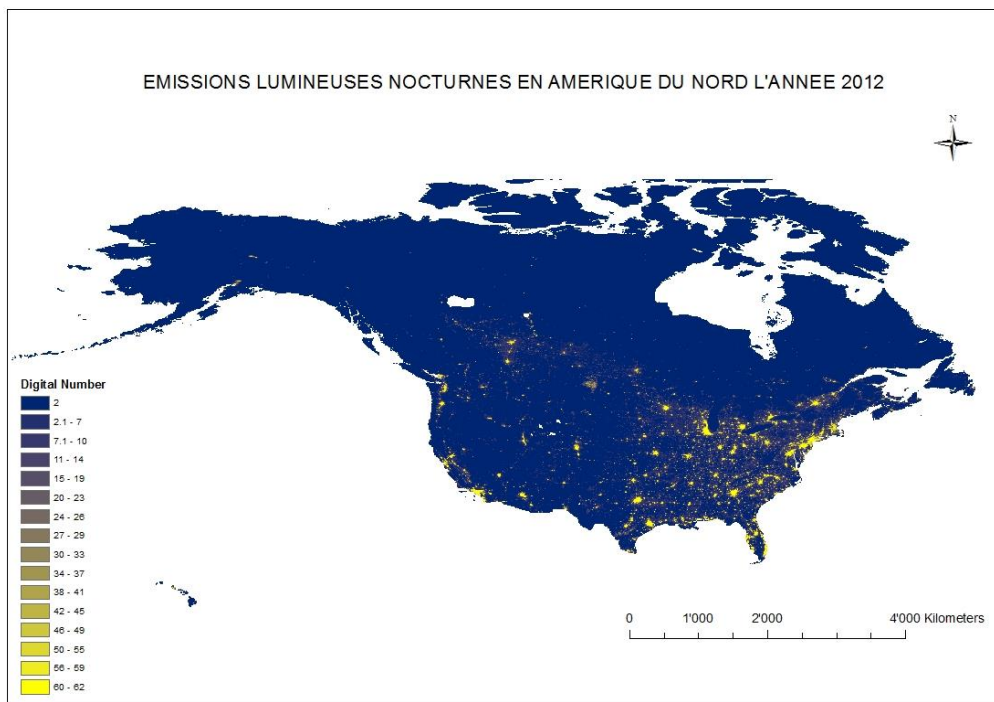


Figure 9. Carte des émissions lumineuses en Amérique du Nord en 2012 - DMSP

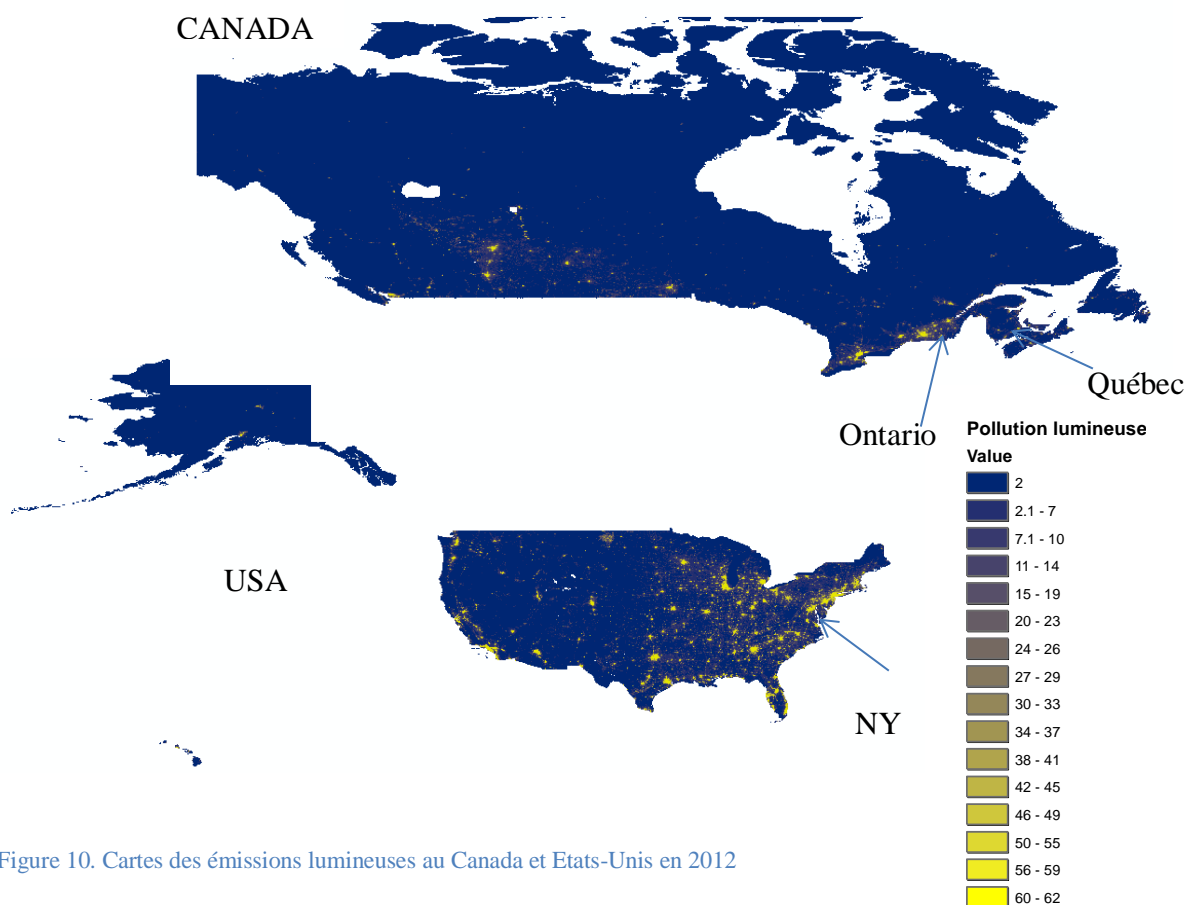


Figure 10. Cartes des émissions lumineuses au Canada et Etats-Unis en 2012

La comparaison de la luminosité nocturne du Canada et des aux Etats-Unis, comme illustré dans la figure précédente (figure 10), indique que les résultats sont assez proches de la réalité puisque les lumières aperçues aux Etats-Unis sont plus nombreuses que celles du Canada,

malgré le fait que le territoire de ce pays soit relativement plus petit. D'autre part, les plus grandes provinces et les plus peuplés du Canada se trouvent au Sud du pays (Québec et Ontario), et dans le Nord-Ouest il y a très peu d'habitants<sup>8</sup>.

La partie ouest des Etats-Unis est aussi recouverte en grande partie par un relief plus désertique et montagneux. C'est en partie pour ces cette raisons qu'une concentration plus vaste des lumières est présente sur la partie Est et Sud en Amérique du Nord. La figure 11 montre un aperçu de relief de l'Amérique du Nord, confronté à la carte des lumières pour mieux apprécier la concordance entre le territoire et la distribution spatiale des lumières nocturnes. Le relief provient du printscreen fait à partir de Google Earth et la carte de luminosité artificielle est celle de 2012 réalisé selon les données DMSP.



Figure 11. Printscreen relief et carte des émissions lumineuses 2012 DMSP dans l'Amérique du Nord .Source : Google Earth

La table 3 montre la différence entre les Etats-Unis et le Canada en termes de surface<sup>9</sup> et de quantité des lumières nocturnes selon le résultat « SUM » des statistiques zonales. En effet, les émissions lumineuses canadiennes représentent environ 18% de celles des Etats- Unis.

<sup>8</sup> [http://bv.cdeacf.ca/RA\\_PDF/129999.pdf](http://bv.cdeacf.ca/RA_PDF/129999.pdf)



Table 3. Statistiques Zonales Amérique du Nord

PAYS	SURFACE EN KM <sup>2</sup>	SOMME 1992	SOMME 2002	SOMME 2012
CANADA	9'984'670.00	15'866.480	33'426.470	51'476.960
ETATS-UNIS	9'831'510.00	67'742.640	80'937.620	85'156.830

Les résultats de la somme des lumières par km<sup>2</sup> de surface de chaque pays étudié dans cette région se représentent sous forme de graphique dans la figure 12. Il existe une augmentation progressive en termes émissions lumineuses dans les deux pays et même si les valeurs sont élevées au Canada, ceux des Etats-Unis restent plus importants.

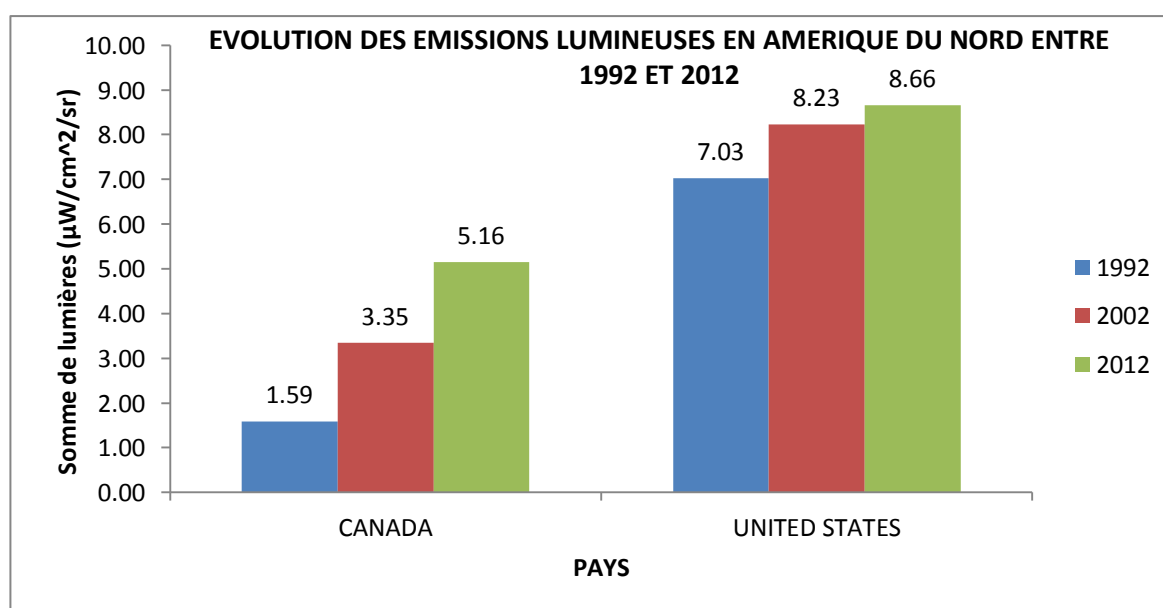


Figure 12. Evolution des émissions lumineuses en Amérique du Nord entre 1992 et 2012

### Cartes des émissions lumineuses en Amérique latine - DMSP

L'évolution des émissions lumineuses a été étudiée dans 23 pays d'Amérique Latine. Les figures 13, 14 et 15 montrent un aperçu de cartes obtenues pour les années 1992, 2002 et 2012 avec le système DMSP. Egalement dans les annexes 3, 4 et 5 se trouvent des tables contenant les résultats des statistiques zonales 1992, 2002 et 2012.

<sup>9</sup> La surface en km<sup>2</sup> de certains pays concernés par notre étude a varié entre 1992 et 2012, nous avons tenu compte dans nos calculs selon les valeurs enregistrés dans la base de données de la Banque Mondiale. Voir annexe 9.

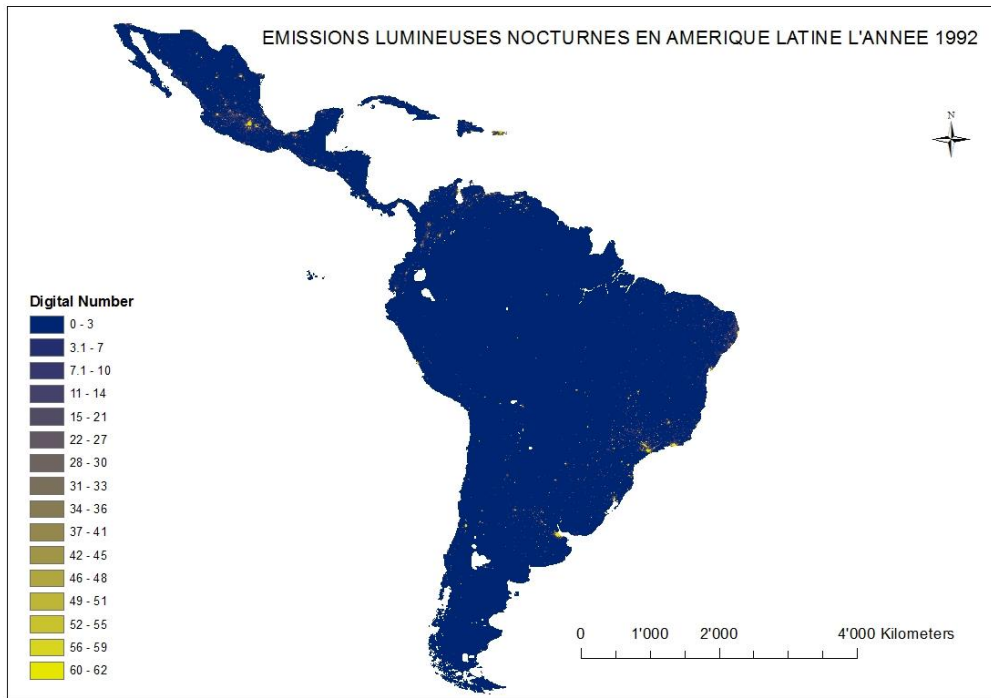


Figure 13. Carte des émissions lumineuses en Amérique Latine en 1992 - DMSP

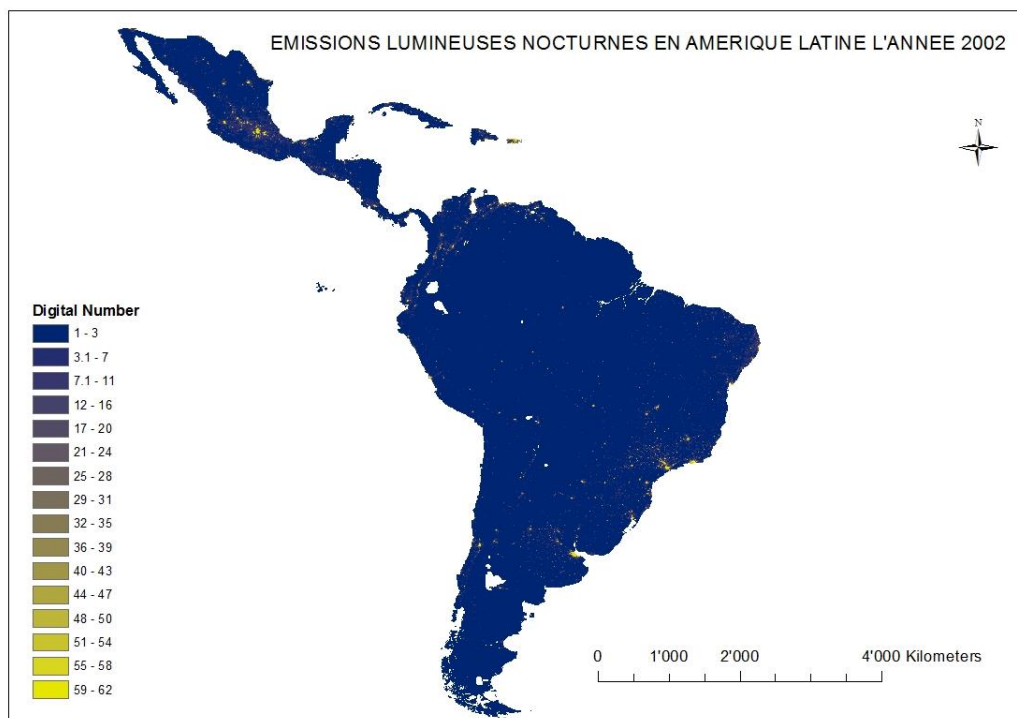


Figure 14. Carte des émissions lumineuses en Amérique Latine en 2002 - DMSP

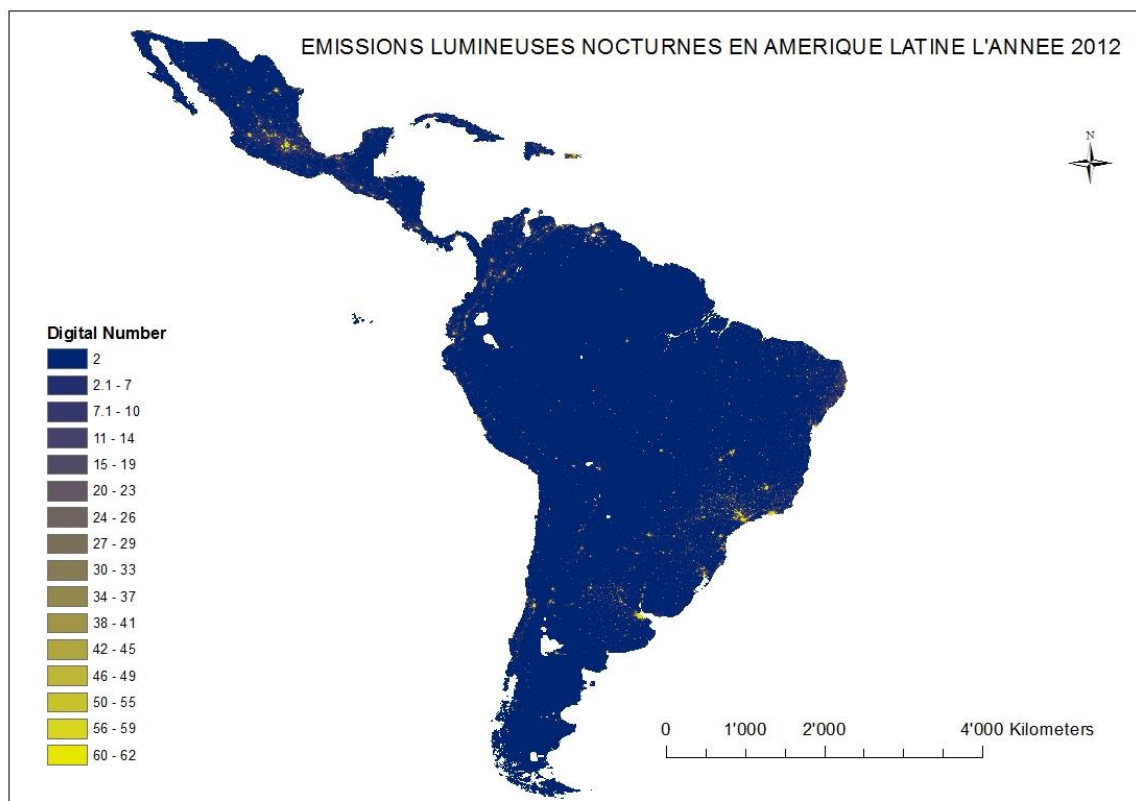


Figure 15. Carte des émissions lumineuses en Amérique Latine en 2012 - DMSP

Selon les résultats obtenus dans les statistiques zonales en Amérique Latine, les moyennes des lumières nocturnes à l'intérieur des pays dans cette région restent relativement basses comparées à celles d'Amérique du Nord et de l'Europe. Les valeurs se trouvent effectivement entre 0 dans les Guyanes et 6.5 à El Salvador, à l'exception de Puerto Rico avec une moyenne de 28. Ces résultats s'expliquent dans la discussion.

La figure 16 montre la quantité de lumière artificielle nocturne émise en Amérique Latine divisée par la surface (km<sup>2</sup>) de chaque pays. D'après les résultats, l'illumination artificielle était quasi nulle en 1992 dans la plupart des pays mais elle a augmentée progressivement au fil des années.

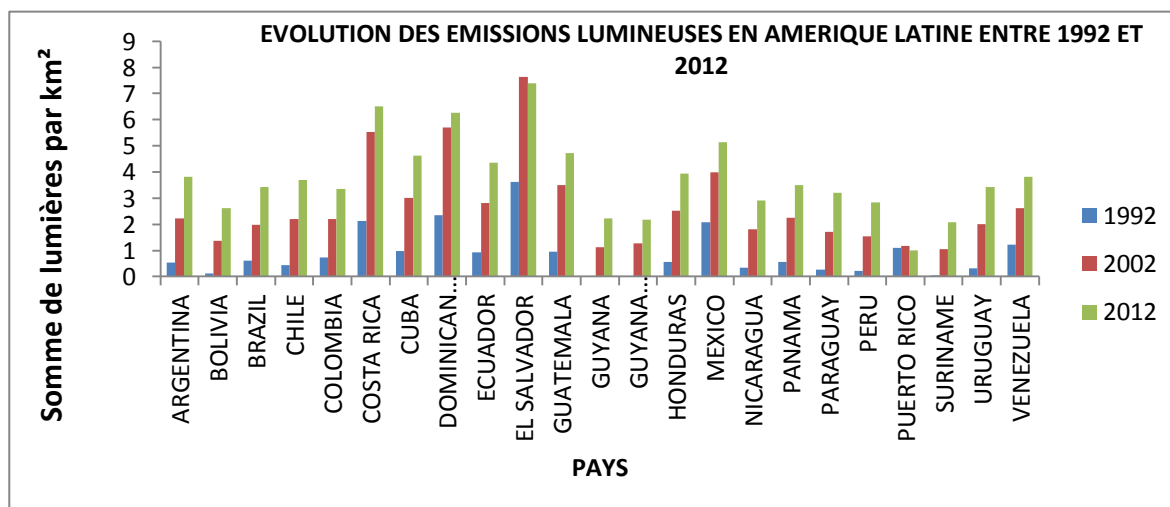


Figure 16. Evolution des émissions lumineuses par pays en Amérique Latine entre 1992 et 2012

Les pays qui ont connu un accroissement plus important de la pollution lumineuse par rapport à leur surface sont : le Costa Rica, Cuba, République Dominicaine, Equateur, El Salvador, Guatemala et le Mexique.

### Cartes des émissions lumineuses en Europe - DMSP

Les figures 17, 18 et 19 montrent les lumières nocturnes à l'intérieur des pays.

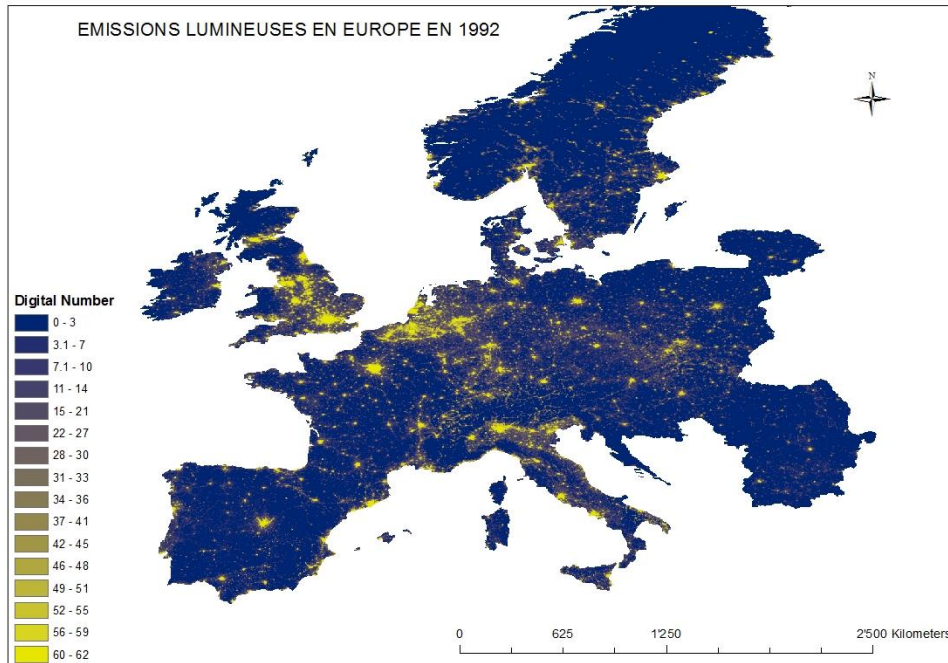


Figure 17. Carte des émissions lumineuses 1992 Europe - DMSP

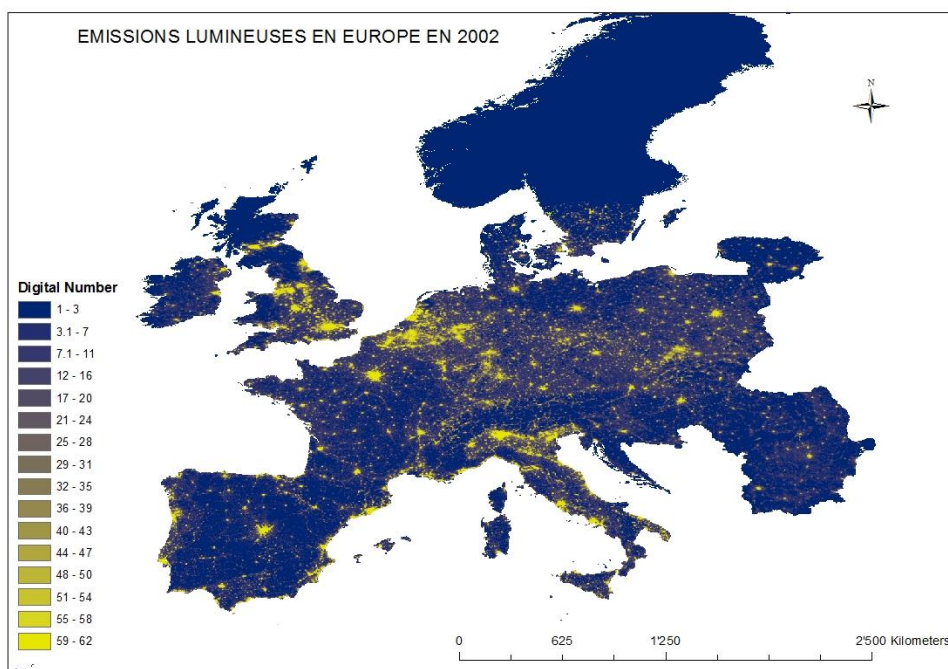


Figure 18. Carte des émissions lumineuses 2002 en Europe - DMSP

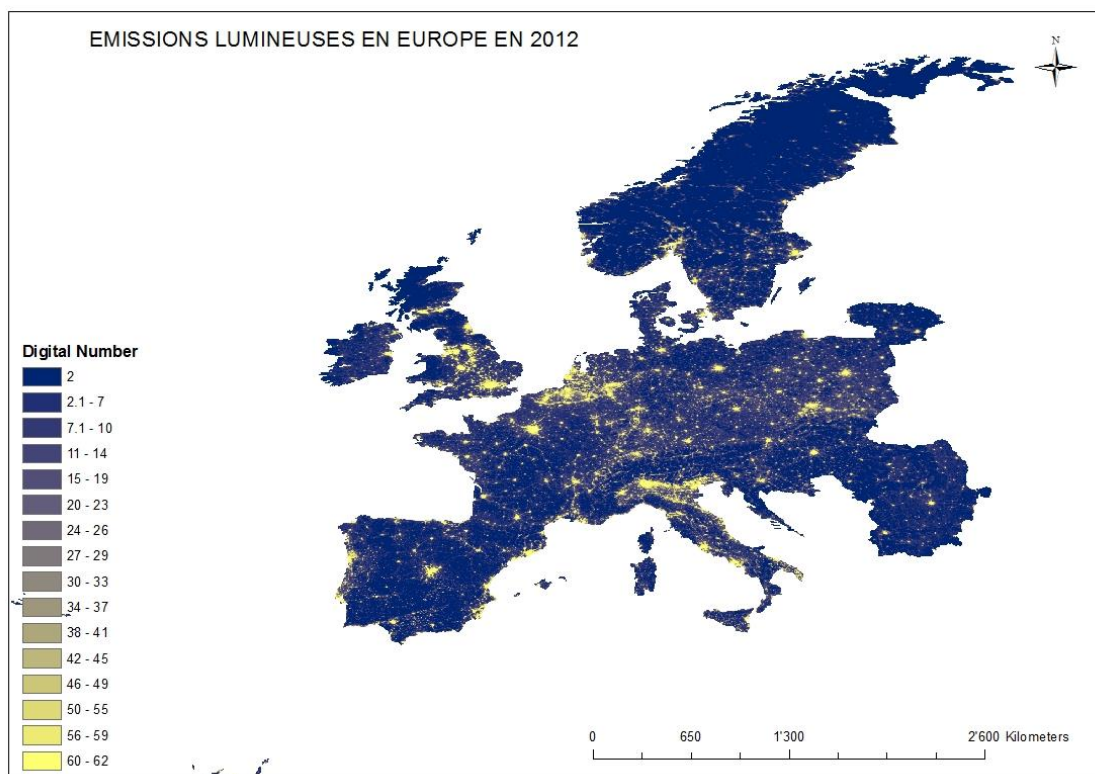


Figure 19. Carte des émissions lumineuses 2012 en Europe - DMSP

Un total de 26 pays a été étudié en Europe. Entre 1992 et 2012, 18 de ces pays ont connu une augmentation importante de la pollution lumineuse 2012 : Autriche, Bulgarie, Croatie, Danemark, France, Hongrie, Irlande, Italie, Liechtenstein, Lituanie, Norvège, Pologne, Portugal, Roumanie, Slovénie, Espagne, Suède et Suisse. Le Liechtenstein se trouve aussi entre ces pays. (Voir explication dans la discussion).

Selon les résultats des statistiques zonales, il y a eu une diminution dans les niveaux des émissions lumineuses nocturnes entre 1% et 4% en Belgique, Pays-Bas, Slovaquie et au Royaume Uni, néanmoins globalement les moyennes d'éclairage européen ont augmenté. Pour évaluer la quantité des émissions lumineuses nocturnes à l'intérieur de chaque pays, la somme des lumières a été divisée par la surface en km<sup>2</sup>. La figure 20 nous montre le graphique correspondant.



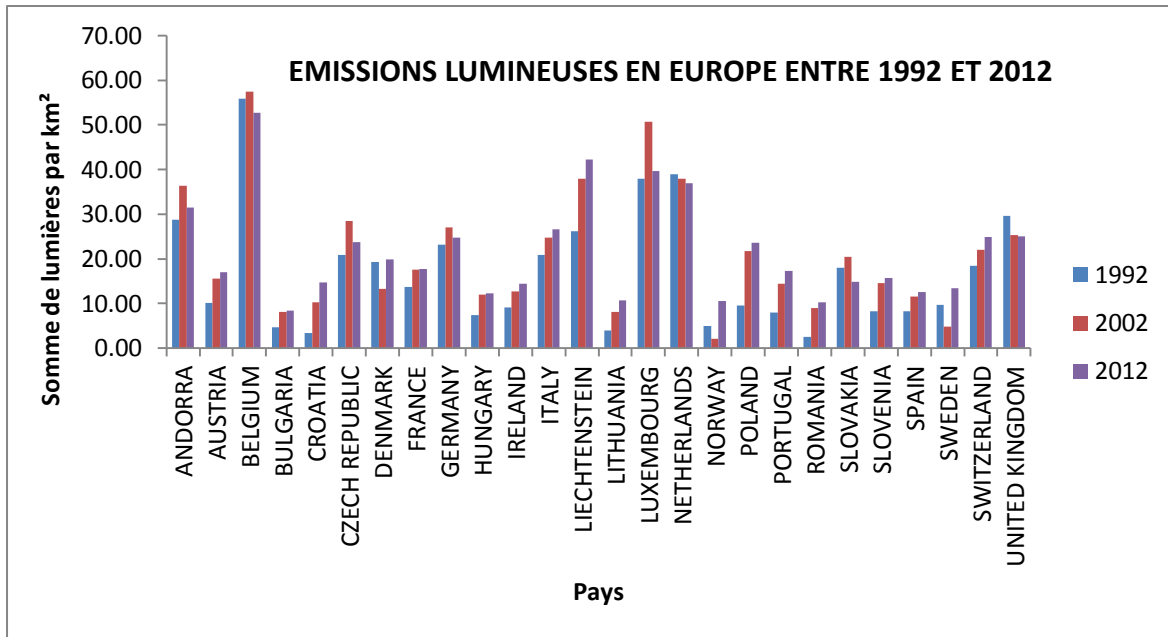


Figure 20. Evolution des émissions lumineuses par pays en Europe entre 1992 et 2012

### Relation entre les émissions lumineuses et les variables socio-économiques

La Banque Mondiale offre des données actualisées correspondant à la population totale et la valeur du PIB des pays en milliards de dollars actuels, selon la base de données de la Banque Mondiale, pour chaque pays étudié et pour les années concernés (1992, 2002 et 2012). Ces informations ont été cartographiées pour établir des possibles corrélations entre les variables socio-économiques et la luminosité artificielle nocturne. La figure 21 représente une carte avec une classification en 6 classes selon laquelle les couleurs proches du rouge sont des PIB moins élevés et le contraire pour les tonalités vertes.

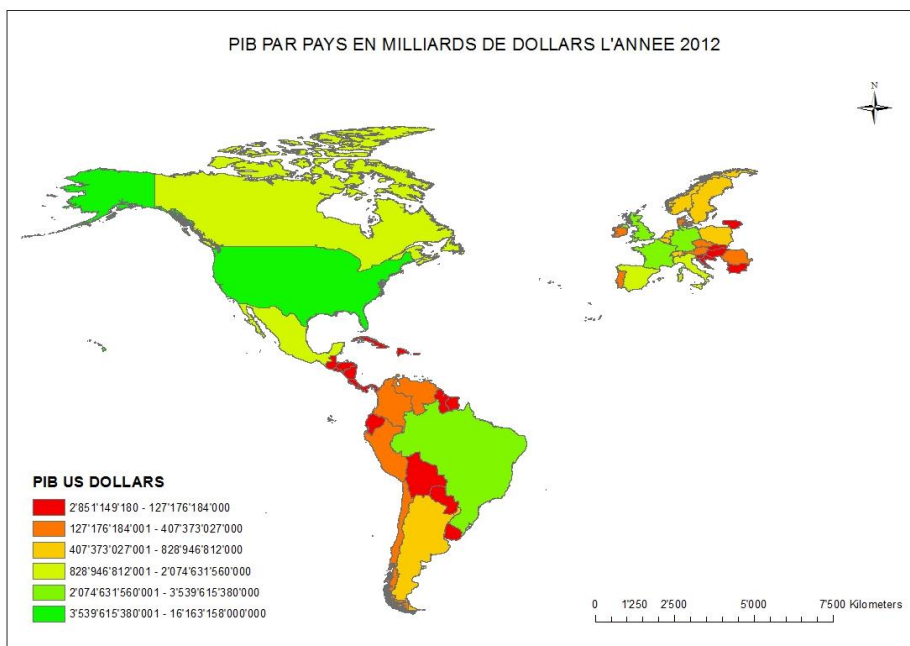


Figure 21. PIB 2012 en milliards de dollars actuels US\$

D'autre part, la figure 22 montre la distribution de la population mondiale en signalant en rouge les pays les plus peuplés. Visiblement, les pays où il y a plus de population correspondent à niveaux de pollution lumineuse plus élevés. Les données proviennent de la base de données actualisée de la Banque Mondiale.

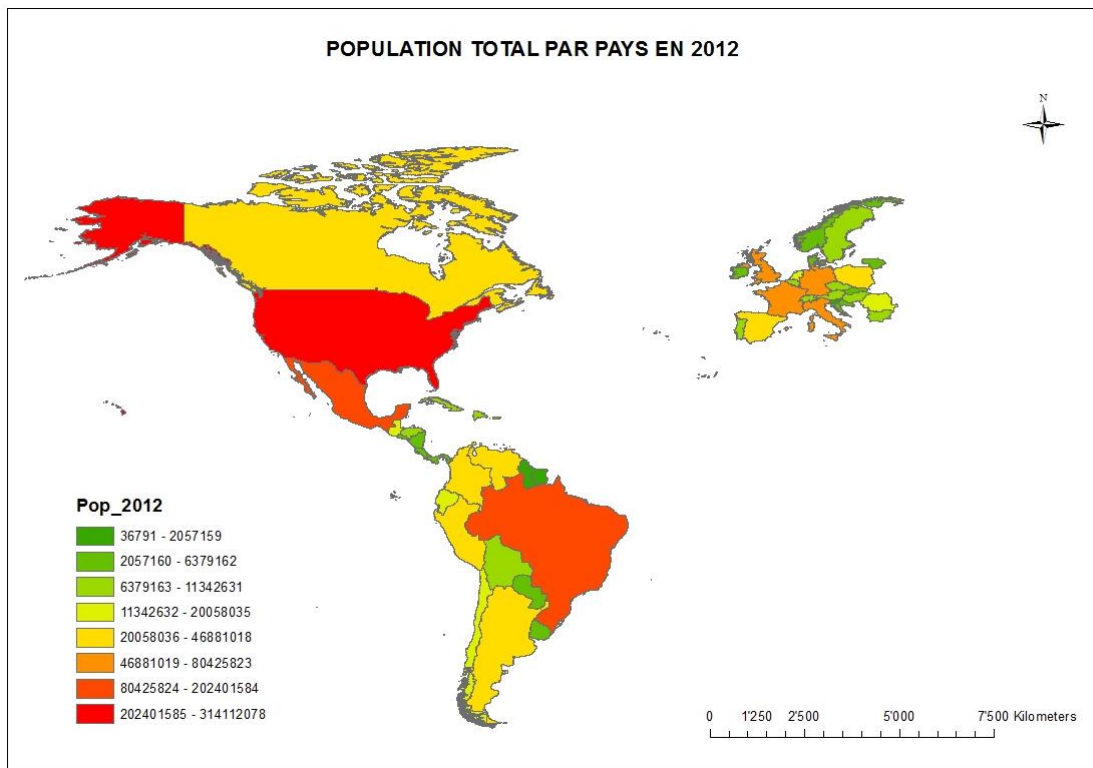


Figure 22. Population total par pays en 2012

### Corrélation entre le PIB, la population et la pollution lumineuse

Les résultats sont issus de la régression linéaire entre la somme de lumières par pays, et les valeurs officielles du PIB total par pays obtenus dans la base de données de la Banque Mondiale. La valeur de  $R^2$  est de 0.70. L'analyse comprend les pays d'Europe, l'année 2012. Voir figure 23.

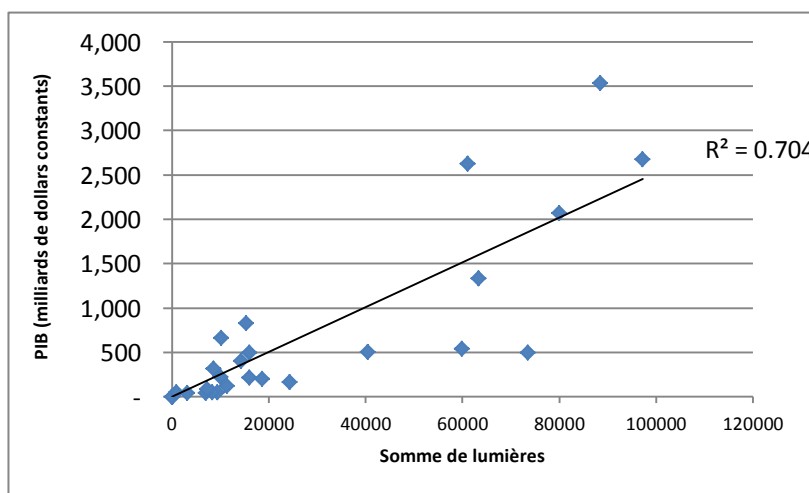


Figure 23. Régression linéaire entre le PIB et la quantité des émissions lumineuses en Europe en 2012

La figure 24 montre la corrélation entre la population et la quantité des émissions lumineuses. Le R<sup>2</sup> obtenu est de 0.81. L'analyse comprend les pays d'Europe, l'année 2012.

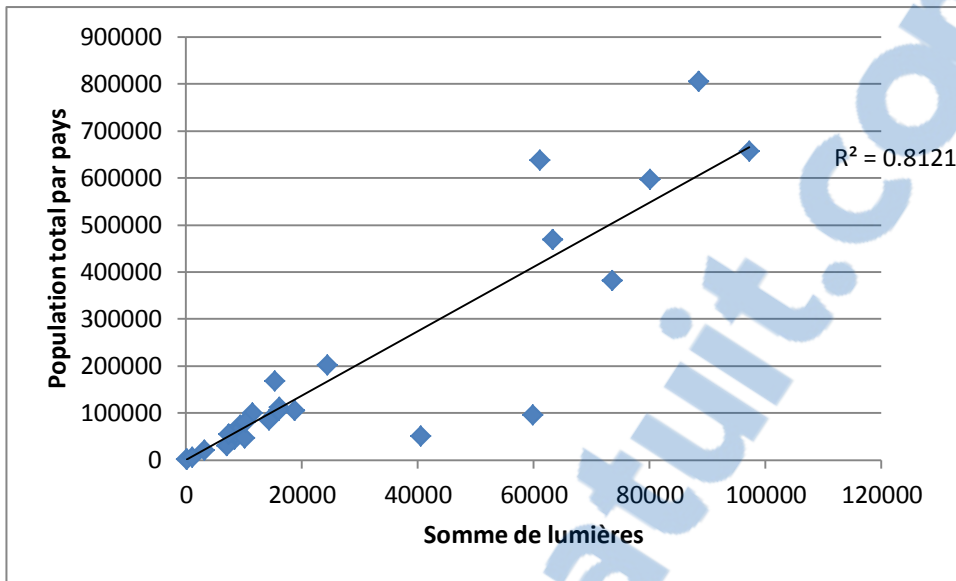


Figure 24. Régression linéaire entre la population et la quantité des émissions lumineuses en Europe en 2012

## Résultats VIIRS 2014

Les figures 25 à 28 présentent les images correspondant à l'analyse pour l'année 2014 avec le système satellite VIIRS.



Figure 25. Carte des émissions lumineuses 2014 au monde - VIIRS

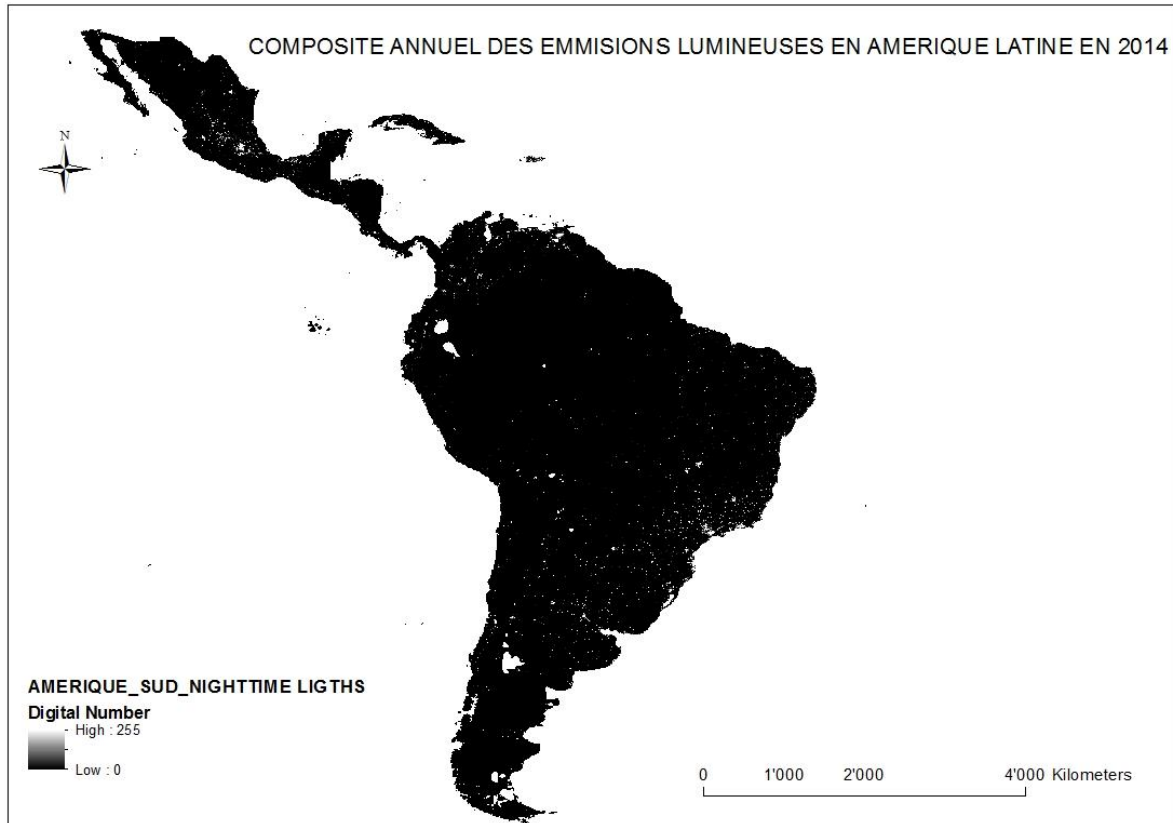


Figure 26. Carte des émissions lumineuses 2014 en Amérique du sud - VIIRS

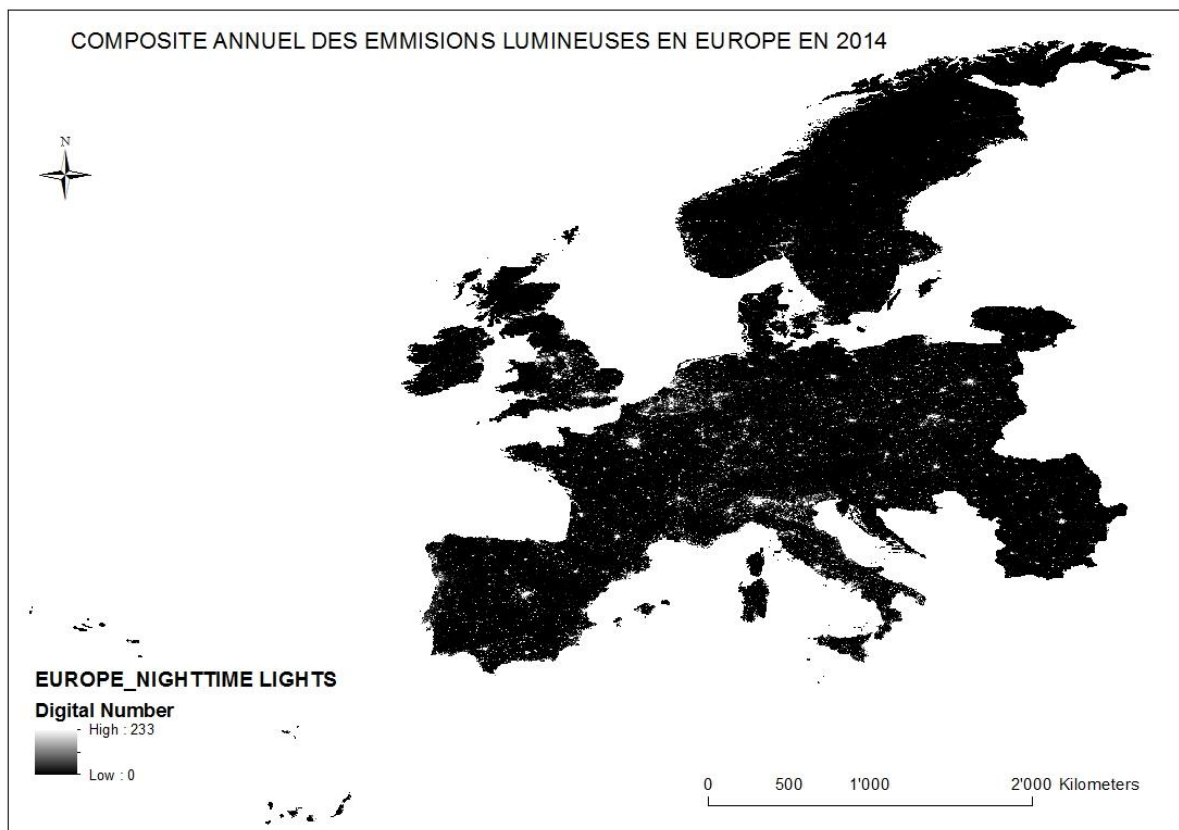


Figure 27. Carte des émissions lumineuses en Europe l'année 2014 - VIIRS

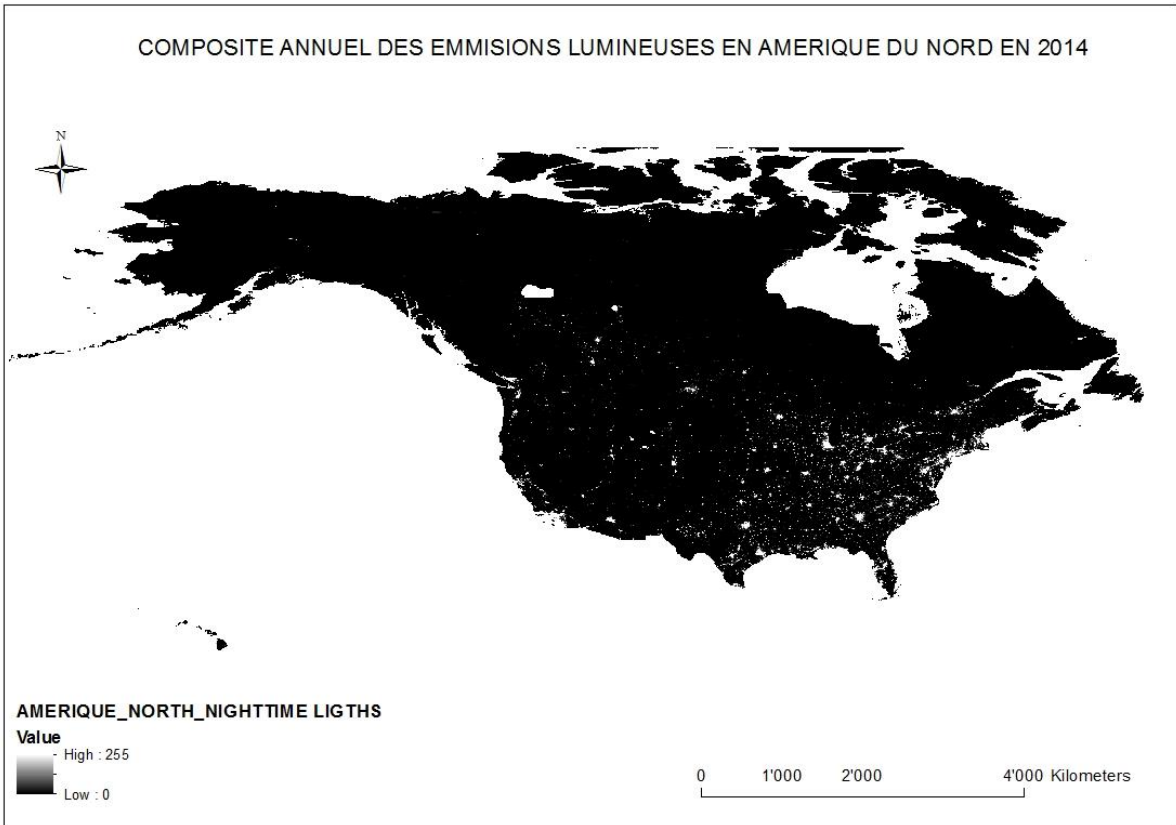


Figure 28. Carte des émissions lumineuses 2014 en Amérique du nord VIIRS

La figure 29 montre les moyennes des lumières dans chaque pays du monde en 2014 selon les résultats obtenus dans les statistiques zonales. Le choix de nombre de catégories facilite la visualisation des différences entre pays.

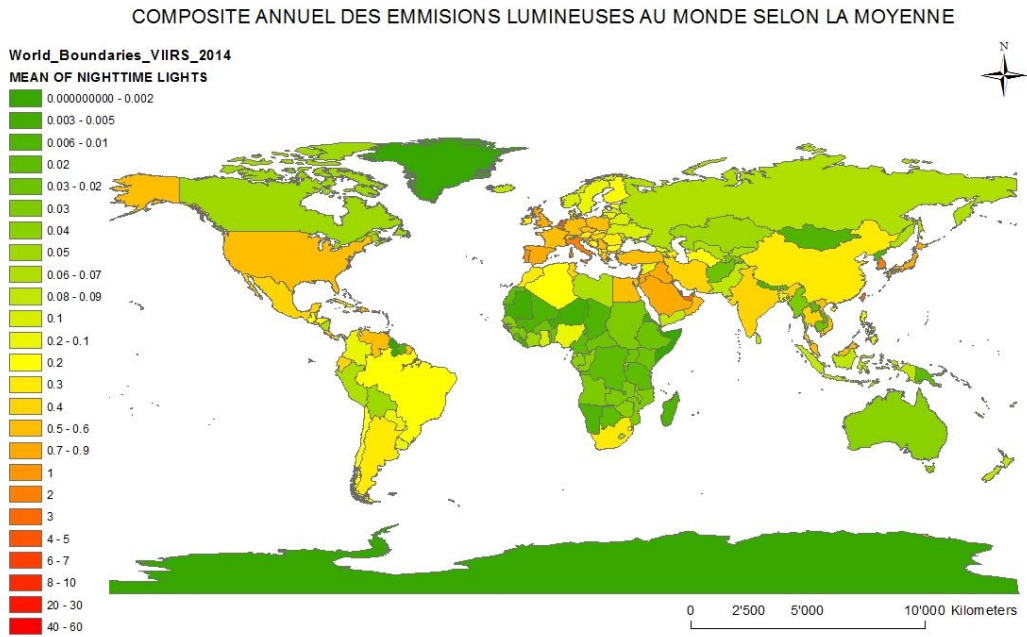


Figure 29. Moyenne de lumières par pays en 2014

Les graphiques ci-dessous (figures 30, 31 et 32) illustrent l'équivalent à la somme de lumières par km<sup>2</sup> par pays et par région l'année 2014.

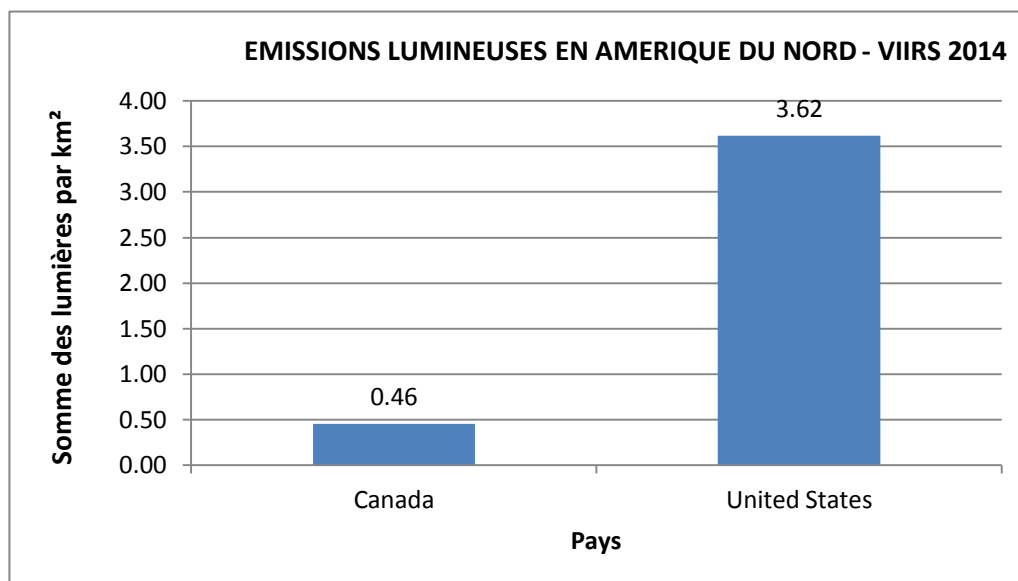


Figure 30. Emissions lumineuses en Amérique du nord selon les données VIIRS 2014

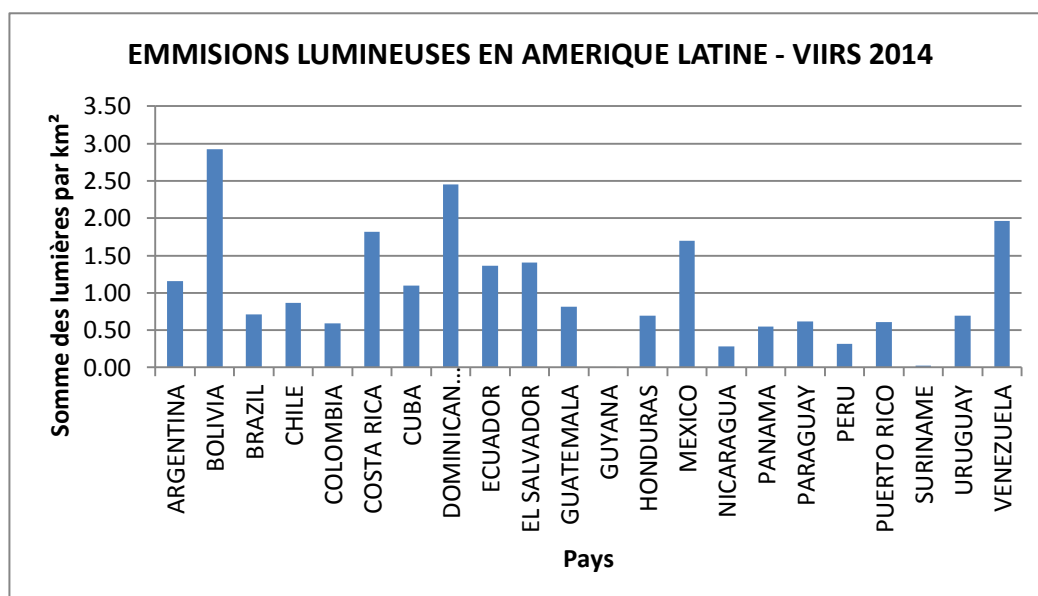


Figure 31. Emissions lumineuses en Amérique Latine selon les données VIIRS 2014

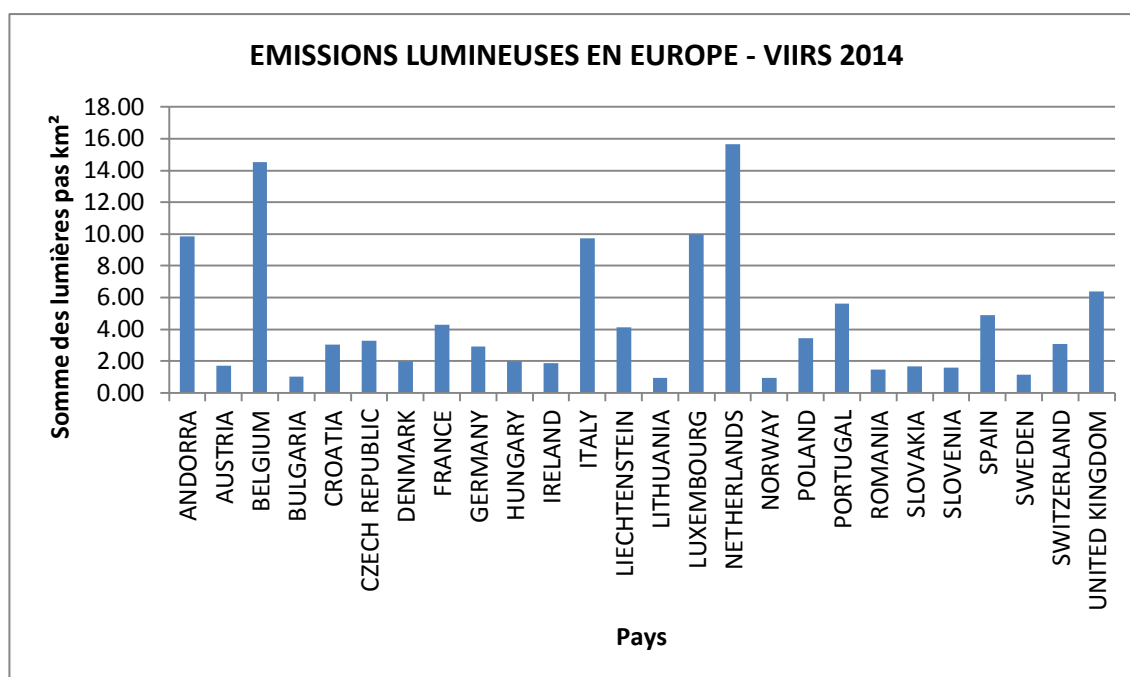


Figure 32. Emissions lumineuses en Europe selon les données VIIRS 2014

Les résultats des statistiques zonales 2014 concernant les régions d'étude, sont disponibles dans l'annexe 6.

## Discussion

Etant donné que les données DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) ne sont pas calibrés, les composites présentent des erreurs radiométriques et les digital numbers (DN) sont incompatibles entre les différents années, cela est à l'origine des incohérences qui dificultent la réalisation des analyses quantitatives. Dans la plupart des années il y a deux satellites qui captent l'information séparément pendant la même année, donc deux composites annuels différents sont produits, il est nécessaire pourtant de créer une correspondance entre ces deux images.

L'intercalibration permet de résoudre les problèmes d'incompatibilité de DN et les incohérences des composites annuels DMSP. Elle permet de construire des séries temporelles plus fiables. Il s'agit d'un modèle de régression linéaire de deuxième ordre pour chaque composite individuellement, partant de l'hypothèse qu'il y a des lumières dont la brillance et la luminosité a peu ou pas varié dans le temps.

Les composites annuels DMSP 1992, 2002 et 2012 utilisés dans cette étude ont été intercalibrés avec la méthode Elvidge 2014, à l'aide de la fonction « *i.nightlighintercalibration* » utilisé dans le logiciel GRASS GIS. Il a été nécessaire de faire la moyenne entre les deux composites annuels calibrés de 2002, après la calibration pour obtenir un seul composite pour cette année. Cependant, il se peut que même après l'intercalibration les images ne soient pas complètement compatibles et qu'il y ait des contradictions dans la somme des lumières (Zhao & Samson, 2015), cela peut expliquer certains pics dans les figures 6 et 20.

La réalisation de cette étude a permis de constater une augmentation des niveaux d'illumination artificielle nocturne dans le monde. Cependant la somme des lumières par pays peut varier considérablement par rapport à la surface de leur territoire. En rapportant donc, les lumières au km<sup>2</sup>, nous avons pu constater que certains pays, malgré leur surface relativement réduite, ont des émissions lumineuses assez importantes, ce qui peut dans certains cas, être à l'origine d'une pollution lumineuse. L'annexe 7 nous montre la table des surfaces en km<sup>2</sup> par pays et par année. Dans cette table il est possible d'observer l'évolution du territoire dans certains pays.

L'illumination artificielle et les conséquences que celle-ci produit peuvent être associées avec les niveaux de développement. Des différences fondamentales entre les pays développés et les pays en voies de développement permettent d'affirmer qu'il y a une forte corrélation entre la PIB et la pollution lumineuse. En effet, dans les pays développés les réseaux électriques sont mieux conçus, les coûts sont plus accessibles et l'accès à l'électricité est nettement plus efficace que dans les pays en développement. D'autre part, les pays développés bénéficient plus largement de l'illumination artificielle pour éclairer les espaces publics, les réseaux routiers internes et inter-municipaux, les zones commerciales, etc., et la couverture est beaucoup plus dense. (Haim, A., & Portnov, B., 2013). Il a été trouvé que la corrélation entre le PIB et la somme de lumières par pays en Europe est assez importante ( $R^2=0.70$ ).

Nous avons trouvé également une concordance entre la quantité de lumière émise par les pays et la quantité de population existante sur ces territoires. Certainement, les pays les plus peuplés ce sont ceux dans lesquels se trouvent les plus hauts niveaux des émissions lumineuses. La corrélation entre ces deux variables confirme cela avec un  $R^2$  élevé (0.81).

Les moyennes des lumières artificielles nocturnes en Europe se trouvent entre 1.5 en Roumanie et 30 en Belgique. Il est étonnant qu'un pays comme le Royaume - Uni avec une surface de 243.610 km<sup>2</sup> ait la même moyenne que le Liechtenstein qui a une surface seulement de 160 km<sup>2</sup>. Il est possible que ces niveaux excessifs d'éclairage sur Liechtenstein obéissent entre autres au fait que ce soit une principauté, avec une économie prospère qui possède un IDH (Indice de Développement Humain) très élevé (0.908 en 2015) et une densité de population aussi importante (232 hab./km<sup>2</sup>). Les figures 33 et 34 correspondent aux cartes de la Grande Bretagne et du Liechtenstein respectivement. La même tendance peut s'appliquer en Amérique Centrale pour des pays de petite surface comme El Salvador, Costa Rica, République Dominicaine et Cuba, où l'on trouve une illumination importante par rapport aux pays plus grands, comme le Mexique qui présente aussi en taux élevé des émissions lumineuses.

En Amérique du sud selon l'analyse des données DMSP, il y a eu une augmentation dans chaque pays de cette région. La somme des lumières indique qu'Argentine, Brésil, Chili, Colombie, Uruguay et Venezuela présentent relativement en plus hauts niveaux de luminosité.



EMISSIONS LUMINEUSES EN GRAND BRETAGNE EN 2012

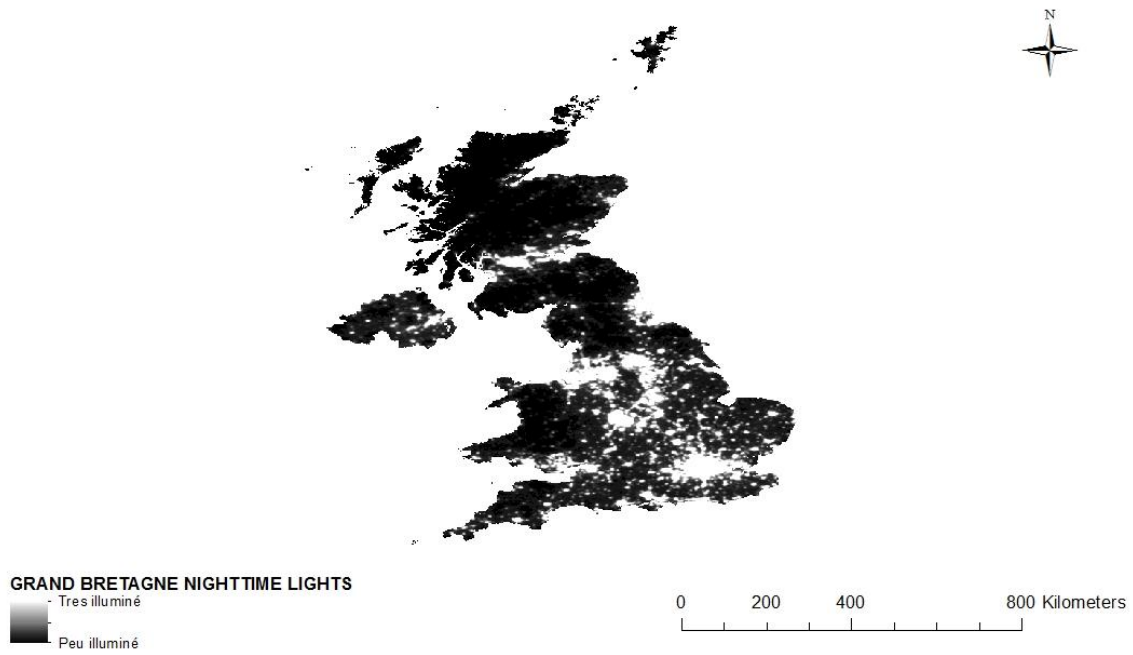


Figure 33. Carte des émissions lumineuses en Grand Bretagne pendant l'année 2012 - DMSP

EMMISSIONS LUMINEUSES EN LIECHTENSTEIN EN 2012

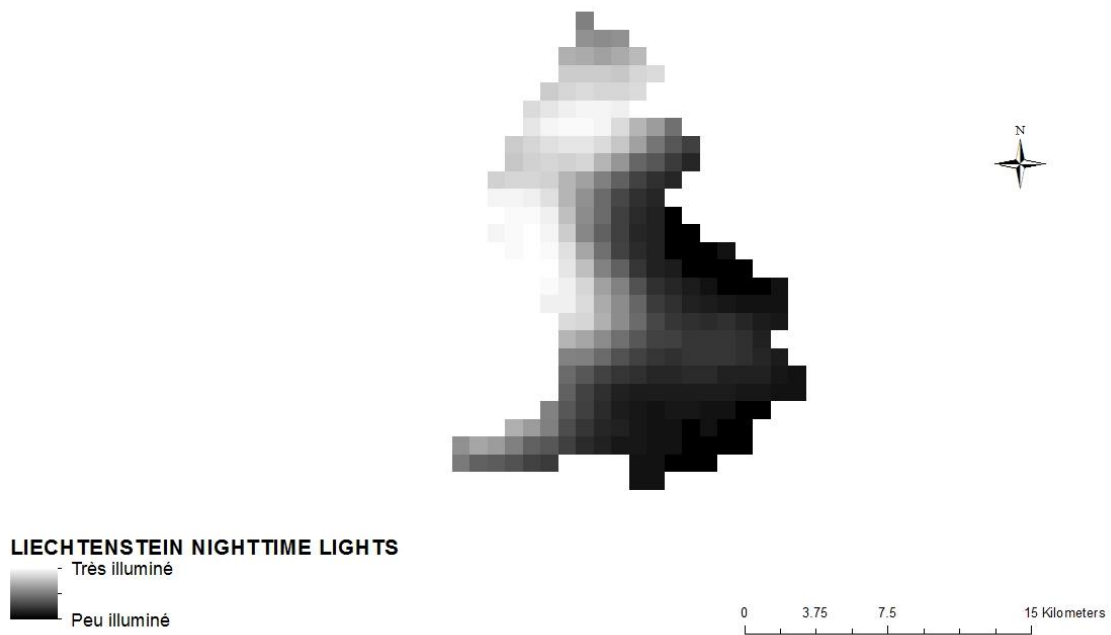


Figure 34. Carte des émissions lumineuses à Liechtenstein en 2012

Les limites des moyennes des émissions lumineuses en Amérique Latine en 2012 se trouvent entre 2 et 28. D'après ces résultats, il y en a un qui a attiré plus particulièrement l'attention. En effet, le Puerto Rico possède des moyennes très élevées. Les recherches faites lors de ce travail ont relevé que cette île est connue pour être excessivement illuminée, ainsi que pour sa grande consommation d'électricité (selon le Département de l'Énergie des États-Unis, Puerto Rico est le troisième pays plus consommateur d'énergie électrique par habitant), et ses nombreux éclairages extérieurs, souvent de mauvaise qualité. (Ramos, 2003). L'article « Manteau d'obscurité », réalisé en 2003 cité antérieurement affirme qu'en 1992 et en 2002 ils n'existaient pas de zones en obscurité absolue pendant la nuit. D'autre part, la Société d'Astronomie du Caribe conclu d'après ses recherches que la pollution lumineuse à Puerto Rico est très élevée, plus que le continent Australien, et est devenu une menace qui se propage rapidement. Aux facteurs mentionnés avant s'ajoutent l'existence de trois Bio-baies o Baies Bioluminescentes. Il s'agit des cours d'eau qui contiennent de microorganismes émettant de la lumière et qui sont détectés par les images satellites. Le gouvernement a donc créé un cadre législatif qui favorise l'établissement des politiques publiques pour contrôler et lutter contre la pollution lumineuse et ainsi diminuer les effets négatifs sur la population, la flore et la faune du pays. La figure 35 montre la carte de pollution lumineuse en Puerto Rico en 2012, les couleurs bleus sont les endroits les moins éclairés et vice-versa.

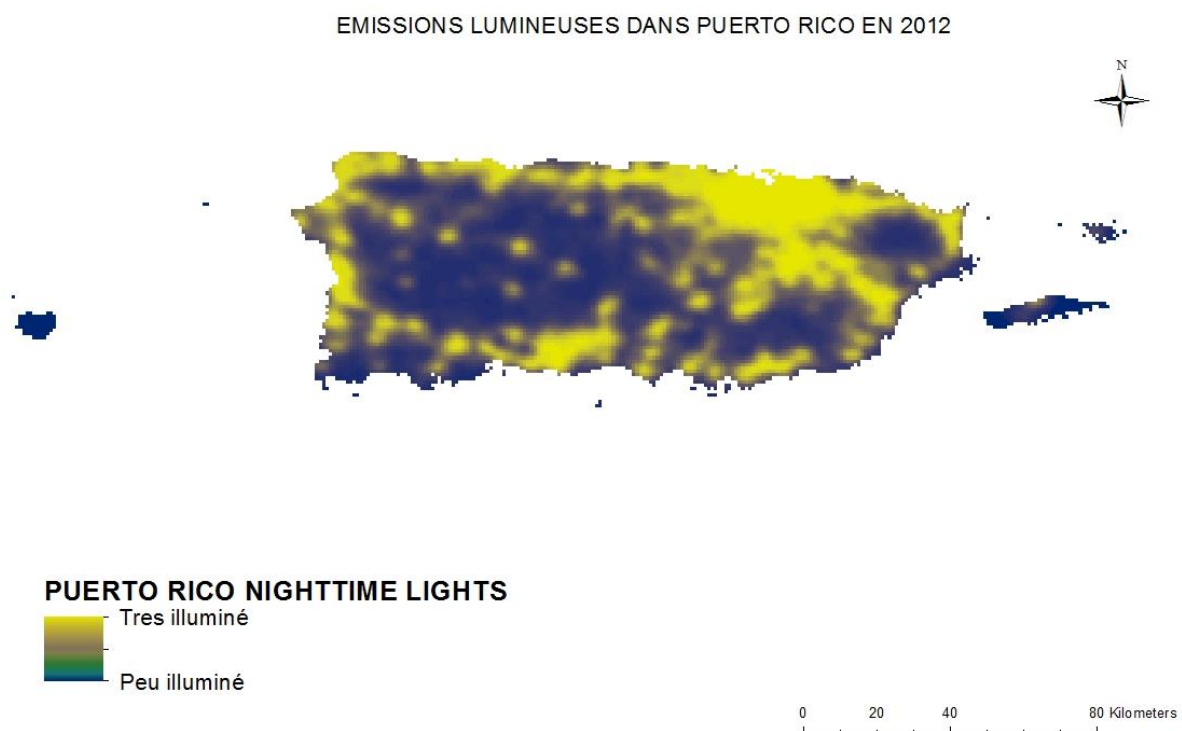


Figure 35. Emissions lumineuses à l'île de Puerto Rico l'année 2012 selon données DMSP

Les données socio-économiques ont été incluses pour montrer qu'elles peuvent avoir une influence sur la quantité des émissions lumineuses existante dans un pays. Toutefois pour étudier ce phénomène il est nécessaire de réaliser des recherches plus ponctuelles dans le domaine. Dans la bibliographie, il y a plusieurs textes qui proposent cette approche. De même

pour la calibration des données. En annexe 8 se trouve la copie du mail échangé avec le *National Center for Environmental Information NOAA*.

Les pays d'Amérique du Nord et d'Europe ont des indices très élevées des émissions lumineuses. En Amérique du Sud, il y a des niveaux de luminosité importants dans les pays à plus haut PIB en 2012, c'est-à-dire le Mexique, le Brésil et l'Argentine. Les annexes 9 et 10 montrent des tables avec les valeurs correspondant à la population et au PIB selon la base de données, il est observable une claire augmentation des variables étudiées.

Les méthodes de calibration proposées par Wu et par Elvidge ont été appliquées. Le modèle Wu permet d'obtenir de très bons résultats de corrélation, cependant le modèle choisi a été celui d'Elvidge, pour la disponibilité des données. Grâce à cette méthode il a été possible d'effectuer les analyses jusqu'à l'année 2012, tandis qu'avec le modèle Wu, cela ne serait possible que jusqu'en 2010, étant l'accès aux données restreint.

La réalisation de ce travail de recherche a engagé beaucoup d'investissement, puisque les fichiers étant assez lourds, la plupart des opérations exécutées pouvaient prendre parfois une journée entière, bien que ce soit pour les téléchargements comme pour les traitements GIS. Également, beaucoup d'essais ont été effectués avant de retrouver les procédures définitives. En effet, que les années 1992, 2006, 2013 aient été envisagées pour le traitement des données. Mais finalement et en raison de la disponibilité des données les choisies sont 1992, 2002 et 2012.

Finalement, les résultats ont permis de confirmer l'hypothèse de l'augmentation globale des émissions lumineuses au niveau global et ces émissions par leur quantité et qualité peuvent être à l'origine d'une pollution lumineuse. L'utilisation des lumières pour des questions esthétiques, de sécurité, de besoins commerciaux, industriels et domestiques s'est développée largement depuis 1992 jusqu'à présent. Et plus la population et le niveau de vie augmentent, plus les besoins en éclairage et les investissements réalisés pour garantir ces besoins sont considérables.

Selon les résultats VIIRS, les pays qui ont connu une augmentation plus remarquable l'année 2014 sont : Andorre, Belgique, Italie, Luxembourg et les Pays-Bas. En Amérique du sud nous trouvons Bolivie, Costa Rica, République Dominicaine, Mexique et Venezuela. En Amérique du Nord, c'est toujours les États-Unis qui ont une moyenne des lumières très élevée par rapport au Canada.

Les figures 36 et 37 montrent la qualité des images captées avec le système DMSP et avec VIIRS. La première suggère une saturation des lumières dans les zones urbaines comme mentionné dans la revue de la littérature contrairement à l'image VIIRS qui permet de distinguer plus clairement la distribution spatiale des lumières.



Figure 36. Printscreen Côte Est d'Amérique du Nord avec DMSP

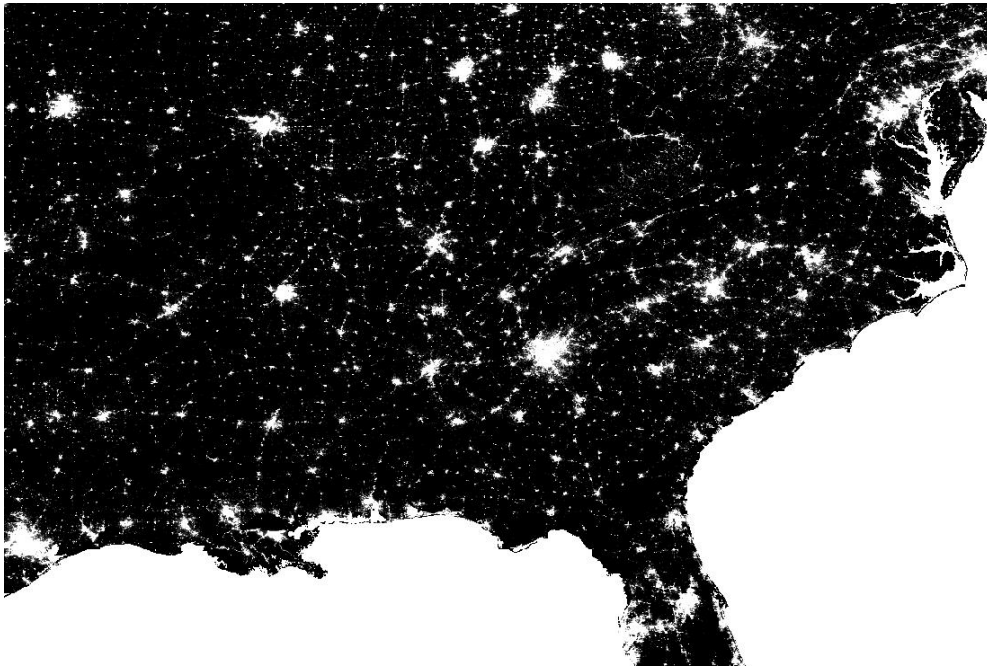


Figure 37. Printscreen des lumières Côte Est d'Amérique du Nord avec VIIRS

Pour répondre aux questions de recherche :

Question : A-t-il eu une évolution de la pollution lumineuse en Europe et en Amérique entre les années 90 et aujourd'hui?

Incontestablement, comme mentionné par le milieu scientifique, cette étude met en évidence une évolution progressive des niveaux d'éclairage artificiel en Europe et dans le Continent américain. En termes généraux, les moyennes de 2012 sont jusqu'à 10 fois supérieures à celles de 1992.

Question : Est-il possible de quantifier et qualifier cette pollution par régions et par pays ? Comment ?

Les outils de GIS permettent de quantifier les émissions lumineuses et d'obtenir des valeurs numériques et statistiques que permettant d'identifier les zones avec plus ou moins des émissions lumineuses nocturnes.

Question : Quel est le rapport entre la pollution lumineuse et la surface dans les régions étudiées?

En mettant en relation la somme total de lumières existantes dans un pays et la surface de territoire, il est possible d'identifier les proportions réelles des émissions lumineuses dans un territoire. Ce rapport lumière/surface a permis de constater par exemple, que des pays très petits pouvaient avoir des émissions lumineuses semblables à celles de pays ayant une plus grande surface.

Question : Existe-t-il une vraie corrélation entre des variables économiques comme le PIB, l'évolution de la population et la pollution lumineuse ?

Effectivement, d'après la cartographie de la distribution de la population et les PIB par pays, les pays ayant les plus hauts niveaux de revenus et de population se trouvent parmi les plus grands émetteurs d'illumination artificielle nocturne. Ainsi, les niveaux les plus élevés des émissions lumineuses se localisent en Europe et aux Etats-Unis, qui sont connu comme les endroits où la pollution lumineuse est plus représentative au monde .

## **Conclusion**

Ce travail offre la possibilité de mieux connaître ce type de pollution, que aujourd'hui semble être si importante que la pollution environnementale telle que nous la connaissons (la contamination des eaux, les émissions de gaz à effet serre, la pollution de l'air, etc.). La pollution lumineuse peut causer des dommages sévères aux humains, à la faune et la flore, et cela reste une thématique préoccupante puisque nous sommes exposés quotidiennement. De plus, ce phénomène ne cesse d'accroître au niveau global dans toute la planète.

Il existe plusieurs approches dans le but d'étudier cette thématique et la communauté scientifique s'investi dans l'amélioration des techniques de détection et dans la réalisation de recherches pour étudier et analyser la magnitude du problème, l'influence sur le plan économique et social, et les solutions efficaces pour lutter contre ses conséquences.

Ce travail confirme une progression des émissions lumineuses entre 1992 et 2014. La quantité des émissions lumineuses est liée à nos modes vie et de consommation. Les lumières artificielles de surfaces extérieurs, notamment les rues et routes ce sont celles qui contribuent plus activement aux émissions lumineuses, et la qualité et quantité de ces luminaires sont au même temps à l'origine de la Pollution Lumineuse.

L'augmentation de la population et l'augmentation de niveaux de vie génèrent automatiquement une croissance des besoins en éclairage ce qui favorise une hausse effective des émissions lumineuses.

## Bibliographie

### Livres et revues scientifiques

Baugh, K., Elvidge, C., Ghosh, T., & Ziskin, D. (2010). Development of a 2009 Stable Lights Product using DMSP-OLS data. *Proceedings Of The Asia-Pacific Advanced Network*, 30(0), 114. <http://dx.doi.org/10.7125/apan.30.17>

Chalkias, C., Petrakis, M., Psiloglou, B., & Lianou, M. (2006). Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *Journal Of Environmental Management*, 79(1), 57-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.05.015>

Challéat, Samuel (2009). La pollution lumineuse : passer de la définition d'un problème à sa prise en compte technique. Eclair la ville autrement-innovations et expérimentations en éclairage public. *Presses Polytechniques Universitaires Romandes*. 182-197.

Challéat, S. (2010). "Sauver la nuit": empreinte lumineuse, urbanisme et gouvernance des territoires. Histoire. *Université de Bourgogne*. <<NNT: 2010DIJOL016>>.

Challéat, S. (2011). La mise en débats des territoires de la lumière. Journée d'études sur les effets de la participation, atelier " Les effets sur les mobilisations collectives: la construction des territoires", Oct 2011, Paris, France. <http://participation-et-democratie.fr>. <hal-09922270>

Cinzano, P., Falchi, F., & Elvidge, C. (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 328(3), 689-707. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04882.x>

Elvidge, C., Ziskin, D., Baugh, K., Tuttle, B., Ghosh, T., & Pack, D. et al. (2009). A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data. *Energies*, 2(3), 595-622. <http://dx.doi.org/10.3390/en20300595>

Elvidge, C., Ziskin, D., Baugh, K., Tuttle, B., Ghosh, T., & Pack, D. et al. (2009). A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data. *Energies*, 2(3), 595-622. <http://dx.doi.org/10.3390/en20300595>

Elvidge, C. D., Hsu, F. C., Baugh, K. E., & Ghosh, T. (2014). National Trends in Satellite-Observed Lighting. *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*, 97-118.

Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C., Keith, D., & Haim, A. (2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal Of Environmental Management*, 92(10), 2714-2722. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>

Gallaway, T., Olsen, R., & Mitchell, D. (2010). The economics of global light pollution. *Ecological Economics*, 69(3), 658-665. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.10.003>

Haim, A., & Portnov, B. (2013). *Light pollution as a new risk factor for human breast and prostate cancers*. Dordrecht: Springer.

Han, P., Huang, J., Li, R., Wang, L., Hu, Y., Wang, J., & Huang, W. (2014). Monitoring Trends in Light Pollution in China Based on Nighttime Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 6(6), 5541-5558. <http://dx.doi.org/10.3390/rs6065541>



- Henderson, J., Storeygard, A., & Weil, D. (2012). Measuring Economic Growth from Outer Space. *American Economic Review*, 102(2), 994-1028. <http://dx.doi.org/10.1257/aer.102.2.994>
- Khorram, A., Yusefi, M., & Keykha, S. (2014). Light Pollution, a World Problem. *Health Scope*, 3(4). <http://dx.doi.org/10.17795/jhealthscope-24065>
- Lyytimäki, J. (2013). Nature's nocturnal services: Light pollution as a non-recognised challenge for ecosystem services research and management. *Ecosystem Services*, 3, e44-e48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.12.001>
- Ma, T., Zhou, C., Pei, T., Haynie, S., & Fan, J. (2014). Responses of Suomi-NPP VIIRS-derived nighttime lights to socioeconomic activity in China's cities. *Remote Sensing Letters*, 5(2), 165-174. <http://dx.doi.org/10.1080/2150704x.2014.890758>
- Mellander C, Lobo J, Stolarick K, Matheson Z (2015) Night-Time Light Data: A Good Proxy Measure for Economic Activity? *PLoS ONE* 10(10): e0139779. doi:10.1371/journal.pone.0139779
- Ramos G, Olga M.. METODOLOGÍA, F. D. D. Y. (2003). *Manto de oscuridad nocturna: patrimonio natural olvidado. CIENTÍFICA*, 17(1-3), 3-9.
- Small, C., & Elvidge, C. (2011). Mapping Decadal Change in Anthropogenic Night Light. *Procedia Environmental Sciences*, 7, 353-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.07.061>
- Shi, K., Yu, B., Huang, Y., Hu, Y., Yin, B., & Chen, Z. et al. (2014). Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data. *Remote Sensing*, 6(2), 1705-1724. <http://dx.doi.org/10.3390/rs6021705>
- Véron, J. (2007). La moitié de la population mondiale vit en ville. *Population & Sociétés*, 435, 1-4.
- Waide, P., & Tanishima, S. (2006). Light's Labour's Lost: Policies for Energy-efficient Lighting. *OECD Publishing*. 240
- Wu, B., & Wong, H. (2012). Visualization and analysis of light pollution: a case study in hong kong. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 1-2, 171-176. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-i-2-171-2012>
- Wu, J., He, S., Peng, J., Li, W., & Zhong, X. (2013). Intercalibration of DMSP-OLS nighttime light data by the invariant region method. *International Journal Of Remote Sensing*, 34(20), 7356-7368. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.820365>
- Zhao, N., Zhou, Y., & Samson, E. (2015). Correcting Incompatible DN Values and Geometric Errors in Nighttime Lights Time-Series Images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 53(4), 2039-2049. <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2014.2352598>

## Sites web

Interanational Dark-sky Association, (2016). *Light Pollution*. Consultée le 15 octobre 2015. <<http://darksky.org/light-pollution/>>



Urban Hub, (2016). *Un guide pour l'éclairage intelligent des villes*. Consultée le 16 Octobre 2015. < <http://www.urban-hub.com/fr/ideas/un-guide-pour-leclairage-intelligent-des-villes>>

Nakayama, Y. (2015). *Intercomparison of VIIRS and DMSP for Urban Areas* (1st ed.).

Fukuoka, Japan: Nihon Consulté le 15 octobre 2015,

<://apan.net/meetings/Fukuoka2015/Sessions/1/VIIRSworkshop1503\_Y\_Nakayama.pdf>

Tallec, T., & Tallec, T. (2014). *[Dossier] La pollution lumineuse - Page 2 de 8 - Web Développement Durable. Web Développement Durable*. Consulté le 7 janvier 2016.

< <http://www.webdeveloppementdurable.com/dossier-la-pollution-lumineuse/2/>>

Tuttle, B. *NOAA/NGDC - Earth Observation Group - Defense Meteorological Satellite Program, Boulder. Ngdc.noaa.gov*. Consulté le 20 octobre 2015. < <http://ngdc.noaa.gov/eog/>>

Bluemarblegeo.com.,. (2015). *Blue Marble Geographics for Coordinate Conversion, Image Reprojection and Vector Translation*. Consulté le 2 Novembre 2015.

< <http://www.bluemarblegeo.com.>>

Hijmans, R. (2016). *Global Administrative Areas | Boundaries without limits. Gadm.org*. Consulté le 2 novembre 2016. < <http://www.gadm.org/>>

NGDC NOAA,. *Global Gas Flaring Shapefiles..* Consulté le 20 Octobre 2015  
<[http://ngdc.noaa.gov/eog/interest/gas\\_flares\\_countries\\_shapefiles.html](http://ngdc.noaa.gov/eog/interest/gas_flares_countries_shapefiles.html)>

Data.worldbank.org,. *Data | The World Bank*. Consulté le 1 December 2015.

< <http://data.worldbank.org/>>

Grass.osgeo.org,. (2016). *GRASS GIS manual: g.region*. Consulté le 1 December 2015.

< <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/g.region.html>>

Fr.wikipedia.org,. (2007). *Géographie du Canada*. Consulté le 5 January 2016.

<[https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie\\_du\\_Canada#cite](https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_du_Canada#cite)>

D. Elvidge, C., Baugh, K., Hsu, F., & Zhizhin, M. (2013). *Nighttime VIIRS data and applications. Nies.go.jp*. Consulté le 6 January 2016.

< [http://www.nies.go.jp/chiiki/tsukuba\\_workshop\\_files/2nd\\_06272013/307\\_elvidge.pdf](http://www.nies.go.jp/chiiki/tsukuba_workshop_files/2nd_06272013/307_elvidge.pdf)>

Satellite Data Estimation of Gas Flaring Volumes. Consulté le 7 janvier 2016

<[http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs\\_meetings/ngdc\\_prstn\\_07122012.pdf](http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs_meetings/ngdc_prstn_07122012.pdf)>

Elvidge, C., Baugh, K., Zhizhin, M., & Hsu, F. (2012). *Satellite Data Estimation of Gas Flaring Volumes. NGDC*. Consulté le 7 January 2016.

< [http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs\\_meetings/ngdc\\_prstn\\_07122012.pdf](http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs_meetings/ngdc_prstn_07122012.pdf)>

## Photos

*Eclairage public. Direction générale de la mobilité et des routes DGMR. Canton de Vaud.*

<<http://www.vd.ch/themes/mobilite/routes/environnement/eclairage-public/>>

Eclairage nocturne à Neuchâtel.

L'éclairage nocturne des villes livrera ses secrets (2012).

<<http://www.arcinfo.ch/articles/regions/canton/l-eclairage-nocturne-des-villes-livrera-ses-secrets-233192>>

*Eclairage nocturne à Paris.* (2013).

<[http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/01/30/un-arrete-restreint-l-eclairage-des-vitrines-et-des-bureaux-la-nuit\\_1824646\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/01/30/un-arrete-restreint-l-eclairage-des-vitrines-et-des-bureaux-la-nuit_1824646_3244.html)>

Eclairage nocturne de la ville de Grenoble (2013).

<<http://www.actu-environnement.com/ae/news/eclairage-public-reduire-couts-impacts-pollution-lumineuse-nuit-sobriete-24908.php4>>

Eclairage nocturne à New York (2012).

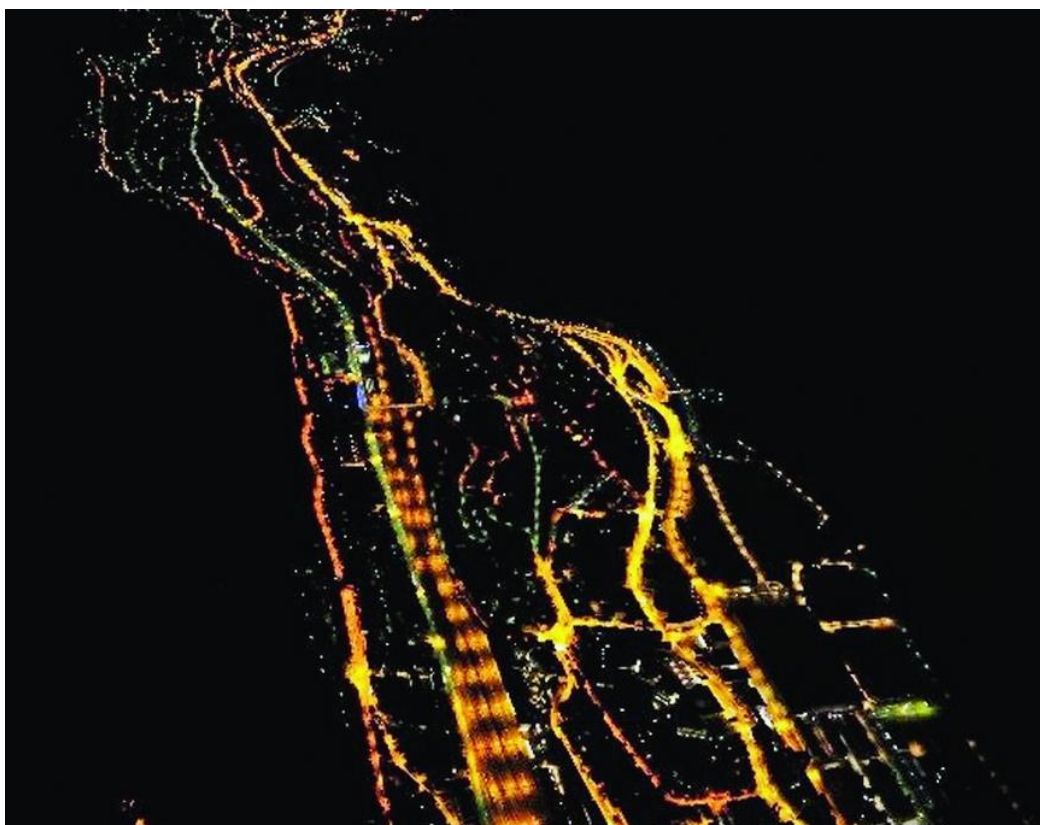
<<http://petitesbullesdailleurs.fr/2012/06/06/new-york-top-of-the-rock-rockefeller-empire-state-building/>>

## ANNEXE 1. Photos illustrant l'éclairage nocturne



### Lausanne

Source : [http://www.vd.ch/uploads/RTEmagicC\\_Eclairage\\_public\\_Lausanne\\_01.jpg](http://www.vd.ch/uploads/RTEmagicC_Eclairage_public_Lausanne_01.jpg).



### Neuchâtel durant la nuit

Source : [http://web4.cdnarcinfo.ch/media/image/6/normal\\_16\\_9/asset-version-f512b13e9a-data\\_art\\_6334453.jpg](http://web4.cdnarcinfo.ch/media/image/6/normal_16_9/asset-version-f512b13e9a-data_art_6334453.jpg)



**Monument parisien (2012)**

Source : [http://s1.lemde.fr/image/2012/01/01/534x267/1624610\\_3\\_ab31\\_les-champs-elysees-le-1er-janvier-2012\\_008dbb78a351af51f6e43b285685bf6d.jpg](http://s1.lemde.fr/image/2012/01/01/534x267/1624610_3_ab31_les-champs-elysees-le-1er-janvier-2012_008dbb78a351af51f6e43b285685bf6d.jpg)



**Manhattan la nuit (2012)**

Source: <http://i0.wp.com/petitesbullesdailleurs.fr/petitesbullesdailleurs/wp-content/uploads/2012/06/nyc-017.jpg?resize=588%2C328>

## ANNEXE 2. Méthodologie

### METHODOLOGIE ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE EN EUROPE ET LE CONTINENT AMERICAIN

Première étape : Téléchargement

#### TELECHARGEMENT DES DONNEES



World boundaries  
<http://www.bluemarblegeo.com>



Country boundaries  
<http://www.gadm.org/>

PIB EN MILLIARDS DE DOLLARS  
POPULATION TOTAL PAR PAYS  
1992 2002 2012

World Bank  
<http://donnees.banquemondiale.org/>



Gas flares  
<http://nedc.noaa.gov/eo2/interesting/flares/countries.shpofiles.html>

#### PROCEDURE DE TELECHARGEMENT DES DONNES DMSP

Global DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series 1992 - 2013 (Version 4)

Average Visible, Stable Lights, & Cloud Free Coverages

F101992

F142002

F152002

F152006

F162006

F182012

F182013

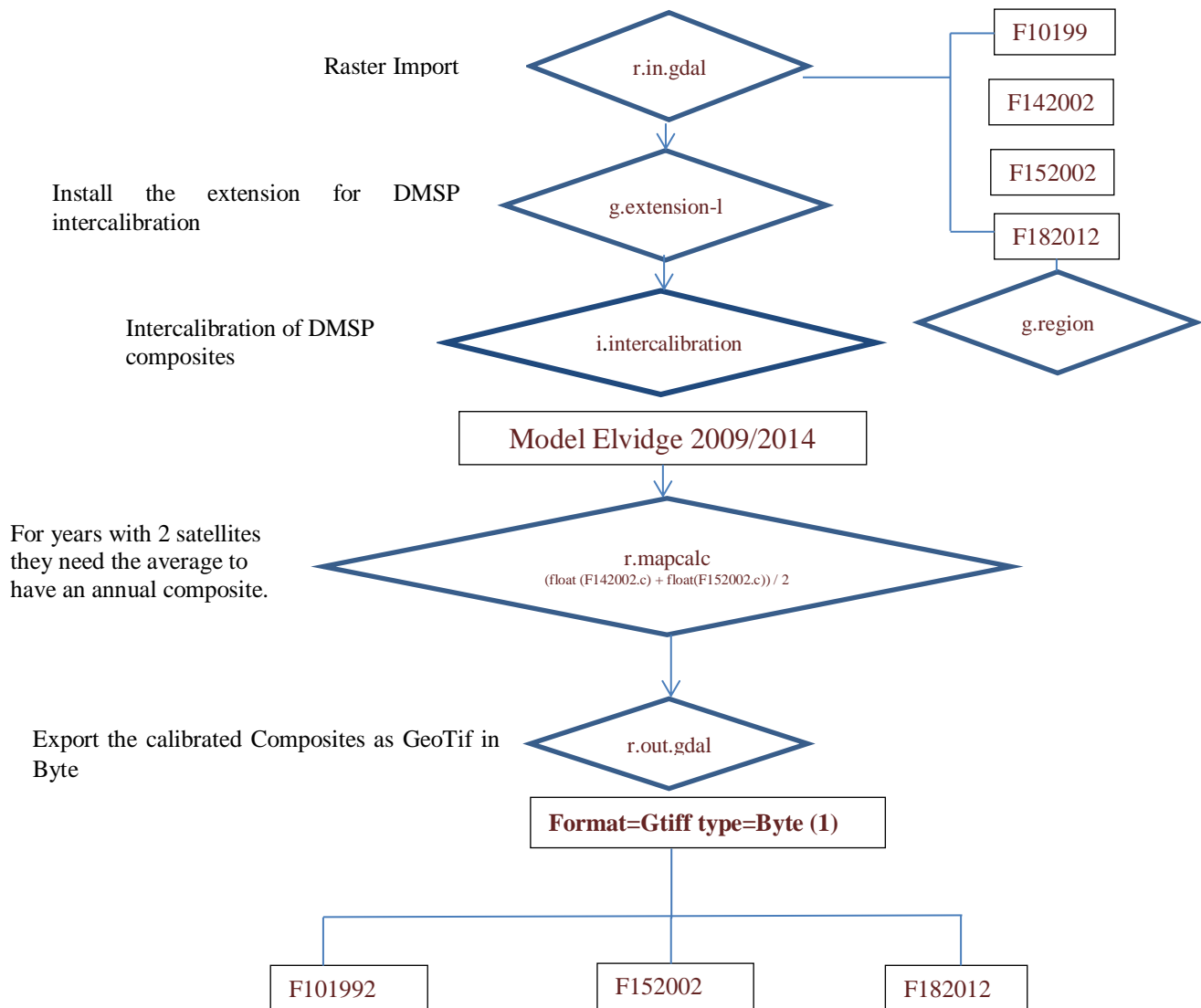
Année

Nom de satellite

F162006.v4b\_web.stable\_lights.avg\_vis \*

\* Cette couche raster a été utilisée pour chaque année choisie F101992 à F182013.

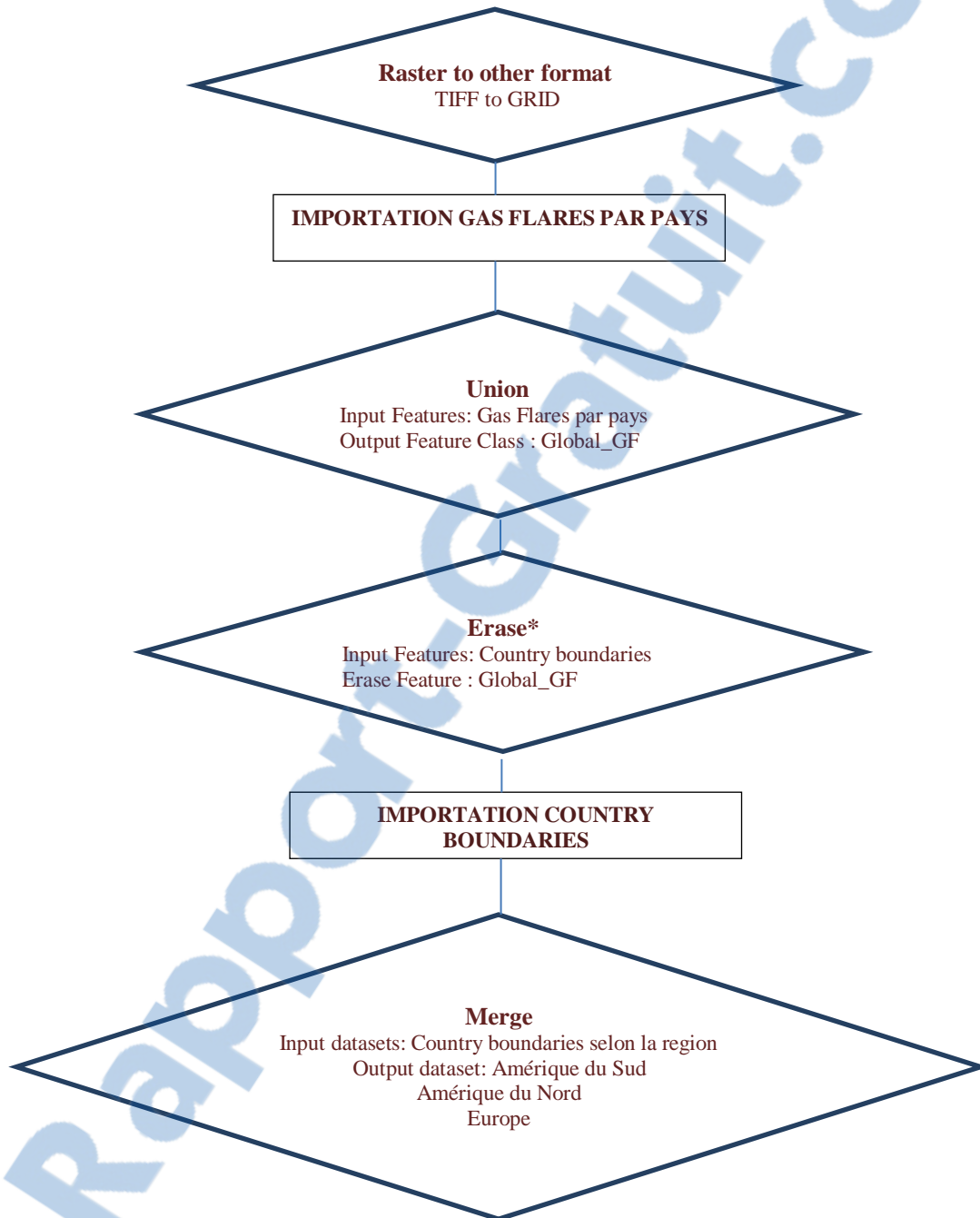
## Deuxième étape : TRAITEMENT DES DONNEES EN GRASS GIS



Ranges of GDAL data types		
GDAL data type	minimum	maximum
Byte	0	255
UInt16	0	65,535
Int16, CInt16	-32,768	32,767
UInt32	0	4,294,967,295
Int32, CInt32	-2,147,483,648	2,147,483,647
Float32, CFloat32	-3.4E38	3.4E38
Float64, CFloat64	-1.79E308	1.79E308

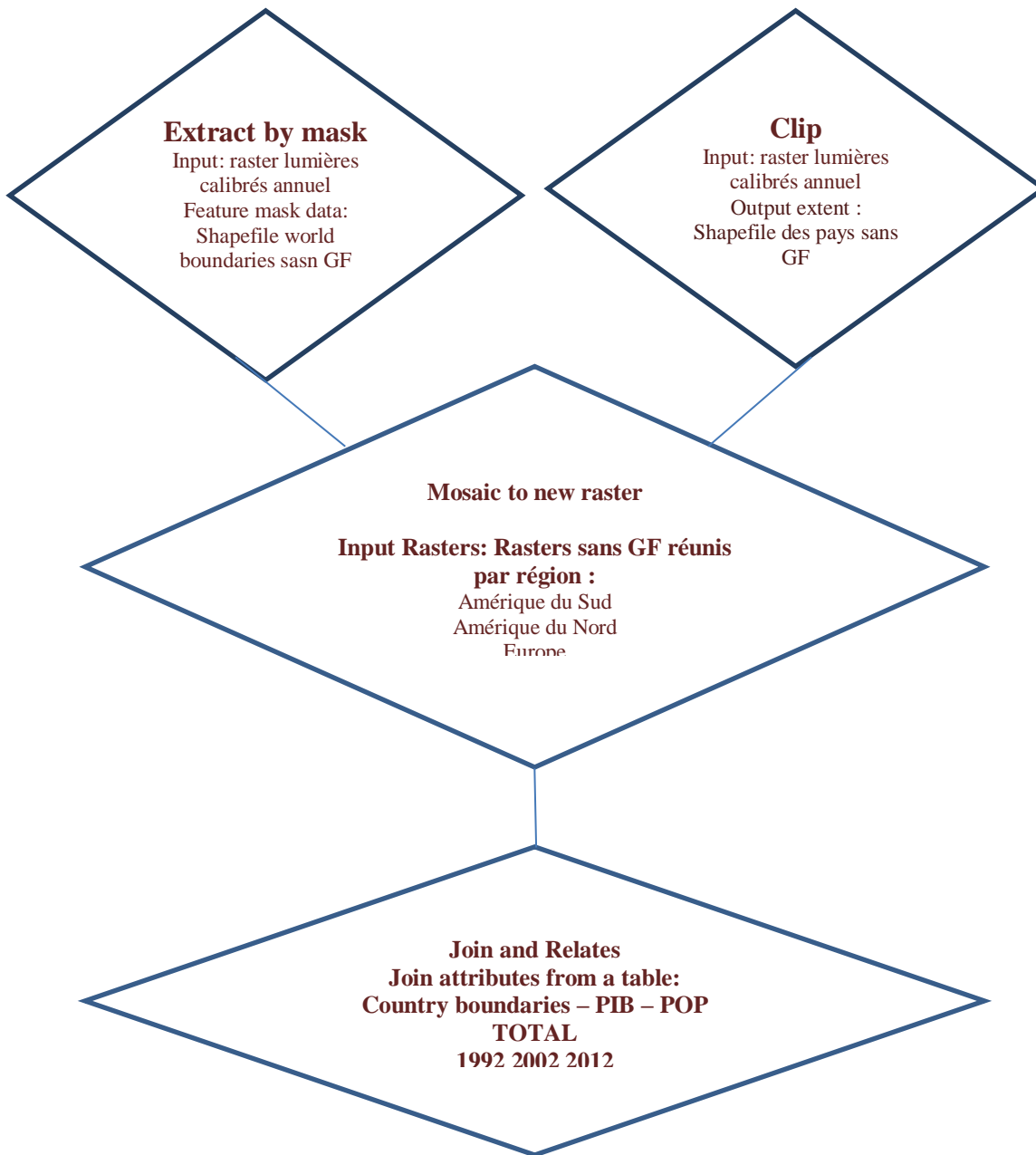
(1) Le script **format=Gtiff type=Byte** après r.out.gdal nous permet d'exporter les rasters en changeant du type float 64 à byte

### Troisième étape : TRAITEMENT DES DONNEES EN ARCGIS



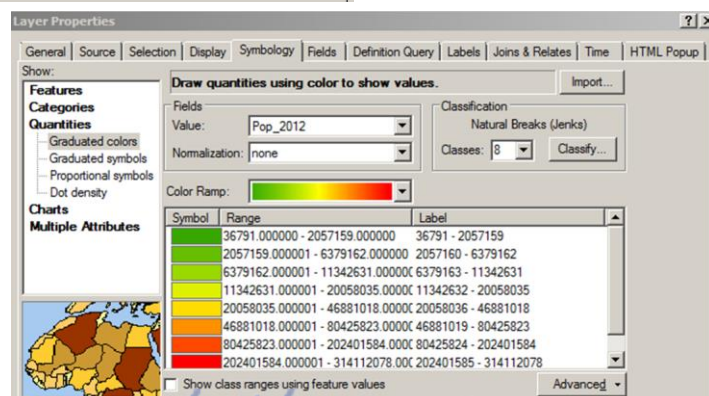
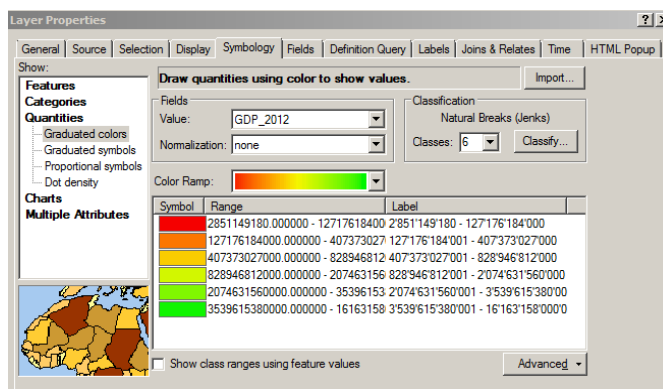
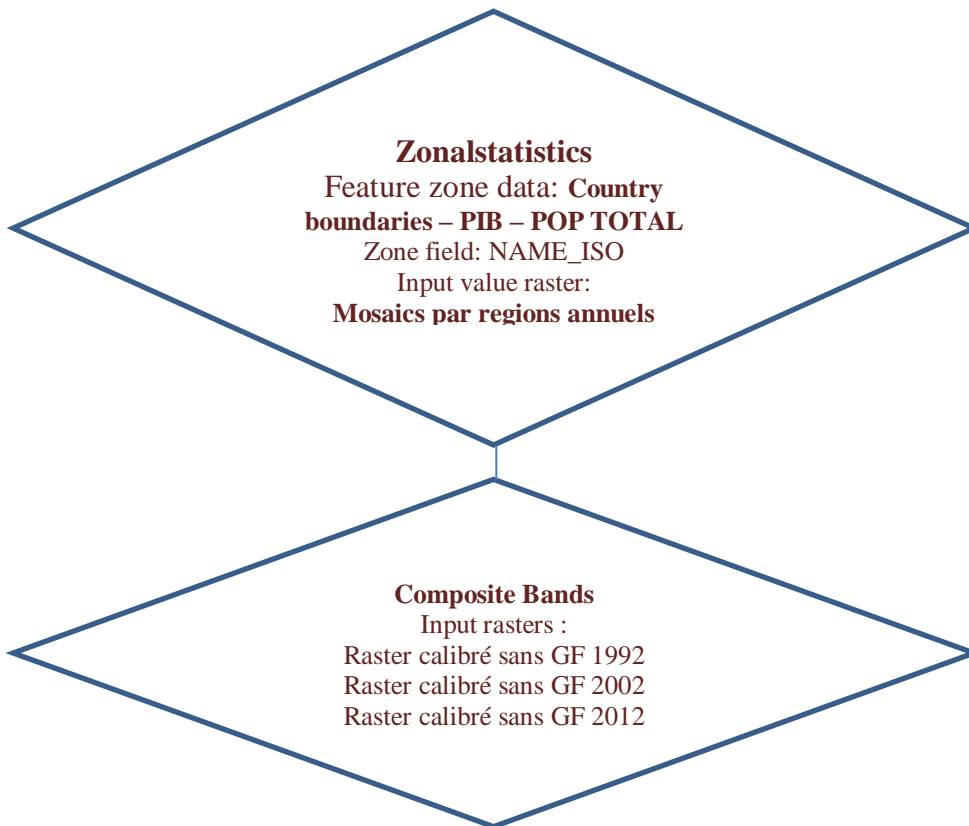
Nous avons effectué l'erase à partir de la couche world boundaries et aussi pour chaque pays individuellement pour enlever les lumières présentes sur la mer et à l'extérieur des pays provenant des Gas Flares

## Troisième étape : TRAITEMENT DES DONNEES EN ARCGIS





## Troisième étape : TRAITEMENT DES DONNEES EN ARCGIS



## Quatrième étape : TRAITEMENT DES DONNES EN EXCEL

ROWID	NAME_ISO	ZONE-CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
-------	----------	-----------	-------	------	-----	-----	-------	------	-----	-----	---------	----------	----------	--------

PAYS	SURFACE 1992	SURFACE 2002	SURFACE 2012	SUM1992/ SURFACE 1992	SUM2002/ SURFACE 2002	SUM2012/ SURFACE 2012
------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

COUNTRY CODE	POP_1992	POP_2002	POP_2012
-----------------	----------	----------	----------

COUNTRY CODE	GDP_1992	GDP_2002	GDP_2012
-----------------	----------	----------	----------

### ANNEXE 3. Tableau résultats des statistiques zonales 1992

STATISTIQUES ZONALES 1992												
NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
ANDORRA	711	0.05	0	62	62	18.97	16.67	13490	52	7	48	12
ARGENTINA	3834627	266.29	0	62	62	0.39	3.59	1492026	53	0	3	0
AUSTRIA	144417	10.03	0	62	62	5.90	9.52	852309	53	0	3	0
BELGIUM	55593	3.86	0	62	62	30.67	17.87	1705291	52	7	4	30
BOLIVIA	1313829	91.24	0	62	62	0.09	1.63	121431	53	0	57	0
BRAZIL	10065993	699.03	0	62	62	0.51	3.76	5109455	54	0	1	0
BULGARIA	174688	12.13	0	62	62	3.02	6.50	527904	53	0	3	0
CANADA	21056923	1462.29	0	62	62	0.75	4.53	15866480	52	0	4	0
CHILE	1000275	69.46	0	62	62	0.33	3.43	329800	53	0	3	0
COLOMBIA	1310333	91.00	0	62	62	0.64	4.10	842953	53	0	3	0
COSTA RICA	57973	4.03	0	62	62	1.88	7.63	108811	53	0	3	0
CROATIA	85430	5.93	0	61	61	2.23	6.27	190890	51	0	48	0
CUBA	125395	8.71	0	62	62	0.86	4.11	108108	53	0	49	0
CZECH REPUBLIC	141506	9.83	0	62	62	11.66	10.97	1650650	53	0	3	9
DENMARK	77837	5.41	0	62	62	10.67	13.05	830438	51	0	57	9
DOMINICAN REPUBLIC	57639	4.00	0	62	62	1.98	7.19	113882	53	0	55	0
ECUADOR	262841	18.25	0	62	62	0.99	4.88	260064	52	0	51	0
EL SALVADOR	23961	1.66	0	62	62	3.17	8.52	75963	53	0	3	0
FRANCE	914116	63.48	0	62	62	8.23	12.57	7523757	53	0	3	6
FRENCH GUIANA	89992	6.25	0	42	42	0.02	0.58	1678	24	0	18	0
GERMANY	652389	45.30	0	62	62	12.65	13.48	8255940	53	0	3	9
GUATEMALA	131744	9.15	0	62	62	0.79	4.38	103909	53	0	51	0
GUYANA	238000	16.53	0	39	39	0.02	0.49	3898	28	0	25	0

NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
HONDURAS	132747	9.22	0	62	62	0.47	3.56	62381	53	0	3	0
HUNGARY	158958	11.04	0	62	62	4.31	8.57	684719	52	0	4	0
IRELAND	129298	8.98	0	62	62	5.00	9.00	646518	51	0	51	0
ITALY	450188	31.26	0	62	62	14.00	15.40	6303544	52	0	55	10
LIECHTENSTEIN	275	0.02	0	45	45	15.28	13.54	4201	30	0	36	14
LITHUANIA	132245	9.18	0	59	59	1.97	6.41	260547	49	0	4	0
LUXEMBOURG	4637	0.32	0	62	62	21.17	14.79	98183	51	9	53	14
MEXICO	2478499	172.12	0	62	62	1.65	6.54	4077482	53	0	55	0
NETHERLANDS	59609	4.14	0	62	62	27.10	16.46	1615553	51	12	6	22
NICARAGUA	148595	10.32	0	62	62	0.31	2.84	45617	52	0	53	0
NORWAY	812233	56.41	0	62	62	2.33	8.10	1891831	52	0	4	0
PANAMA	80998	5.62	0	62	62	0.53	3.88	42912	52	0	53	0
PARAGUAY	508007	35.28	0	62	62	0.21	2.58	108887	52	0	62	0
PERU	1509191	104.80	0	62	62	0.18	2.22	270542	53	0	52	0
POLAND	584873	40.62	0	62	62	5.15	9.64	3010465	53	0	3	0
PORTUGAL	133224	9.25	0	62	62	5.57	9.72	742134	53	0	3	0
PUERTO RICO	10182	0.71	0	62	62	31.45	17.79	320225	52	62	4	29
ROMANIA	395360	27.46	0	62	62	1.52	5.02	601734	52	0	57	0
SLOVAKIA	86368	6.00	0	62	62	10.22	11.17	882805	51	0	61	9
SLOVENIA	33484	2.33	0	61	61	5.00	8.40	167539	50	0	61	0
SPAIN	753650	52.34	0	62	62	5.53	11.08	4167770	53	0	3	0
SURINAME	163213	11.33	0	54	54	0.04	0.82	5923	38	0	27	0
SWEDEN	1119623	77.75	0	62	62	3.91	9.65	4380351	51	0	6	0
SWITZERLAND	69971	4.86	0	62	62	10.92	14.40	763878	52	0	4	0
UNITED KINGDOM	466323	32.38	0	62	62	15.49	18.10	7221710	52	0	4	10
UNITED STATES	15667922	1088.05	0	62	62	4.32	11.16	67742640	54	0	1	0
URUGUAY	235065	16.32	0	62	62	0.24	2.57	56409	51	0	62	0
VENEZUELA	1026902	71.31	0	62	62	1.08	5.63	1113561	53	0	3	0

#### ANNEXE 4. Tableau résultats des statistiques zonales 2002

STATISTIQUES ZONALES 2002												
NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
ANDORRA	711	0.049375	1	61	60	24.07736	17.85954	17119	55	7	61	18
ARGENTINA	3834627	266.2935	1	62	61	1.616324	4.047482	6197998	58	1	3	1
AUSTRIA	144417	10.02896	1	62	61	9.053595	9.819693	1307493	58	1	3	7
BELGIUM	55593	3.860625	1	62	61	31.50746	16.50019	1751594	57	34	5	30
BOLIVIA	1313829	91.23812	1	62	61	1.143876	1.924457	1502857	57	1	47	1
BRAZIL	10065993	699.0273	1	62	61	1.673965	4.017056	16850120	58	1	3	1
BULGARIA	174688	12.13111	1	62	61	5.199504	6.110542	908291	57	1	55	6
CANADA	21056923	1462.286	1	62	61	1.587434	3.911855	33426470	57	1	5	1
CHILE	1000275	69.46354	1	62	61	1.660601	4.215364	1661058	58	1	3	1
COLOMBIA	1310333	90.99535	1	62	61	1.917039	4.350966	2511959	57	1	53	1
COSTA RICA	57973	4.025903	1	62	61	4.874442	7.816215	282586	58	1	3	1
CROATIA	85430	5.932639	1	62	61	6.827496	8.295412	583273	57	1	62	6
CUBA	125395	8.707986	1	62	61	2.639491	5.216193	330979	58	1	3	1
CZECH REPUBLIC	141506	9.826805	1	62	61	15.90534	11.7084	2250701	57	8	5	11
DENMARK	77837	5.405347	1	61	60	7.339864	10.2259	571313	55	1	61	1
DOMINICAN REPUBLIC	57639	4.002708	1	62	61	4.818578	8.823501	277738	58	1	44	1
ECUADOR	262841	18.25285	1	62	61	2.743978	5.620027	721230	57	1	47	1
EL SALVADOR	23961	1.663958	1	62	61	6.700806	9.378269	160558	58	1	3	5
FRANCE	914116	63.48028	1	62	61	10.54714	11.94954	9641313	58	1	3	7
GERMANY	652389	45.30479	1	62	61	14.7887	12.86301	9647988	57	1	5	10
GUATEMALA	131744	9.148889	1	62	61	2.884572	5.472428	380025	58	1	54	1

NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
GUYANA	238000	16.52778	1	46	45	1.02713	0.590534	244457	34	1	31	1
FRENCH GUIANA	89992	6.249444	1	47	46	1.028514	0.6764	92558	34	1	17	1
HONDURAS	132747	9.218541	1	62	61	2.13421	4.548775	283310	58	1	3	1
HUNGARY	158958	11.03875	1	62	61	7.055845	9.381945	1121583	57	1	59	6
IRELAND	129298	8.979028	1	62	61	6.932157	8.735899	896314	56	1	51	7
ITALY	450188	31.26306	1	62	61	16.56596	16.08834	7457795	58	1	3	10
LIECHTENSTEIN	275	0.019097	1	52	51	22.10546	15.47784	6079	45	1	51	19
LITHUANIA	132245	9.183681	1	62	61	3.995894	8.075532	528437	57	1	5	1
LUXEMBOURG	4637	0.322014	7	62	55	28.29567	14.56916	131207	54	18	7	23
MEXICO	2478499	172.118	1	62	61	3.158522	6.786366	7828393	58	1	51	1
NETHERLANDS	59609	4.139514	1	62	61	26.42049	16.78199	1574899	57	9	5	21
NICARAGUA	148595	10.3191	1	62	61	1.583088	3.378032	235239	58	1	45	1
NORWAY	812233	56.40507	1	46	45	1.008669	0.415698	819274	36	1	26	1
PANAMA	80998	5.624861	1	62	61	2.106422	4.597475	170616	58	1	3	1
PARAGUAY	508007	35.27826	1	62	61	1.367826	3.140449	694865	57	1	62	1
PERU	1509191	104.8049	1	62	61	1.309722	2.6589	1976620	58	1	3	1
POLAND	584873	40.61618	1	62	61	11.64571	10.82273	6811260	57	1	5	9
PORTUGAL	133224	9.251667	1	62	61	9.959332	12.72453	1326822	58	1	3	6
PUERTO RICO	10182	0.707083	1	62	61	33.32931	18.6801	339359	58	62	3	32
ROMANIA	395360	27.45555	1	62	61	5.442804	6.866646	2151867	57	1	62	1
SLOVAKIA	86368	5.997778	1	62	61	11.57694	10.84815	999877	57	1	5	9
SLOVENIA	33484	2.325278	1	62	61	8.791393	9.09807	294371	57	1	57	7
SPAIN	753650	52.3368	1	62	61	7.715538	11.78987	5814815	58	1	3	5

NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
SURINAME	163213	11.33424	1	56	55	1.065313	0.920114	173873	45	1	27	1
SWEDEN	1119623	77.75159	1	62	61	1.922796	4.730918	2152807	56	1	6	1
SWITZERLAND	69971	4.859097	1	62	61	12.96792	13.47623	907378	57	1	5	9
UNITED KINGDOM	466323	32.38354	1	62	61	13.20649	16.00925	6158491	57	1	5	8
UNITED STATES	15667922	1088.05	1	62	61	5.165817	10.63792	80937620	58	1	3	1
URUGUAY	235065	16.32396	1	61	60	1.497386	3.119913	351983	56	1	61	1
VENEZUELA	1026902	71.31264	1	62	61	2.325136	5.705922	2387687	57	1	47	1

## ANNEXE 5. Tableau résultats des statistiques zonales 2012

NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
ANDORRA	711	0.05	2	62	60	20.77	17.73	14770	55	2	52	15
ARGENTINA	3834627	266.29	2	62	60	2.77	4.59	10607260	56	2	49	2
AUSTRIA	144417	10.03	2	62	60	9.92	10.38	1432434	56	2	4	7
BELGIUM	55593	3.86	2	62	60	28.95	17.86	1609500	55	9	2	25
BOLIVIA	1313829	91.24	2	62	60	2.19	2.35	2879924	56	2	4	2
BRAZIL	10065993	699.03	2	62	60	2.89	4.78	29138190	56	2	4	2
BULGARIA	174688	12.13	2	62	60	5.37	6.48	937984	56	2	54	2
CANADA	21056923	1462.29	2	62	60	2.44	3.16	51476960	56	2	4	2
CHILE	1000275	69.46	2	62	60	2.79	4.64	2788334	56	2	48	2
COLOMBIA	1310333	91.00	2	62	60	2.91	4.39	3817890	56	2	4	2
COSTA RICA	57973	4.03	2	62	60	5.75	7.81	333118	56	2	54	5
CROATIA	85430	5.93	2	62	60	9.78	10.79	835345	55	2	49	7
CUBA	125395	8.71	2	62	60	4.06	5.58	508939	56	2	48	2
CZECH REPUBLIC	141506	9.83	2	62	60	13.22	10.85	1871078	55	6	5	9
DENMARK	77837	5.41	2	62	60	11.03	10.70	858381	55	6	52	8
DOMINICAN REPUBLIC	57639	4.00	2	62	60	5.29	8.12	305079	56	2	44	2
ECUADOR	262841	18.25	2	62	60	4.25	6.84	1116417	56	2	4	2
EL SALVADOR	23961	1.66	2	62	60	6.48	8.41	155254	56	2	4	5
FRANCE	914116	63.48	2	62	60	10.63	11.88	9718876	56	2	4	7
FRENCH GUIANA	89992	6.25	2	55	53	2.03	0.79	182642	42	2	17	2
GERMANY	652389	45.30	2	62	60	13.57	12.55	8850734	55	6	5	9
GUATEMALA	131744	9.15	2	62	60	3.89	5.60	513088	56	2	55	2
GUYANA	238000	16.53	2	43	41	2.02	0.42	480222	30	2	21	2
HONDURAS	132747	9.22	2	62	60	3.34	5.05	443972	56	2	48	2
HUNGARY	158958	11.04	2	62	60	7.20	9.71	1144315	55	2	5	2
IRELAND	129298	8.98	2	62	60	7.81	8.64	1010031	55	6	52	6
ITALY	450188	31.26	2	62	60	17.79	16.78	8009929	56	2	4	11



NAME_ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
LIECHTENSTEIN	275	0.02	2	54	52	24.61	17.48	6767	48	2	18	20
LITHUANIA	132245	9.18	2	62	60	5.29	7.54	699525	55	2	51	2
LUXEMBOURG	4637	0.32	6	62	56	22.14	14.26	102652	53	12	6	16
MEXICO	2478499	172.12	2	62	60	4.08	7.05	10118890	56	2	46	2
NETHERLANDS	59609	4.14	2	62	60	25.70	17.80	1531995	55	9	2	19
NICARAGUA	148595	10.32	2	62	60	2.56	3.45	380567	56	2	44	2
NORWAY	812233	56.41	2	62	60	4.99	8.29	4056755	55	2	5	2
PANAMA	80998	5.62	2	62	60	3.26	5.24	264148	56	2	41	2
PARAGUAY	508007	35.28	2	62	60	2.57	3.91	1307569	56	2	4	2
PERU	1509191	104.80	2	62	60	2.42	3.20	3648929	56	2	4	2
POLAND	584873	40.62	2	62	60	12.58	11.20	7359800	56	9	4	9
PORTUGAL	133224	9.25	2	62	60	12.02	14.18	1600915	56	2	4	6
PUERTO RICO	10182	0.71	2	62	60	28.74	18.84	292583	56	9	4	23
ROMANIA	395360	27.46	2	62	60	6.17	7.44	2437573	56	2	4	5
SLOVAKIA	86368	6.00	2	62	60	8.48	9.41	732184	55	2	5	7
SLOVENIA	33484	2.33	2	62	60	9.55	9.62	319646	55	2	49	7
SPAIN	753650	52.34	2	62	60	8.40	12.03	6333558	56	2	49	5
SURINAME	163213	11.33	2	55	53	2.09	1.04	340442	47	2	31	2
SWEDEN	1119623	77.75	2	62	60	5.35	8.24	5991021	56	2	4	2
SWITZERLAND	69971	4.86	2	62	60	14.65	14.60	1025234	56	2	4	9
UNITED KINGDOM	466323	32.38	2	62	60	13.11	15.98	6111506	55	2	45	7
UNITED STATES	15667922	1088.05	2	62	60	5.44	9.88	85156830	56	2	45	2
URUGUAY	235065	16.32	2	62	60	2.57	3.49	604852	56	2	62	2
VENEZUELA	1026902	71.31	2	62	60	3.40	5.88	3486648	56	2	4	2

## ANNEXE 6. Tableau résultats des statistiques zonales 2014

NAME ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
EUROPE												
ANDORRA	2733	0.047448	0	83	83	1.69	6.285539	4622	50	0	23	0
AUSTRIA	575555	9.992274	0	142	142	0.25	1.729053	143385	86	0	50	0
BELGIUM	212254	3.684965	0	161	161	2.09	5.235469	443091	123	0	74	0
BULGARIA	671064	11.65042	0	121	121	0.17	1.507167	114332	76	0	49	0
CROATIA	346512	6.015833	0	100	100	0.49	2.970315	171258	91	0	78	0
CZECH REPUBLIC	571749	9.926198	0	72	72	0.45	2.257808	257340	68	0	51	0
DENMARK	340490	5.911285	0	148	148	0.25	1.994075	85335	96	0	35	0
FRANCE	4095696	71.10583	0	185	185	0.58	3.220079	2363415	153	0	97	0
GERMANY	2613374	45.37108	0	160	160	0.40	2.065111	1042151	121	0	94	0
HUNGARY	634718	11.01941	0	115	115	0.29	1.910751	186996	74	0	55	0
IRELAND	541367	9.398733	0	97	97	0.24	1.843313	131085	82	0	49	0
ITALY	1834883	31.85561	0	174	174	1.60	5.40955	2932245	159	0	122	0
LIECHTENSTEIN	1105	0.019184	0	12	12	0.60	1.5102	658	13	0	11	0
LITHUANIA	522700	9.074653	0	61	61	0.12	1.209321	60890	56	0	43	0
LUXEMBOURG	21885	0.379948	0	75	75	1.18	3.97944	25861	63	0	45	0
NETHERLANDS	261424	4.538611	0	148	148	2.49	10.55935	650232	149	0	126	0
NORWAY	3416654	59.31691	0	127	127	0.11	1.151809	368862	102	0	60	0
POLAND	2306296	40.03986	0	170	170	0.47	2.690753	1077769	136	0	89	0
PORTUGAL	532031	9.23665	0	185	185	0.98	4.213139	519018	121	0	90	0
ROMANIA	1622164	28.16257	0	133	133	0.21	1.930439	348573	96	0	70	0
SLOVAKIA	341371	5.92658	0	79	79	0.24	1.713446	81335	65	0	45	0
SLOVENIA	108386	1.881701	0	48	48	0.30	1.584975	31993	40	0	34	0
SPAIN	3071690	53.32795	0	233	233	0.80	5.398077	2471703	192	0	146	0
SWEDEN	4519570	78.46476	0	120	120	0.11	1.241227	519231	97	0	70	0
SWITZERLAND	277369	4.815434	0	64	64	0.46	2.057676	127414	58	0	47	0

NAME ISO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
UNITED KINGDOM	1977613	34.33356	0	135	135	0.79	3.422811	1552595	122	0	90	0
AMERIQUE DU SUD												
ARGENTINA	15896036	275.9728	0	255	255	0.20	3.214779	3216300	232	0	159	0
BOLIVIA	15896036	275.9728	0	255	255	0.20	3.214779	3216300	232	0	159	0
BRAZIL	40069852	695.6572	0	255	255	0.15	2.268945	6040907	216	0	163	0
CHILE	4490396	77.95827	0	199	199	0.15	2.333095	654634	142	0	106	0
COLOMBIA	5357800	93.01736	0	255	255	0.13	2.062454	671661	185	0	110	0
COSTA RICA	235288	4.084861	0	108	108	0.39	2.875953	92775	84	0	66	0
CUBA	552700	9.595487	0	255	255	0.22	2.323665	120742	112	0	46	0
DOMINICAN REPUBLIC	245036	4.254097	0	82	82	0.49	3.376573	119173	78	0	66	0
ECUADOR	1195163	20.74936	0	245	245	0.29	3.099014	349413	174	0	97	0
EL SALVADOR	103259	1.792691	0	43	43	0.29	1.908326	29493	43	0	39	0
GUATEMALA	528322	9.172257	0	203	203	0.17	1.99174	88479	91	0	71	0
GUYANA	1013068	17.58799	0	28	28	0.00	0.104916	1670	21	0	13	0
HONDURAS	525970	9.131424	0	68	68	0.15	1.618702	77758	66	0	62	0
MEXICO	10024110	174.0297	0	255	255	0.33	3.373825	3334317	250	0	142	0
NICARAGUA	619789	10.76023	0	76	76	0.06	0.977904	37044	56	0	44	0
PANAMA	351228	6.097708	0	184	184	0.12	1.524882	41309	83	0	44	0
PARAGUAY	1991531	34.57519	0	216	216	0.13	2.159011	250625	149	0	109	0
PERU	6153252	106.8273	0	199	199	0.07	1.346613	405782	118	0	79	0
PUERTO RICO	47177	0.819045	0	120	120	3.73	8.988807	175849	106	0	77	1
SURINAME	617772	10.72521	0	92	92	0.01	0.337877	4407	42	0	22	0
URUGUAY	1016118	17.64094	0	138	138	0.12	1.901094	122015	111	0	84	0
VENEZUELA	4246843	73.72991	0	255	255	0.42	6.144549	1788055	256	0	201	0
AMERIQUE DU NORD												
CANADA	86012137	1493.266	0	187	187	0.05	1.342929	4565196	167	0	147	0
UNITED STATES	63317022	1099.254	0	255	255	0.56	4.349462	35603120	256	0	242	0

## ANNEXE 7. Surfaces des pays en km<sup>2</sup> 1992, 2002 et 2012

<b>EUROPE</b>	<b>1992 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2002 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2012 SURFACE KM<sup>2</sup></b>
ANDORRA	470	470	470
AUSTRIA	83870	83870	83879
BELGIUM	30530	30530	30530
BULGARIA	110990	110990	111000
CROATIA	56540	56540	56590
CZECH REPUBLIC	78870	78870	78870
DENMARK	43090	43090	43090
FRANCE	549087	549086	549091
GERMANY	356970	357040	357040
HUNGARY	93030	93030	93030
IRELAND	70280	70280	70280
ITALY	301340	301340	301340
LIECHTENSTEIN	160	160	160
LITHUANIA	65300	65300	65300
LUXEMBOURG	2590	2590	2590
NETHERLANDS	41530	41530	41500
NORWAY	385178	385178	385178
POLAND	312690	312690	312680
PORTUGAL	92120	92120	92210
ROMANIA	238390	238390	238390
SLOVAKIA	49030	49030	49036
SLOVENIA	20270	20270	20270
SPAIN	505990	505320	505940
SWEDEN	450300	450300	447420
SWITZERLAND	41285	41285	41285
UNITED KINGDOM	243610	243610	243610
<b>AMERIQUE LATINE</b>	<b>1992 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2002 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2012 SURFACE KM<sup>2</sup></b>
ARGENTINA	2780400	2780400	2780400
BOLIVIA	1098580	1098580	1098580
BRAZIL	8515770	8515770	8515770
CHILE	756096	756096	756096
COLOMBIA	1141750	1141750	1141748
COSTA RICA	51100	51100	51100
CUBA	109890	109890	109890
DOMINICAN REPUBLIC	48670	48670	48670
ECUADOR	283560	256370	256370
EL SALVADOR	21040	21040	21040
GUATEMALA	108890	108890	108890
GUYANA	214970	214970	214970
<b>AMERIQUE LATINE</b>	<b>1992 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2002 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2012 SURFACE KM<sup>2</sup></b>
GUYANA FRANCAISE	83534	92558	83534
HONDURAS	112490	112490	112490

## EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE


---

<b>AMERIQUE LATINE</b>	<b>1992 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2002 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2012 SURFACE KM<sup>2</sup></b>
MEXICO	1964380	1964380	1964380
NICARAGUA	130370	130370	130370
PANAMA	75420	75420	75420
PARAGUAY	406750	406750	406752
PERU	1285220	1285220	1285220
PUERTO RICO	288634	288634	288634
SURINAME	163820	163820	163820
URUGUAY	176220	176220	176220
VENEZUELA	912050	912050	912050
<b>AMERIQUE DU NORD</b>	<b>1992 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2002 SURFACE KM<sup>2</sup></b>	<b>2012 SURFACE KM<sup>2</sup></b>
CANADA	9984670	9984670	9984670
UNITED STATES	9632030	9831510	9831510

## ANNEXE 8. Question et réponse e-Mail NOAA

Question from Geneva University



 **Leyma WISARD PRADO** <leyma.prado@gmail.com>  
À ngdc.info

25/11/2015 ☆



Hello,

I am a master student at the University of Geneva in the faculty of Sciences (Institute for Environmental Sciences - <http://www.unige.ch/environnement/en/>). I am training in Geographical Information Systems under the supervision of Dr. Giuliani Gregory (<http://www.unige.ch/envirospace/people/giuliani/>). Currently, I am working on research about nights lights, specifically the evolution of light pollution in Europe and South America. I visited your site: <http://ngdc.noaa.gov/eog/index.html> to obtain data.

I could download stable lights datasets from DMSP from 1992 to 2013, this information is a global annual cloud-free composite, which is good, but for VIIRS images, you provide monthly information, and just the year 2014 is complet. I would like to do a time series analysis between 1992 and 2014, and I would like to be able to make comparisons from images shot with the two satellites at the same time (year or month).


Therefore, I would like to ask you for your help to get the complete 2013 data from the VIIRS satellite or the monthly data of DMSP in 2013.

May I ask you for your advice in order to make the intercalibration between the images of the two satellites and to get a coherent time series.

Many thanks in advance for your help.

Sincerely,

Leyma Wisard

 **NGDC DMSP - NOAA Service Account** <ngdc.dmsp@noaa.gov>  
À Heather, moi

01/12/2015 ☆



anglais > français Traduire le message

Désactiver pour : anglais ×

I am afraid we did not start producing the VIIRS annual composites until 2014. Similarly, we stopped producing monthly composites in 2013 from the DMSP data.

Intercalibration is an extremely complex process. The images represent different light intensities with digital number, ranges from 0 -63. The absolute intensity at each pixel varies based on which instrument is taking the measurement on which satellite, as well as the sensor's degradation, calibration drift, etc. Comparing VIIRS to DMSP is even more difficult in terms of intercalibration, and we currently have an active area of research into intercalibrating the images.

Respectfully,  
Michael

On Wed, Nov 25, 2015 at 9:10 AM, Heather McCullough - NOAA Federal <[heather.mccullough@noaa.gov](mailto:heather.mccullough@noaa.gov)> wrote:  
Please cc: [ngdc.info@noaa.gov](mailto:ngdc.info@noaa.gov) on your reply. Thanks -

...

## EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE

**ANNEXE 9. Tableau de la population par pays en 1992, 2002 et 2012**

Country Name	Country Code	Pop_1992	Pop_2002	Pop_2012
Andorra	AND	58904	71046	79316
Argentina	ARG	33655149	37889443	42095224
Austria	AUT	7840709	8081957	8429991
Belgium	BEL	10045158	10332785	11128246
Bulgaria	BGR	8540164	7868468	7305888
Bolivia	BOL	7131699	8653343	10238762
Brazil	BRA	155379009	181045592	202401584
Canada	CAN	28519597	31362000	34754312
Switzerland	CHE	6875364	7284753	7996861
Chile	CHL	13566942	15544554	17388437
Colombia	COL	35558683	41572493	46881018
Costa_Rica	CRI	3257463	4063208	4654148
Cuba	CUB	10735775	11184540	11342631
Czech_Republic	CZE	10319123	10196916	10510785
Germany	DEU	80624598	82488495	80425823
Denmark	DNK	5171370	5375931	5591572
Dominican_Republic	DOM	7468551	8832286	10155036
Ecuador	ECU	10705670	13072056	15419493
Spain	ESP	39067745	41431558	46773055
France	FRA	58851216	61805267	65639975
United_Kingdom	GBR	57580402	59370479	63700300
Guatemala	GTM	9619113	12272208	15368759
Guyana	GUY	717621	743107	758410
Honduras	HND	5179557	6499001	7736131
Croatia	HRV	4470000	4440000	4267558
Hungary	HUN	10369341	10158608	9920362
Ireland	IRL	3558430	3931947	4586897
Italy	ITA	56797087	57059007	59539717
Liechtenstein	LIE	29503	33995	36791
Lithuania	LTU	3700114	3443067	2987773
Luxembourg	LUX	392175	446175	530946
Mexico	MEX	89110043	105578297	122070963
Nicaragua	NIC	4331273	5171736	5877034
Netherlands	NLD	15184166	16148929	16754962
Norway	NOR	4286401	4538159	5018573
Panama	PAN	2575330	3144728	3743761
Peru	PER	22737056	26601463	30158768
Poland	POL	38363667	38230364	38063164
Puerto_Rico	PRI	3585176	3823701	3642281
Portugal	PRT	9952494	10419631	10514844
Paraguay	PRY	4432738	5508615	6379162
Romania	ROU	22794284	21730496	20058035
El Salvador	SLV	5392142	5874301	6072233
Suriname	SUR	423572	486271	528535
Slovak_Republic	SVK	5305016	5376912	5407579
Slovenia	SVN	1996498	1994530	2057159
Sweden	SWE	8668067	8924958	9519374
Uruguay	URY	3154853	3327770	3396753
United States	USA	256514000	287625193	314112078
Venezuela	VEN	20799471	25399143	29854238
Andorra	AND	58904	71046	79316
Argentina	ARG	33655149	37889443	42095224
Austria	AUT	7840709	8081957	8429991
Belgium	BEL	10045158	10332785	11128246
Bulgaria	BGR	8540164	7868468	7305888
Bolivia	BOL	7131699	8653343	10238762
Brazil	BRA	155379009	181045592	202401584
Canada	CAN	28519597	31362000	34754312
Switzerland	CHE	6875364	7284753	7996861

## EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE

Country Name	Country Code	Pop_1992	Pop_2002	Pop_2012
Chile	CHL	13566942	15544554	17388437
Colombia	COL	35558683	41572493	46881018
Costa_Rica	CRI	3257463	4063208	4654148
Cuba	CUB	10735775	11184540	11342631
Czech_Republic	CZE	10319123	10196916	10510785
Germany	DEU	80624598	82488495	80425823
Denmark	DNK	5171370	5375931	5591572
Dominican_Republic	DOM	7468551	8832286	10155036
Ecuador	ECU	10705670	13072056	15419493
Spain	ESP	39067745	41431558	46773055
France	FRA	58851216	61805267	65639975
United_Kingdom	GBR	57580402	59370479	63700300
Guatemala	GTM	9619113	12272208	15368759
Guyana	GUY	717621	743107	758410
Honduras	HND	5179557	6499001	7736131
Croatia	HRV	4470000	4440000	4267558
Hungary	HUN	10369341	10158608	9920362
Ireland	IRL	3558430	3931947	4586897
Italy	ITA	56797087	57059007	59539717
Liechtenstein	LIE	29503	33995	36791
Lithuania	LTU	3700114	3443067	2987773
Luxembourg	LUX	392175	446175	530946
Mexico	MEX	89110043	105578297	122070963
Nicaragua	NIC	4331273	5171736	5877034
Netherlands	NLD	15184166	16148929	16754962
Norway	NOR	4286401	4538159	5018573
Panama	PAN	2575330	3144728	3743761
Peru	PER	22737056	26601463	30158768
Poland	POL	38363667	38230364	38063164
Puerto_Rico	PRI	3585176	3823701	3642281
Portugal	PRT	9952494	10419631	10514844
Paraguay	PRY	4432738	5508615	6379162
Romania	ROU	22794284	21730496	20058035
El Salvador	SLV	5392142	5874301	6072233
Suriname	SUR	423572	486271	528535
Slovak_Republic	SVK	5305016	5376912	5407579
Slovenia	SVN	1996498	1994530	2057159
Sweden	SWE	8668067	8924958	9519374
Uruguay	URY	3154853	3327770	3396753
United States	USA	256514000	287625193	314112078
Venezuela	VEN	20799471	25399143	29854238



## EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE

**ANNEXE 10. Tableau de PIB par pays en US dollars en 1992, 2002 et 2012**

Country Name	GDP_1992	GDP_2002	GDP_2012
Andorra	1'209'992'649.57	1'717'563'532.70	3'146'177'740.64
Argentina	228'788'617'201.70	97'724'513'456.48	604'378'456'915.58
Austria	194'608'183'696.47	212'970'685'111.99	407'373'026'611.61
Belgium	236'038'607'528.23	258'860'342'556.00	497'780'014'247.47
Bulgaria	10'350'515'463.92	16'360'346'653.83	53'576'670'827.86
Bolivia	5'643'893'347.01	7'905'485'216.18	27'084'497'539.80
Brazil	400'599'250'000.00	508'779'896'959.98	2'413'135'528'134.76
Canada	590'148'092'992.47	752'531'702'032.75	1'832'715'597'431.65
Switzerland	271'133'679'206.37	301'127'808'995.25	665'408'300'271.74
Chile	44'467'946'384.25	70'984'568'428.60	265'231'582'107.40
Colombia	49'279'585'355.09	97'933'392'356.43	369'659'700'375.52
Costa_Rica	8'573'611'050.19	16'844'378'578.18	45'300'669'857.48
Cuba	22'085'858'204.05	33'590'400'000.00	73'139'050'000.00
Czech_Republic	34'451'993'226.03	81'696'651'658.90	206'441'578'342.49
Germany	2'123'130'870'381.97	2'079'136'081'309.99	3'539'615'377'794.51
Denmark	152'690'732'178.06	178'635'160'297.42	322'276'544'469.31
Dominican_Republic	11'277'676'879.96	26'571'659'051.21	60'595'109'805.12
Ecuador	18'094'238'119.06	28'548'945'000.00	87'924'544'000.00
Spain	629'202'392'003.90	705'145'868'624.13	1'339'946'773'437.24
France	1'408'724'907'063.20	1'500'337'850'555.24	2'681'416'108'537.39
United_Kingdom	1'179'659'529'659.53	1'680'256'294'964.03	2'630'472'981'169.65
Guatemala	10'440'842'165.32	20'776'403'595.13	50'388'460'222.63
Guyana	368'281'378.90	722'460'886.37	2'851'149'182.59
Honduras	3'419'487'440.66	7'776'435'882.00	18'528'601'901.32
Croatia		26'878'499'206.02	56'485'301'967.42
Hungary	38'541'488'005.19	67'516'529'106.70	127'176'184'359.09
Ireland	55'981'360'980.84	127'937'524'280.07	224'652'132'155.01
Italy	1'316'286'433'307.15	1'267'043'324'393.00	2'074'631'555'455.23
Liechtenstein	1'631'176'646.66	2'688'617'884.87	5'487'773'452.44
Lithuania		14'278'357'283.74	42'852'204'396.45
Luxembourg	16'225'873'776.66	23'308'582'721.63	55'986'712'367.80
Mexico	363'609'268'789.42	741'559'499'084.75	1'184'499'844'413.23
Nicaragua	1'792'800'000.00	5'224'213'017.54	10'460'339'389.38
Netherlands	358'330'385'839.60	465'368'906'455.86	828'946'812'396.79
Norway	130'838'040'067.58	195'418'347'152.99	509'704'856'037.82
Panama	6'641'400'000.00	12'272'400'000.00	37'956'200'000.00
Peru	35'180'917'546.39	54'436'633'339.97	192'679'697'094.17
Poland	92'527'774'557.99	198'680'637'254.90	500'227'851'988.33
Puerto_Rico	34'630'430'000.00	72'546'194'000.00	101'080'738'000.00
Portugal	107'602'689'040.69	134'228'697'534.35	216'368'178'659.45
Paraguay	7'157'424'031.06	6'325'151'760.07	24'611'039'786.13

## EVOLUTION DE LA POLLUTION LUMINEUSE

---

Country Name	GDP_1992	GDP_2002	GDP_2012
Romania	25'121'666'666.67	46'174'557'555.59	172'043'567'268.32
El_Salvador	5'954'700'000.00	14'306'700'000.00	23'813'600'000.00
Suriname	404'600'000.00	1'078'402'127.66	4'980'000'000.00
Slovak_Republic	15'431'288'006.21	35'083'608'131.00	93'049'721'684.12
Slovenia		23'563'581'047.38	46'239'992'124.66
Sweden	280'312'318'915.49	263'926'220'332.54	543'880'647'757.40
Uruguay	12'878'199'880.98	13'606'494'599.43	51'384'870'651.20
United_States	6'539'299'000'000.00	10'977'514'000'000.00	16'163'158'000'000.00
Venezuela,_RB	58'470'358'475.87	92'889'586'976.18	381'286'237'847.67