

6. Présentation et discussion des résultats

Taux de croissance des émissions lumineuses en Suisse

période [1992-1995] à [2007-2010]

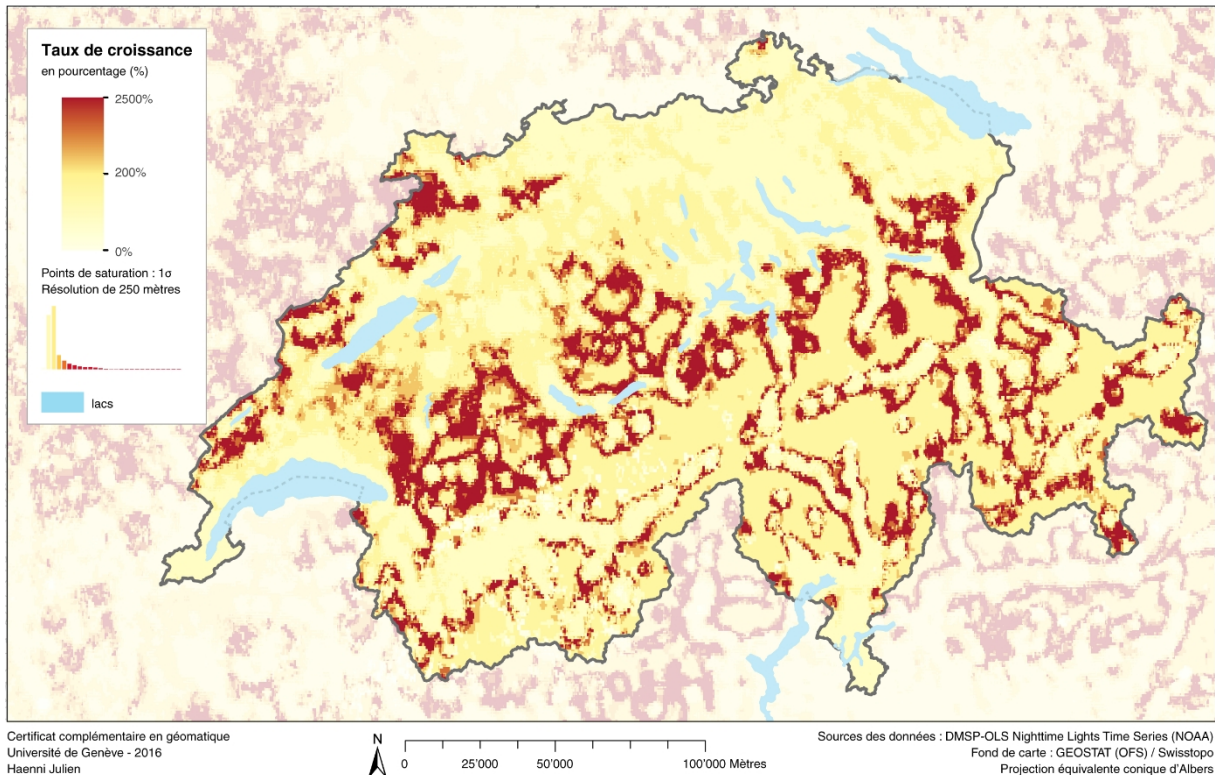


Figure 25 : carte des taux de croissance des émissions lumineuses en Suisse.

Taux de croissance des émissions lumineuses par communes suisses

période [1992-1995] à [2007-2010]

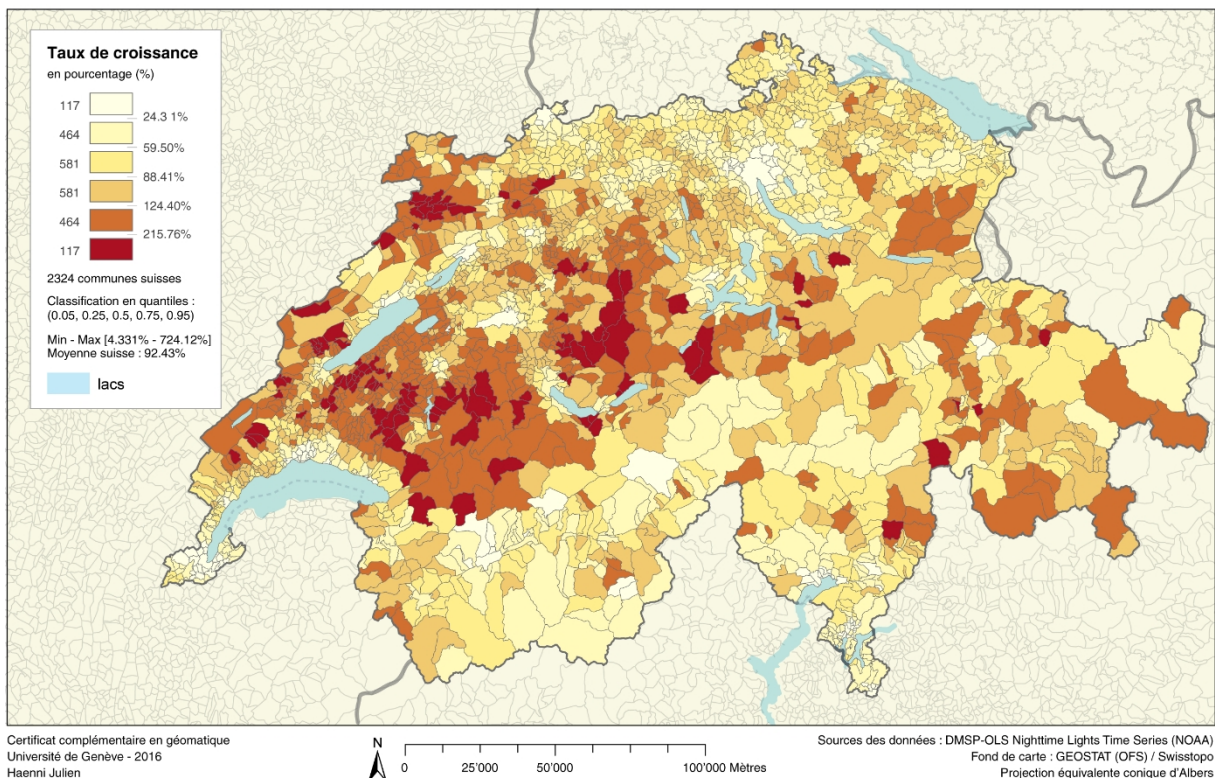
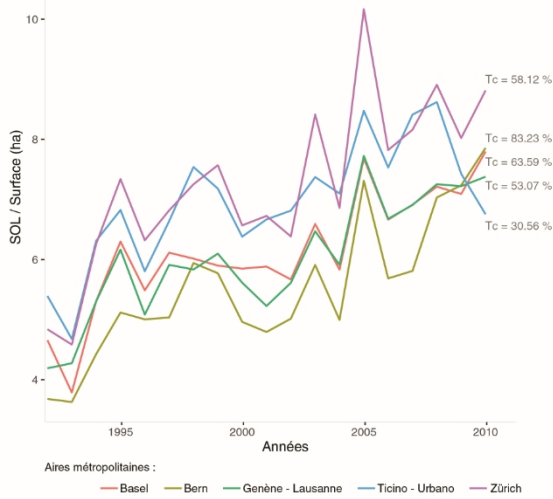
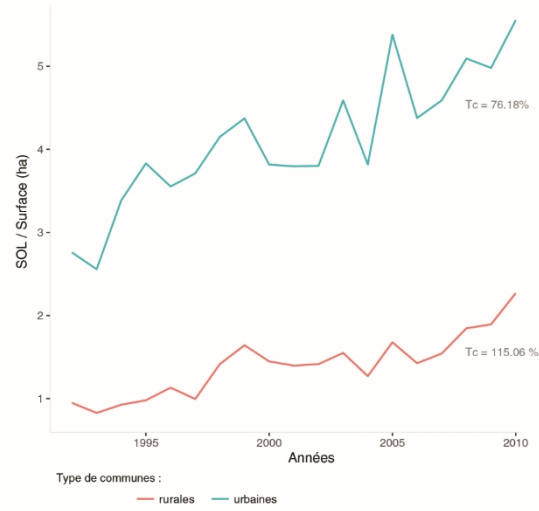


Figure 26 : carte des taux de croissance des émissions lumineuses par communes suisses.

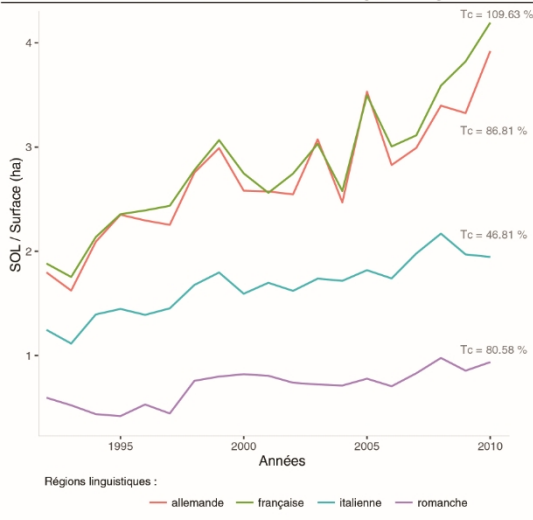
Evolution des émissions lumineuses par aires métropolitaines



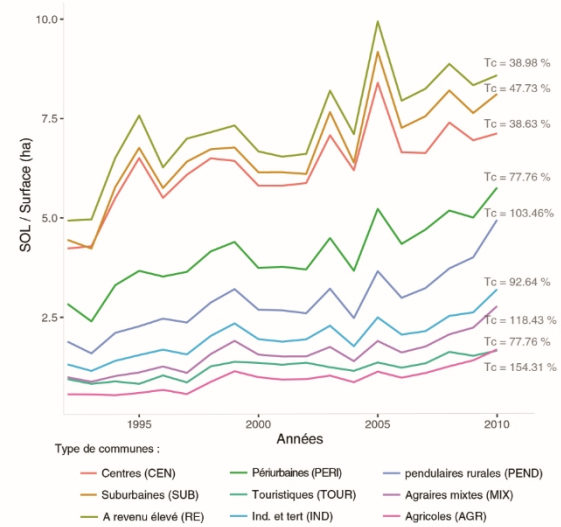
Evolution des émissions lumineuses de l'urbain et du rural



Evolution des émissions lumineuses par régions linguistiques



Evolution des émissions lumineuses par type de communes



Evolution des émissions lumineuses des communes incluant une ville selon leur taille

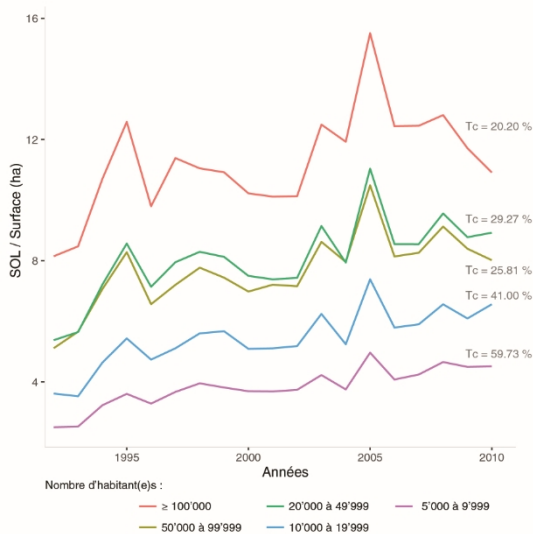


Figure 27 : Evolution de la somme des valeurs des pixels selon les niveaux géographiques de la Suisse.

Emissions lumineuses en Suisse

moyenne - avril 2015 à mars 2016

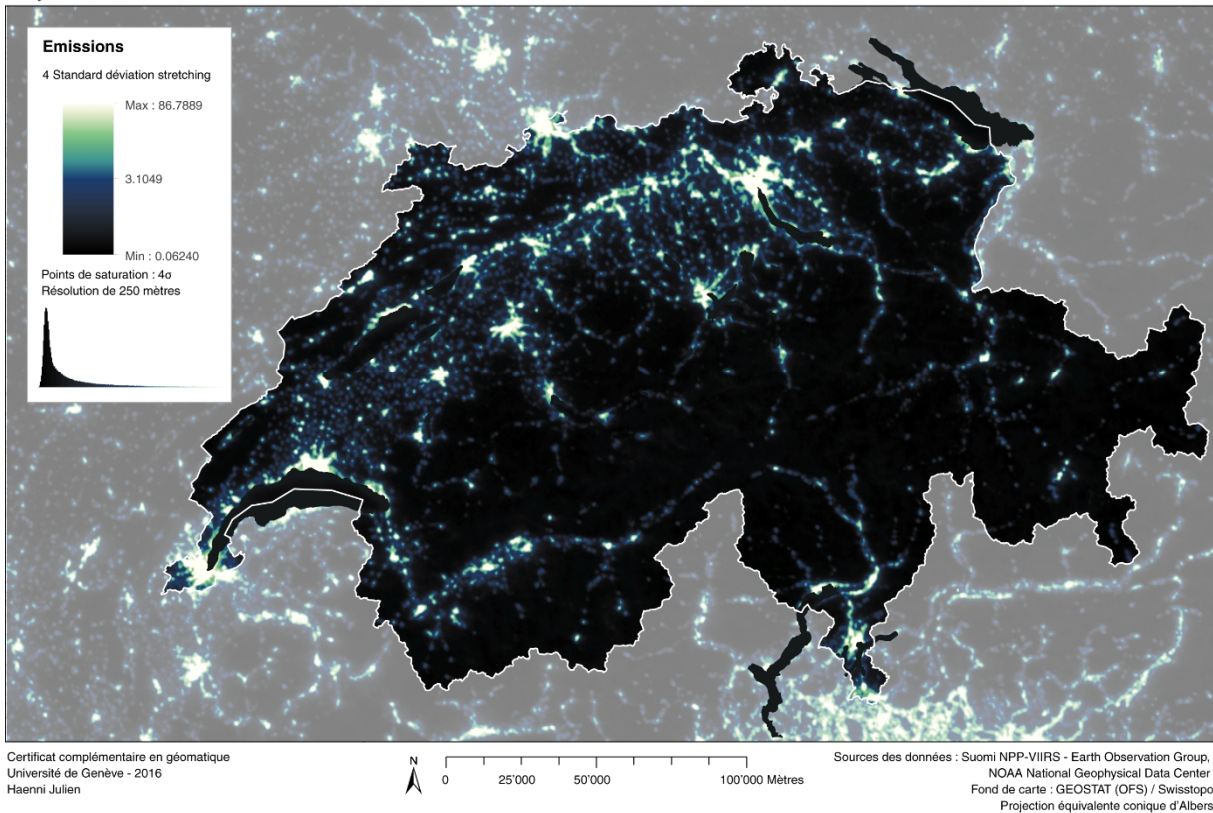


Figure 28 : carte de la répartition des émissions lumineuses en Suisse.

Emissions lumineuses par communes suisses

moyenne - avril 2015 à mars 2016

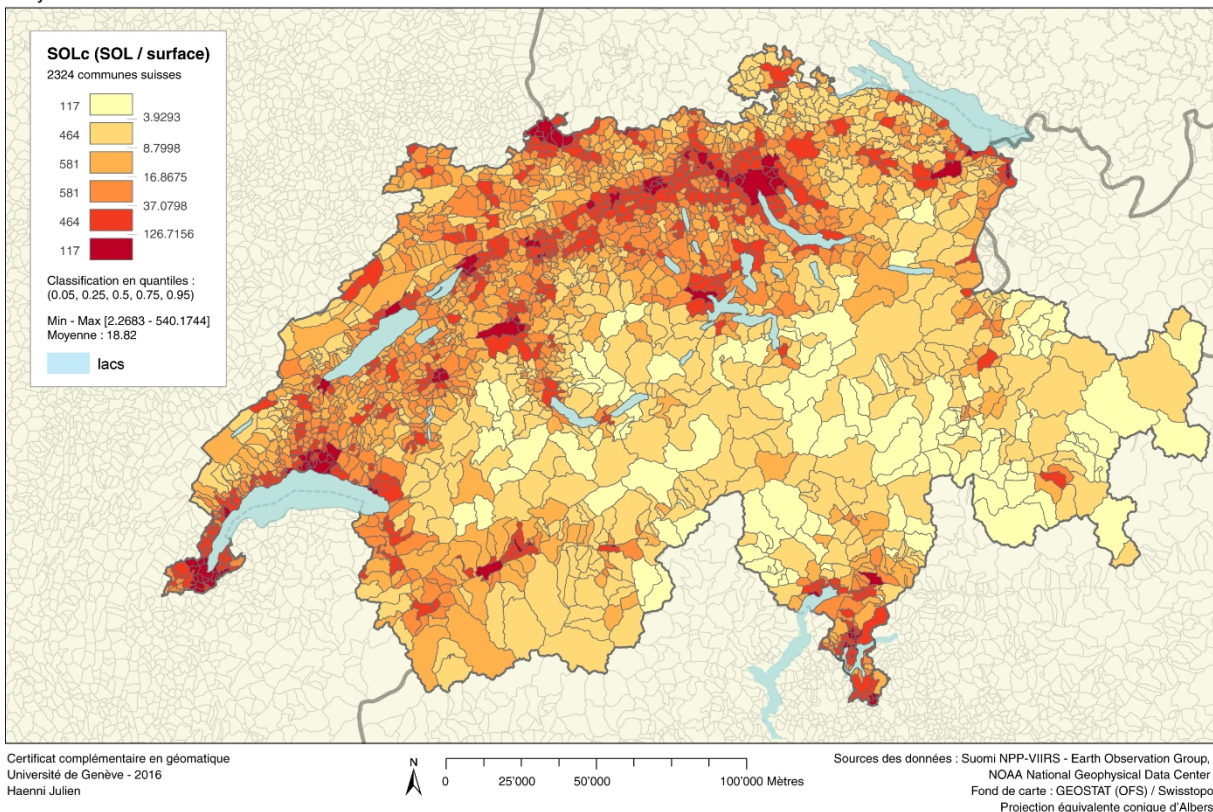


Figure 29 : carte de la répartition des émissions lumineuses par communes suisses.

Un accroissement global mais différencié

Les cartes précédentes (figures 25 et 26) ainsi que les tableaux de l'évolution des SOLc (figure 27) témoignent d'un accroissement général des émissions lumineuses entre 1992 et 2010 (taux médian de 88%). À l'échelle du pixel, la croissance s'opère principalement au nord des Alpes et dans les marges des territoires. A l'inverse, les espaces centraux présentent des taux moins élevés. Au niveau des communes, le constat est identique avec une opposition entre les espaces urbanisés (Genève, Lausanne, Zurich, etc.) et la périphérie. Telle l'urbanisation, les émissions lumineuses semblent se diluer et s'étaler sur le territoire suisse.

Quant à la distribution des émissions lumineuses, elles tendent à se concentrer dans les zones fortement urbanisées. En effet, la figure 28, bien que spatialisant les émissions lumineuses, évoque à s'y méprendre les surfaces urbanisées de la Suisse. Les grands centres urbains, le plateau et les vallées alpines se dessinent clairement en opposition aux zones reculées des Alpes. Le même constat s'applique en agrégeant les pixels au niveau communal (figure 29).

Par conséquent, il ressort de cette première analyse visuelle un accroissement modéré des émissions lumineuses dans les zones déjà intensément illuminées et fort dans les zones auparavant préservées (périphérie, vallées alpines, nord des alpes, etc.). En effet, les cartes des répartitions des émissions lumineuses semblent s'opposer à celles concernant les taux de croissance. Cette constatation est en partie confirmée par la forme du nuage de points de la figure 30, laissant présager une corrélation négative entre les émissions et le taux de croissance (corrélation de Spearman significative - Rho de -0.48).

Nuage de points entre le taux de croissance et les SOLc, en log

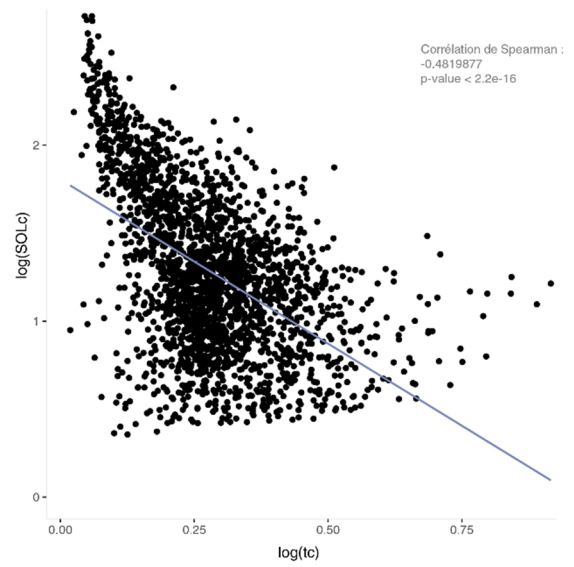


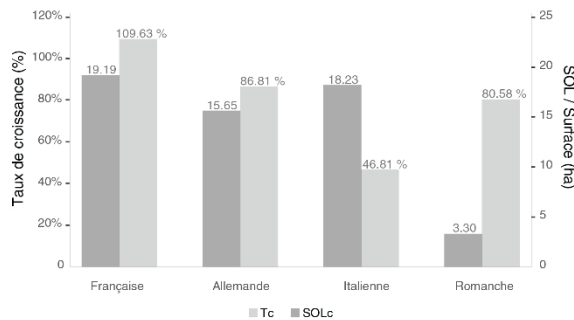
Figure 30 : Lien entre le taux de croissance et les émissions lumineuses, nuage de points et corrélation.

Des différences marquées entre les grandes entités

Les cantons, les régions linguistiques et les aires métropolitaines sont marqués par des différences significatives dans l'évolution et la répartition des émissions lumineuses (Test de Kruskal-Wallis significatif). Néanmoins aucune tendance significative n'a été observée en fonction de la taille de ces entités en nombre d'habitants (Test de Jonckheere-Terpstra non significatif) (figures 31, 32 et 33)

Malgré tout, les communes francophones possèdent généralement un taux de croissance et des émissions lumineuses plus élevés que les autres régions linguistiques.

Evolution et répartition médianes des émissions lumineuses selon la région linguistique



Kruskal-Wallis
significatif pour tc ($p < 2.2e-16$) et SOLc ($p < 2.2e-16$)

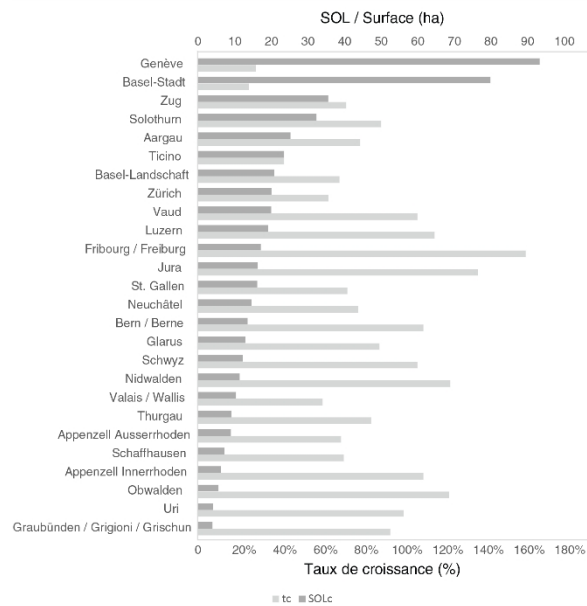
Jonckheere-Terpstra
non significatif pour tc ($p = 1$) et SOLc ($p = 1$)

Mann-Whitney-Wilcoxon unilatéral
 $tc_{française} > tc_{allemande}$ significatif ($p = 6.458e-14$) > $tc_{italienne}$ significatif ($p < 2.2e-16$)
 $tc_{romanche} > tc_{italienne}$ significatif ($p = 2.379e-05$)
 $SOLc_{française} > SOLc_{allemande}$ significatif ($p = 1.905e-12$)
 $SOLc_{allemande} > SOLc_{romanche}$ significatif ($p = 1.461e-15$)
 $SOLc_{française} > SOLc_{romanche}$ significatif ($p < 2.2e-16$)
 $SOLc_{italienne} > SOLc_{romanche}$ significatif ($p = 1.236e-10$)

Figure 31 : évolution et répartition médianes des émissions lumineuses par régions linguistiques.

Mis à part le Ticino-Urbano, la métropole Genève-Lausanne possède les émissions lumineuses significativement les plus importantes (55 - 26 à 36). Quant au taux de croissance, l'aire métropolitaine de Berne (83%) se détache considérablement des autres (30 à 64%). Ainsi, des entités à première vue similaires présentent des variations des émissions lumineuses et du taux de croissance considérables marquant par conséquent l'influence de la singularité de local dans l'estimation globale.

Evolution et répartition médianes des émissions lumineuses selon les cantons suisses

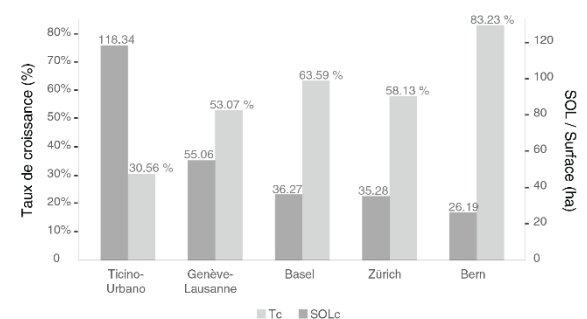


Kruskal-Wallis
significatif pour tc ($p < 2.2e-16$) et SOLc ($p < 2.2e-16$)

Jonckheere-Terpstra
non significatif pour tc ($p = 1$) et SOLc ($p = 1$)

Figure 32 : évolution et répartition médianes des émissions lumineuses par cantons suisses.

Evolution et répartition médianes des émissions lumineuses des aires métropolitaines



Kruskal-Wallis
significatif pour tc ($p < 2.554e-06$) et SOLc ($p < 1.236e-07$)

Jonckheere-Terpstra
non significatif pour tc ($p = 0.387$) et SOLc ($p = 1$)

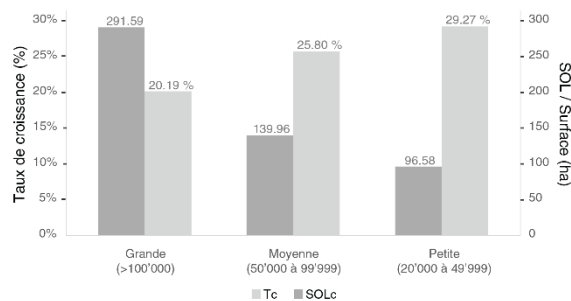
Mann-Whitney-Wilcoxon unilatéral
 $tc_{Bern} > tc_{Basel}$ significatif ($p = 7.959e-05$)
 $tc_{Bern} > tc_{Ticino-Urbano}$ significatif ($p = 2.769e-06$)
 $tc_{Bern} > tc_{Genève-Lausanne}$ significatif ($p = 5.603e-05$)
 $tc_{Basel} > tc_{Ticino-Urbano}$ significatif ($p = 2.254e-04$)
 $tc_{Bern} > tc_{Zürich}$ significatif ($p = 4.851e-06$)
 $tc_{Zürich} > tc_{Ticino-Urbano}$ significatif ($p < 2.208e-04$)
 $SOLc_{Genève-Lausanne} > SOLc_{Basel}$ significatif ($p = 1.751e-04$)
 $SOLc_{Genève-Lausanne} > SOLc_{Bern}$ significatif ($p = 1.132e-04$)
 $SOLc_{Genève-Lausanne} > SOLc_{Zürich}$ significatif ($p = 6.902e-08$)

Figure 33 : évolution et répartition médianes des émissions lumineuses par aires métropolitaines suisses.

Une faible différence entre les villes de taille différente

Les communes incluant une ville et classées selon leur taille (petite, moyenne et grande) présentent des différences non significatives dans l'évolution des émissions lumineuses (Anova) et dans sa répartition (Kruskall-Wallis). Cependant une différence significative (*p-value* de 0.0428) entre les émissions lumineuses des communes de grande et petite taille laisse entrevoir une diminution des émissions lorsque la taille diminue (SOLc de 292 à 97) (figure 34)

Evolution et répartition médianes des émissions lumineuses des communes de plus de 20'000 habitant(e)s incluant une ville



Kruskall-Wallis
non significatif pour SOLc (p = 0.09808)

Jonckheere-Terpstra
non significatif pour SOLc (p = 1)

Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral
SOLc_{grande} = SOLc_{moyenne} non significatif (p = 0.1714)
SOLc_{grande} = SOLc_{petite} significatif (p = 0.04289)
SOLc_{moyenne} = SOLc_{petite} non significatif (p = 0.493)

Anova à un facteur
non significatif pour tc (p = 0.202)
Pairwise t-test non significatif

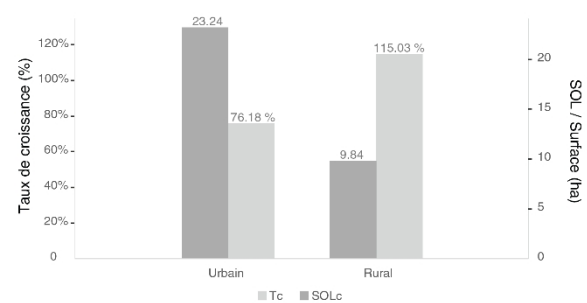
Figure 34 : évolution et répartition médianes des émissions lumineuses des communes suisses incluant une ville et selon leur taille.

Un rattrapage des communes rurales

Bien que les émissions lumineuses soient significativement plus élevées dans les communes urbaines (figure 35), les communes rurales ont connu un doublement des émissions lumineuses (115%) entre 1992 et 2010. À terme, cet accroissement significativement plus élevé pourrait se traduire par un rattrapage des communes rurales. Ce constat, confirmant les analyses visuelles des cartes, est relativement inquiétant car les zones rurales sont les plus sensibles aux émissions lumineuses par leur caractère naturel. Quant aux nombreuses raisons possibles, l'étalement urbain provoquant un éclairage public des communes rurales représenterait une cause probable. En effet, le développement de l'urbain dans ces régions s'accompagne d'une illumination des routes nouvelles ou existantes provoquant ainsi une augmentation des émissions lumineuses.

Ainsi, les communes urbaines présentant des émissions lumineuses plus intenses (23) et un taux de croissance plus faible (76%) que les communes rurales (10 et tc de 115%), l'hypothèse de départ est donc partiellement correcte.

Evolution et répartition médianes des émissions lumineuses par communes urbaines et rurales



Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral
significatif pour tc (p < 2.2e-16) et SOLc (p < 2.2e-16)

Mann-Whitney-Wilcoxon unilatéral
tc_{urbain} < tc_{rural} significatif (p < 2.2e-16)
SOLc_{urbain} > SOLc_{rural} significatif (p < 2.2e-16)

Figure 35 : évolution et répartition médianes des émissions lumineuses selon les communes urbaines et rurales.

Une intensification des émissions lumineuses à la périphérie

L'éloignement au centre implique une diminution significative des émissions lumineuses mais une augmentation du taux de croissance de ces dernières. Le gradient centre-périphérie est donc vérifié pour l'intensité des émissions lumineuses mais inversé pour le taux de croissance. Ce gradient inversé témoigne de nouveau de la diffusion de la lumière vers la périphérie et de son rattrapage relatif. Alors que les communes centrales (SOLc de 90, tc de 39%) et suburbaines (SOLc de 70 et tc de 48%) se différencient faiblement, les communes périurbaines s'en distinguent fortement avec un fort taux de croissance (74%) et de faibles émissions lumineuses (24).

Evolution et répartition médianes des émissions lumineuses selon un gradient centre-périphérie

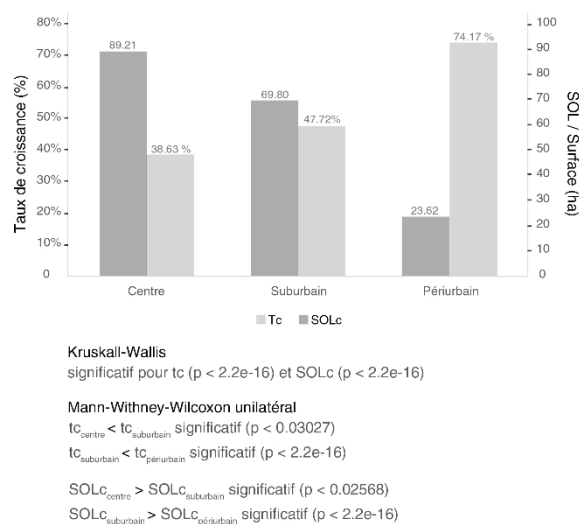


Figure 36 : évolution et répartition médianes des émissions lumineuses selon un gradient centre-périphérie.

En résumé, les émissions lumineuses actuelles se concentrent principalement dans les régions aux caractéristiques urbaines, peu importe la taille de ces dernières. Au contraire, les communes périphériques ou rurales présentent des émissions lumineuses de faible ampleur.

A l'opposé d'un déclin ou d'une stabilité, la croissance strictement positive témoigne d'un accroissement général des émissions lumineuses de toutes les communes suisses entre 1992 et 2010. En outre, cette augmentation affecte fortement les communes rurales ou périphériques et

passablement les communes urbaines ou centrales. Ainsi, la tendance pour la période 1992-2010 est à la diffusion des émissions lumineuses vers la périphérie. Se réalisant en même temps que le phénomène d'étalement urbain que connaît la Suisse depuis la fin du 20^{ème} siècle, cette propagation en tâche d'huile suivrait ainsi une urbanisation incontrôlée.

Par conséquent, seul un changement dans le modèle d'urbanisation de la Suisse permettrait de freiner cette tendance à l'expansion des émissions lumineuses. La révision de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT – Mai 2014), garantissant une utilisation mesurée du sol, laisse espérer une densification des zones urbaines et donc une concentration des émissions lumineuses dans ces dernières. Ainsi, une attention particulière devra être portée à l'aménagement de ces zones densifiées pour éviter un aggravement du phénomène par une sur-illumination. À ce propos, un tel contrôle des émissions lumineuses demande forcément une évolution des pratiques dans la fabrication de la ville nocturne. L'élaboration de normes au niveau fédéral, d'un plan directeur lumineux cantonal ou d'une planification lumineuse communale représenteraient ainsi des pistes de réflexion intéressantes pour endiguer le phénomène.

7. Faiblesses de l'étude et perspectives

Des faiblesses constatées au sein de l'étude impliquent de prendre les résultats avec une certaine prudence. La détection des émissions lumineuses par les satellites, leur propagation dans l'atmosphère et leur contribution à la pollution lumineuse représentent des mécanismes encore fortement méconnus et complexes (Zhang et al., 2015, p. 304).

Les deux capteurs OLS et VIIRS, dont l'unique canal dispose d'une bande spectrale passablement limitée (500 à 800 nm), ne peuvent totalement « *capture the multispectral irradiance of the light source* » (Bennie et al., 2014, p. 4). De surcroît, Bennie et al. (2014, p. 4) révèlent qu'une modification du type d'éclairage impliquerait des changements trompeurs dans la luminosité capturée. Ainsi, il est primordial de concevoir des capteurs dédiés exclusivement à l'observation des sources de lumières artificielles afin d'obtenir des images plus adaptées à la problématique de la pollution lumineuse (haute résolution spatiale, canaux multi-spectraux, haute sensibilité aux faibles émissions, non saturation, etc.).

Quant aux images DMSP-OLS annuelles issues de plusieurs capteurs différents, elles souffrent du manque de calibration interne et nécessitent donc une inter-calibration avant leur utilisation. Cette dernière, utilisant la méthode de l'invariance de trois régions de Wu et al. (2013), comporte une certaine subjectivité dans le choix des zones invariantes et représente donc une source d'erreurs possibles. Bien qu'elle offre l'avantage de diminuer la saturation des centres urbains et les écarts inter et intra-annuels, la méthode se révèle inadaptée « *if the study area is small and only a small number of pixels are involved* » (Wu et al., 2013, p. 7366), ce qui pourrait être le cas pour certaines communes aux faibles dimensions. Cependant, l'agrégation des communes selon les niveaux géographiques de la Suisse et la construction d'un taux de croissance à partir de la moyenne des périodes 1992-1995 et 2007-2010, permettraient de minimiser sensiblement les erreurs dues à l'inter-calibration.

Finalement, l'heure de passage des satellites DMSP (19h30) ou Suomi NPP (1h30) ne correspondant pas à la période d'utilisation maximale de l'éclairage artificiel (22h) (Elvidge et al., 2013 p. 63), les émissions lumineuses capturées par les satellites sous-estimerait théoriquement la situation réelle. En effet, l'éclairage public fonctionne selon des horaires différents en fonction de la saison ou de l'avancée de la nuit. Ainsi, il n'est pas rare que les villes diminuent l'éclairage public au-delà d'une certaine heure influençant donc sensiblement la détection des émissions lumineuses par le satellite Suomi NPP.

Quant aux recommandations, l'expression de la pollution lumineuse à de multiples échelles et la forte dynamique urbaine impliquent une constante adaptation de l'unité d'analyse et de la résolution spatiale au phénomène étudié. Bien que les typologies territoriales suisses du début du second millénaire correspondent à la période temporelle des images satellitaires utilisées et qu'elles soient donc adaptées pour une analyse macro, il est primordial de repenser l'unité d'analyse au niveau micro. Ainsi, des analyses aux niveaux des pixels en fonction de l'utilisation du sol (croisement des pixels et de la statistique suisse la superficie – résolution de 100m) ou des différentes densités (habitants, emploi, bâti) sembleraient particulièrement intéressantes mais nécessiteraient une haute résolution spatiale des images satellitaires nocturnes.

8. Conclusion

L'utilisation d'images satellitaires DMSP-OLS et NPP-VIIRS a permis d'estimer la répartition actuelle des émissions lumineuses et son évolution entre 1992 et 2010 en Suisse. Alors que les émissions lumineuses se différencient peu entre les villes de taille différente, elles sont plus élevées dans les communes centrales et diminuent progressivement vers la périphérie. À l'inverse le taux de croissance est plus fort dans les communes rurales qu'urbaines. Ainsi, les émissions lumineuses tendent vers les marges des territoires en suivant la forte expansion urbaine des communes suburbaines, périurbaines et rurales, illustrant ainsi la profonde relation liant urbanisation et émissions lumineuses. Par conséquent, l'étalement urbain s'accompagnerait d'une illumination par le développement de l'éclairage public artificiel.

Quant à la méthodologie, sa diffusion, son application et sa réplication vers d'autres territoires constituent une possibilité prometteuse et encourageante. En effet, la grande disponibilité des images satellitaires DMSP-OLS et NPP-VIIRS et leur couverture mondiale offrent des perspectives innombrables. Néanmoins, l'étude a montré les limites de l'utilisation des images satellitaires dans l'estimation de la pollution lumineuse. Bien que ces dernières soient particulièrement adaptées pour évaluer l'évolution et la distribution des émissions lumineuses à une échelle globale, leur faible résolution actuelle rend impossible une analyse à l'échelle locale. Mais la pollution lumineuse ne s'exprime-t-elle pas finalement au niveau de la rue, du trottoir, du lampadaire ?

Néanmoins, la forte progression globale des émissions lumineuses en Suisse (taux de croissance médian de 88.44 % et taux moyen de 92.43 % entre 1992 et 2010, soit un doublement) témoigne de l'échec des recommandations édictées par l'office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) en 2005 (Klaus et al., 2005) et d'un dysfonctionnement du système d'éclairage public actuel. Dans un tel contexte, où recommander se révèle insuffisant, la confédération ne devrait-elle pas adapter ses législations, ses ordonnances et ses

réglementations pour réduire considérablement les émissions lumineuses ? Il est aisé de comprendre qu'à la différence du bruit, la détermination d'un seuil ou d'une limitation des émissions se révèle problématique et complexe car la lumière est indispensable au maintien des activités nocturnes. À quelle intensité la lumière devient-elle une nuisance pour l'homme ou une pollution pour la nature ? Où situer la frontière entre l'illumination et la sur-illumination ?

Mais l'obstacle primitif n'est-il pas finalement l'obscur symbolique de progrès que l'homme attribue à la lumière ?

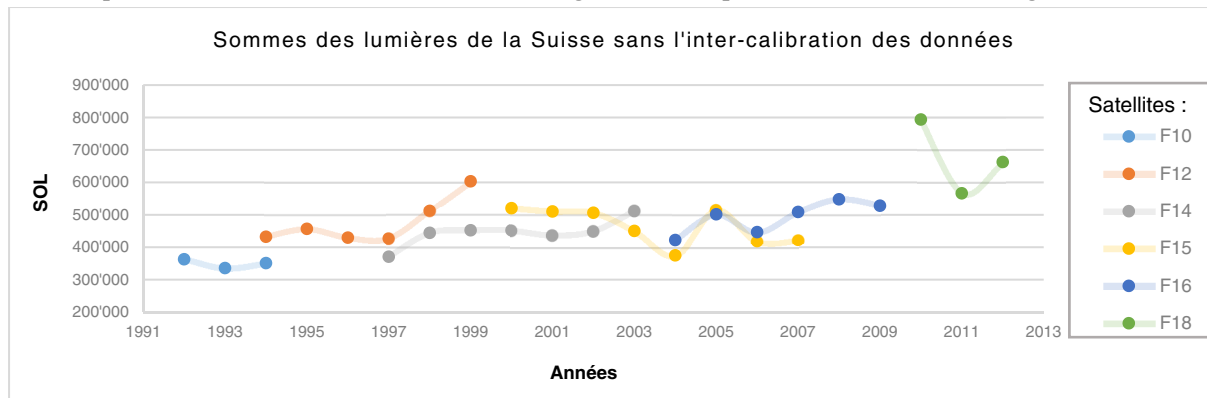
9. Références bibliographiques

- Bennie, J., Davies, T. W., Duffy, J. P., Inger, R., et Gaston, K. J. (2014). Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports*, 4. <http://doi.org/10.1038/srep03789>
- Cao, C., et Bai, Y. (2014). Quantitative Analysis of VIIRS DNB Nightlight Point Source for Light Power Estimation and Stability Monitoring. *Remote Sensing*, 6(12), 11915-11935. <http://doi.org/10.3390/rs61211915>
- Chabanet, C., & Dessaint, F. (2015). *Outliers ou données extrêmes, comment les détecter ? que faire de ces observations ?* Consulté à l'adresse <http://informatique-mia.inra.fr/r4ciam/sites/ciam.inra.fr.r4ciam/files/Tutoriels/outliers-v7.pdf>
- Challeat, S. (2009). La pollution lumineuse : passer de la définition d'un problème à sa prise en compte technique. In Deleuil, J.-M. (Ed.), *Eclairer la ville autrement. Innovations et expérimentations en éclairage public* (pp. 182-197). Lausanne : presses polytechniques et universitaires romandes.
- Cinzano, P., Falchi, F., et Elvidge, C. D. (2001). The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(3), 689-707.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Zhizhin, M., et Hsu, F.-C. (2013). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 35(0), 62-69. <http://doi.org/10.7125/APAN.35.7>
- Elvidge C. D., Hsu, F.-C., Baugh, E. K., et Ghosh, T. (2014). National Trends in Satellite-Observed Lighting: 1992-2012. In *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation* (Vol. 1-0, p. 97-120). CRC Press. Consulté à l'adresse <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/b17012-9>
- Field, A. P., Field, Z., et Miles, J. (2013). *Discovering statistics using R*. Los Angeles: Sage.
- Gallaway, T., Olsen, R. N., et Mitchell, D. M. (2010). The economics of global light pollution. *Ecological Economics*, 69(3), 658-665.
- Gaston, K. J., Bennie, J., Davies, T. W., et Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews*, 88(4), 912-927. <http://doi.org/10.1111/brv.12036>
- Gaston, K. J., Duffy, J. P., Gaston, S., Bennie, J., et Davies, T. W. (2014). Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. *Oecologia*, 176(4), 917-931. <http://doi.org/10.1007/s00442-014-3088-2>
- Guay, J.-H. (2014). *Statistiques en sciences humaines avec R: sciences sociales et psychologie*. Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Haenni, J. (2016). *Automatisation de l'inter-calibration des images satellitaires DMSP-OLS nighttime lights time series, application de la méthode d'élvidge et vérification des résultats pour la Suisse* [Rendu Geotools-Programmation]. Genève : université, certificat complémentaire en géomatique
- Han, P., Huang, J., Li, R., Wang, L., Hu, Y., Wang, J., et Huang, W. (2014). Monitoring Trends in Light Pollution in China Based on Nighttime Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 6(6), 5541-5558. <http://doi.org/10.3390/rs6065541>
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K., et Tockner, K. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(12), 681-682. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Kobler, R. L., Lüscher, C., et Theis, G. (2002). Die Lichtverschmutzung in der Schweiz. *Mögliche Auswirkungen und praktische Lösungsansätze*. Consulté à l'adresse http://www.starpointing.com/images/lightpollution/rlkobler_dipl.pdf
- Masboungi, A., et Gravelaine, F. de. (2003). *Penser la ville par la lumière*. Paris, France: Editions de La Villette.
- Mathieu, F. (2015). *Le Phénomène, Synthèse philosophique*. Montpellier.
- Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K., et Pottharst, M. (Éd.). (2014). *Urban Lighting, Light Pollution and Society* (1 édition). New York: Routledge.
- Millot, G. (2014). *Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de R: manuel de biostatistique* (3e éd). Bruxelles: De Boeck Université.
- Navara, K. J., et Nelson, R. J. (2007). The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, 43(3), 215-224. <http://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2007.00473.x>
- Novalis. (1990). *Hymnes à la nuit - Cantiques spirituels*, traduit de l'allemand par R. Voyat, Paris, la Différence.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Weng, Q. (2014). *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*. CRC Press.
- Wu, J., He, S., Peng, J., Li, W., et Zhong, X. (2013). Intercalibration of DMSP-OLS night-time light data by the invariant region method. *International Journal of Remote Sensing*, 34(20), 7356-7368. <http://doi.org/10.1080/01431161.2013.820365>
- Zhang, Q., Levin, N., Chalkias, C., et Letu, H. (2015). Nighttime Light Remote Sensing: Monitoring Human Societies from Outer Space. In *Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studies* (Vol. 1-0, p. 289-310). CRC Press. Consulté à l'adresse <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/b19321-18>

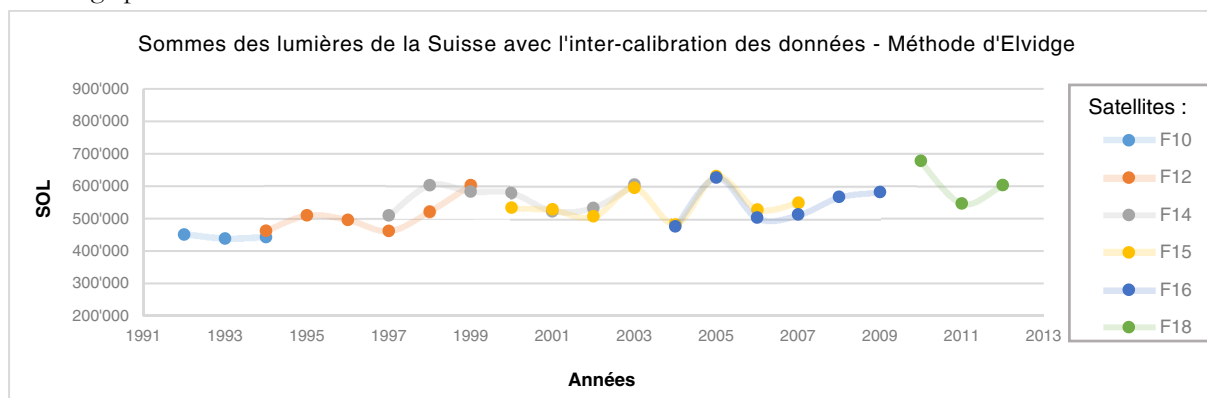
10. Annexes

Annexe 1 : contrôle de l'inter-calibration des images satellitaires DMSP-OLS

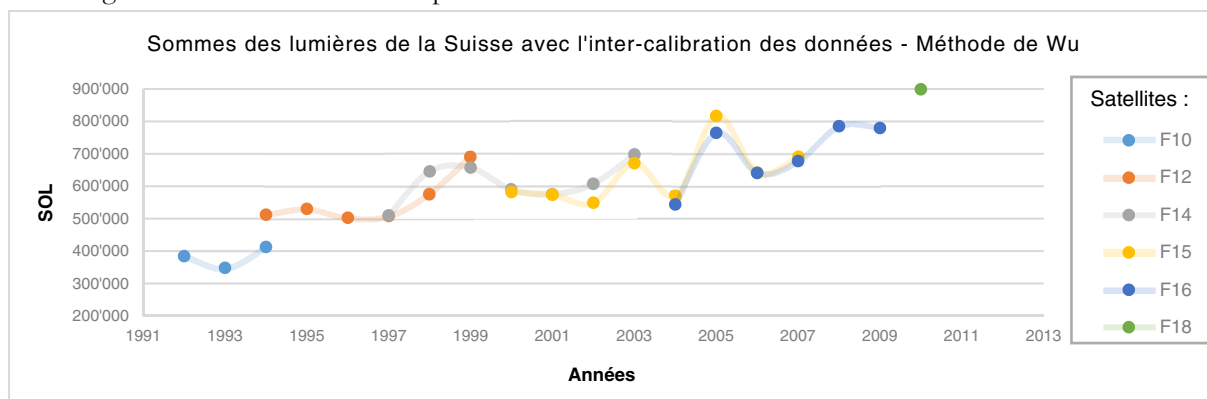
Le tableau suivant, rassemblant les SOL sans inter-calibration, montre des écarts importants entre les images d'année identique mais de capteurs différents. En effet, les valeurs ont tendance à ne pas se superposer d'où un manque de cohérence entre les différentes images et une impossibilité d'utiliser les images satellitaires.



Au contraire, les SOL disponibles sur le tableau ci-dessous (méthode d'Elvidge) présentent une correspondance forte après l'inter-calibration. Les images de même année tendent à prendre des valeurs proches malgré l'utilisation de capteurs différents. Ainsi, le processus d'inter-calibration de la méthode d'Elvidge permet une harmonisation des valeurs en réduisant sensiblement les écarts.



Quant à la méthode d'inter-calibration de Wu (tableau ci-dessous), elle permet tout comme la méthode d'Elvidge de réduire notablement les écarts entre les images de capteurs différents, d'augmenter la continuité et d'harmoniser les données. En plus, elle résout le problème de saturation des images satellitaires DMSP-OLS. Contrairement à la méthode d'Elvidge où la somme des lumières pour la Suisse évolue relativement peu (stable), la méthode de Wu montre une croissance progressive de la somme des lumières pour la Suisse. Cette augmentation semblerait correspondre mieux à la situation des émissions lumineuses.



Annexe 2 : les différents niveaux de la Suisse

<i>Typologie</i>	<i>intitulés</i>	<i>valeurs</i>
<i>Canton</i>	Zürich	Zürich
	Bern / Berne	Bern
	Luzern	Luzern
	Uri	Uri
	Schwyz	Schwyz
	Obwalden	Obwalden
	Nidwalden	Nidwalden
	Glarus	Glarus
	Zug	Zug
	Fribourg / Freiburg	Fribourg
	Solothurn	Solothurn
	Basel-Stadt	Basel-Stadt
	Basel-Landschaft	Basel-Landschaft
	Schaffhausen	Schaffhausen
	Appenzell Ausserrhoden	Appenzell Ausserrhoden
	Appenzell Innerrhoden	Appenzell Innerrhoden
	St. Gallen	St. Gallen
	Graubünden / Grigioni / Grischun	Graubünden
	Aargau	Aargau
	Thurgau	Thurgau
	Ticino	Ticino
	Vaud	Vaud
	Valais / Wallis	Valais
	Neuchâtel	Neuchâtel
	Genève	Genève
	Jura	Jura
	<i>Régions linguistiques 2000</i>	Région linguistique allemande
Région linguistique française		française
Région linguistique italienne		italienne
Région linguistique romanche		romanche
<i>Aires métropolitaines 2005</i>	Zürich	Zürich
	Genève-Lausanne	Genève-Lausanne
	Basel	Basel
	Bern	Bern
<i>Taille des communes par classes 2012</i>	Ticino Urbano	Ticino Urbano
	≥ 100'000 habitant(e)s	1
	50'000 - 99'999 habitant(e)s	2
	20'000 - 49'999 habitant(e)s	3
	10'000 - 19'999 habitant(e)s	4
	5'000 - 9'999 habitant(e)s	5
	2'000 - 4'999 habitant(e)s	6
	1'000 - 1'999 habitant(e)s	7
< 1'000 habitant(e)s	8	
<i>Espace à caractère urbain 2012</i>	Commune-centre d'agglomération (ville-centre)	1
	Commune-centre d'agglomération (centre principal)	2
	Commune-centre d'agglomération (centre secondaire)	3
	Commune de la couronne d'agglomération	4
	Commune multi-orientée	5
	Commune-centre hors agglomération	6
	Commune rurale sans caractère urbain	0
<i>Villes 2012</i>	oui (ville)	1
	non	0
<i>Types de communes (9)</i>	Centres (CEN)	1
	Communes suburbaines (SUB)	2
	Communes à revenu élevé (RE)	3
	Communes périurbaines (PERI)	4
	Communes touristiques (TOUR)	5
	Communes industrielles et tertiaires (IND)	6
	Communes pendulaires rurales (PEND)	7
	Communes agraires-mixtes (MIX)	8
	Communes agricoles (AGR)	9

Annexe 3 : Exemple de code R - Analyse descriptive pour l'ensemble des communes

```
# Création des graphiques
graph_variable_quantitative <- ggplot(table_x, aes(x=variable_quantitative))

# Histogrammes avec la courbe de distribution normale associée, la moyenne et la médiane
graph_variable_quantitative + geom_histogram(aes(y = ..density..), fill = "#A4A4A4", colour = "black", binwidth = 0.2)
+ stat_function(fun=dnorm, args = list(mean = mean(table_x$variable_quantitative), sd = sd(table_x$variable_quantitative)), colour = "navyblue",
size = 1)
+ geom_vline(aes(xintercept=mean(table_x$variable_quantitative)), color="blue", linetype="dashed", size=0.5)
+ geom_vline(aes(xintercept=median(table_x$variable_quantitative)), color="red", linetype="dashed", size=0.5)
+ geom_rug()

# Boxplots
boxplot(table_x$variable_quantitative, horizontal=TRUE, col="#A4A4A4")

# Calcul des outliers pour le table_x total et le logarithme du table_x total – Analyse des cas dont le z-score est > |3|
table_x$z_score <- scale(table_x$variable_quantitative, center = TRUE, scale = TRUE)

# Statistique descriptive après la suppression des outliers
describe(table_x_c$variable_quantitative)

# Test de la normalité de la distribution - Test de Shapiro-Wilk
shapiro.test(table_x$variable_quantitative)
```

Annexe 4 : Exemple de code R - Analyse descriptive par sous-groupes

```
# Conversion en facteur
table_x$variable_qualitative <- as.factor(table_x$variable_qualitative)

# Analyse des graphiques en boîtes à moustaches - mise en évidence des outliers
graph1 <- ggplot(table_x, aes(x=variable_qualitative, y = variable_quantitative))
graph1 + geom_boxplot(fill="#A4A4A4", color="black")

# Création de k sous-groupes
c_1 <- subset(table_x, table_x$variable_qualitative=="1")
c_2 <- subset(table_x, table_x$variable_qualitative=="2")
c_k <- subset(table_x, table_x$variable_qualitative=="k")

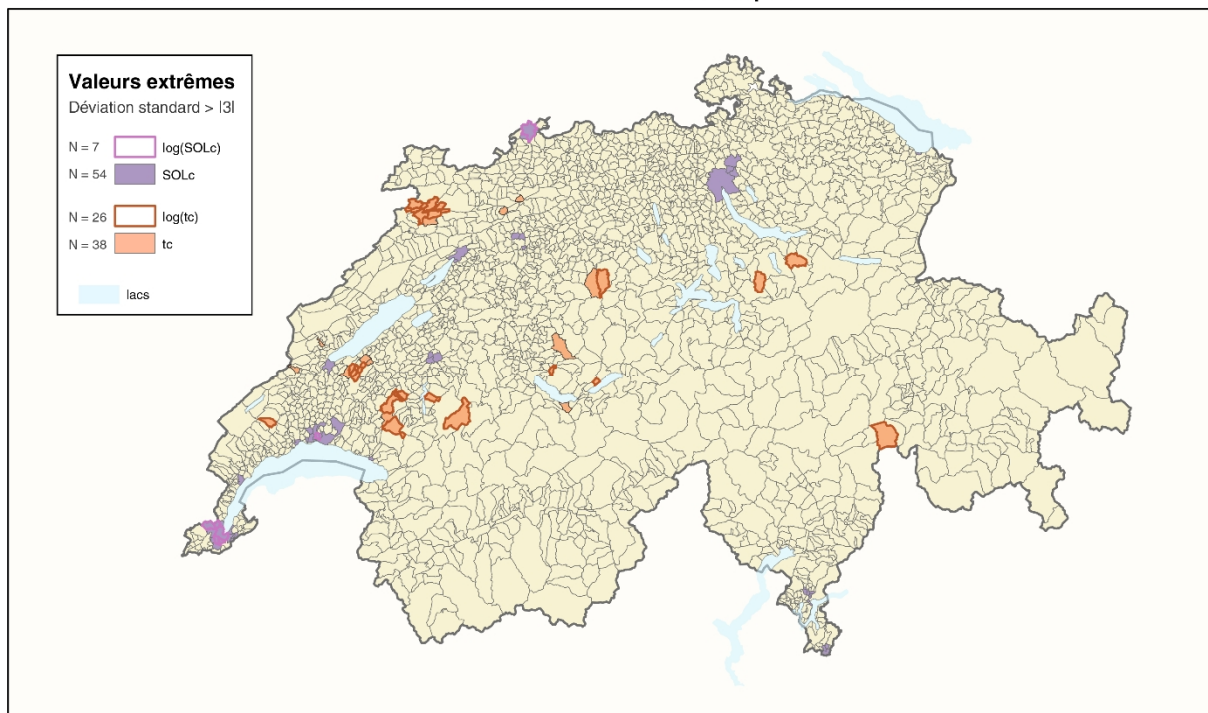
# Identification des outliers d'écart-type > |3|
c_1$z_score <- scale(c_1$variable_quantitative, center = TRUE, scale = TRUE)
c_2$z_score <- scale(c_2$variable_quantitative, center = TRUE, scale = TRUE)
c_k$z_score <- scale(c_k$variable_quantitative, center = TRUE, scale = TRUE)

# Test de la normalité de la distribution - Shapiro Test par sous-groupes
by(table_x$variable_quantitative, table_x$variable_qualitative, shapiro.test)

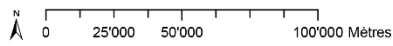
# Test de l'homogénéité des variances - Levene Test et Fligner-Killeen test par sous-groupes
# si normale
leveneTest(table_x$variable_quantitative, table_x$variable_qualitative, center = median)
leveneTest(table_x$variable_quantitative, table_x$variable_qualitative, center = mean)
# si non normale
fligner.test(variable_quantitative ~ variable_qualitative, data=table_x)
```

Annexe 5 : Répartition des outliers selon les communes suisses

Valeurs extrêmes du taux de croissance des émissions lumineuses et SOLc par communes suisses



Certificat complémentaire en géomatique
 Université de Genève 2016
 Haenni Julien



Fond de carte : GEOSTAT / OFS
 Projection équivalente conique d'Albers