

VERS UNE PROCÉDURE DE RÉANALYSE DES DONNÉES DE SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES POUR LE SUIVI DE LA CONVECTION PROFONDE

BERGES J.C. ⁽¹⁾, BELTRANDO G. ⁽²⁾, CACAULT P. ⁽³⁾

(1) PRODIG-Université Paris 1, Bat. ODG, 75013 Paris, France [jean-claude.berges@univ-paris1.fr]

(2) PRODIG-Université Paris Diderot, 75013 Paris, France [beltrando@univ-paris-diderot.fr]

(3) OPGC-Université Blaise Pascal, Av. des Landais, 63771 Aubière, France [p.cacault@jopgc.univ-bpclermont.fr]

Résumé – Une nouvelle méthode de suivi des systèmes de convection profonde a été développée afin de réanalyser les bases de données d'archives de satellites géostationnaires. Un point important est que notre méthode ne demande aucun paramètre d'ajustement et ne dépend donc pas d'un environnement donné. L'algorithme de traitement est décrit et les premiers résultats commentés.

Mots-clés : trajectoires, satellites géostationnaires, convection profonde.

Abstract – A new reanalysis procedure of geostationary satellites for the follow up of deep convection. In order to carry out a follow up of deep convective systems from geostationary satellite archives, a new tracking method has been developed. A key point is that our method avoids any tuning parameter and thus is not specific of a given environment. The processing algorithm is described and some results are discussed.

Keywords: tracking, geostationary satellites, deep convection.

Introduction et contexte de l'étude

Depuis le lancement des premiers géostationnaires météorologiques au début des années 80, une observation continue de la nébulosité est assurée par ce dispositif satellitaire. Exploiter ces bases des données et en extraire des climatologies est un objectif qui présente un intérêt particulier dans le contexte du changement climatique. Dans l'hypothèse d'une intensification du cycle hydro-climatique (Giorgi *et al.*, 2011) le suivi des phénomènes de précipitation extrême est un enjeu majeur et nous nous proposons de contribuer à une *réanalyse* de ces données à travers une climatologie des trajectoires des systèmes convectifs en utilisant une méthode de connexité 3D.

Dans le cadre de ses produits dérivés, l'opérateur de satellites météorologiques Eumetsat diffuse un produit d'identification des cellules de convection (Guillou *et al.*, 2009). Cette méthode, qui vise à repérer les cellules actives dès le début des phénomènes pluvio-orageux, est bâtie autour d'un algorithme de ligne de partage des eaux. La qualité des résultats obtenus est étroitement dépendante de paramètres d'ajustement établis statistiquement. Malgré son efficacité en météorologie opérationnelle, ce type de produit est peu approprié pour des études climatologiques puisque les taux d'erreur dépendent d'un type de phénomène météorologique prédominant et d'un dispositif d'observation. Aussi nous avons développé une procédure robuste qui, au prix d'une moindre efficacité sur la cartographie des précipitations instantanées, ne présente pas de biais significatifs dans l'espace et dans le temps. Dans ce document nous présentons la méthode et discutons la cohérence des premiers résultats obtenus. Un point important est, que bien que seule une petite partie des amas convectifs soient effectivement prise en compte par la procédure, les tracés obtenus sont en accord avec des comportements caractéristiques des phénomènes convectifs à méso-échelle. Ces tracés sont également en accord avec les données de postes pluviométriques lorsqu'elles sont disponibles.

1. Données et méthode

1.1. Base de données

Notre base de données satellite est fournie par l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont qui archive l'ensemble du flot des satellites géostationnaire Eumetsat. Pour cette étude nous avons extrait une période de douze mois répartis entre 2013 et 2014. Nous ne commenterons ici que les résultats obtenus sur Météosat Seconde Génération (MSG). Pour éviter les effets liés aux distorsions géométriques seule la partie centrale du disque est considérée, soit une zone 45E-45W/45N-45S. Les images sont traitées en pleine résolution spatiale (3 km au nadir) et temporelle (répétitivité de 15 mn). Les calculs effectués sur Météosat-Indien ont montré des résultats très similaires malgré un taux d'échantillonnage spatial et temporel deux fois plus faible. Les données aérologiques proviennent des *réanalyses* NCEP/NCAR et sont extraites du produit 2.5°/6H.

1.2. Description de l'algorithme

Une température de brillance de sommet de nuage est une information rarement suffisante pour caractériser une formation nuageuse. Toutefois une valeur plus froide que la tropopause que nous qualifierons d'hyper-froide, est un indicateur non ambigu de la convection profonde. Ceci ne signifie pas que les intensités de précipitation les plus élevées d'un système convectif soient nécessairement associées aux températures les plus froides, ni que les cumuls pluviométriques extrêmes ne puissent pas être causés par d'autres phénomènes pluviogènes. Mais nous supposons que des taux de précipitations intenses sont toujours en association avec une zone significativement étendue de nuages hyper-froids. On trouvera dans Houze (2004) une revue exhaustive sur la morphologie des systèmes convectifs et leur mécanisme de développement.

Les températures de tropopause sont extraites des données NCEP et interpolées à la résolution MSG. Dans une première étape ces données de température sont utilisées comme seuil sur les images du canal 10.8 μm . Nous désignons par amas convectif un ensemble connexe de pixels plus froids que la tropopause. Divers algorithmes peuvent être mis en œuvre pour restituer une dynamique et réaliser un suivi de ces amas mais tous ces algorithmes reposent sur un principe de recouvrement entre images successives. La plupart des méthodes introduisent des seuils, parfois complexes, sur les pourcentages de recouvrement pour éliminer des connexions jugées parasites. Notre hypothèse est que, si la convection profonde est repérée uniquement à partir de la température de tropopause, alors il n'y a pas lieu d'introduire ce type de filtrage. Cette simplification nous permet de considérer le suivi d'amas comme une simple opération de connexité tridimensionnelle. Formellement le temps est assimilé à une troisième dimension et la méthode se ramène à une opération de labellisation dans un volume. Bien que le principe de cette méthode soit simple son implémentation pose quelques difficultés liées au volume de données. Nous avons travaillé sur des séries de quelques semaines, la limitation principale provenant de la qualité des données. Il faut souligner qu'utiliser cette méthode de connexité 3D permet d'éviter la gestion toujours complexe des regroupements ou scissions d'amas qui sont susceptibles d'introduire des déplacements irréalistes. Un exemple des résultats obtenus à partir de ce traitement est montré en figure 1. En partie gauche l'image MSG est représentée en dégradés de gris, les valeurs les plus sombres correspondant aux températures les plus froides. En partie droite de cette figure les tracés délimitent des amas agrégés par cette procédure. Alors que l'amas A est connexe dans cette image, l'amas B ne l'est pas. La connexité provient d'une autre image de la série. On remarquera en périphérie de cet amas B une composante connexe de quelques pixels qui n'a pas été agrégée alors qu'elle semble être intégrée dans la même cellule convective.

L'analyse des données déjà traitées nous amène à considérer ce type d'artefact comme mineur dans la mesure où il ne semble générer que des composantes connexes de courte durée de vie. Dans la suite du texte nous désignerons par Système Hyper-Froids (SHF) les composantes obtenues.

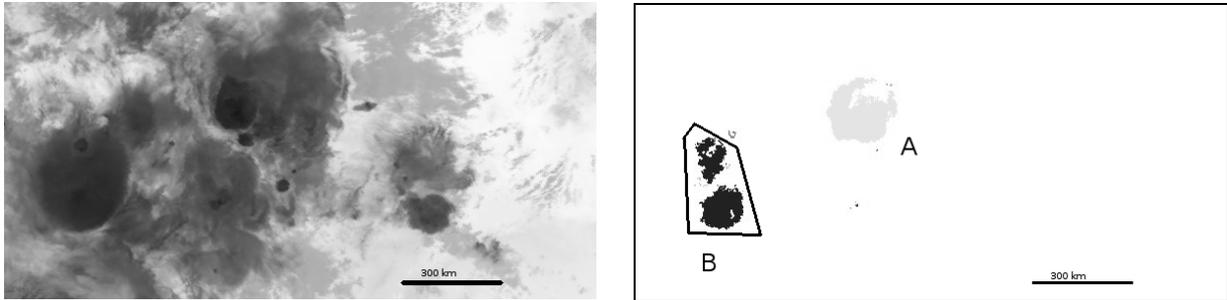


Figure 1. Canal 10.8 μm (gauche) et résultat de la connexité 3D (droite).

2. Cohérence des résultats

2.1. Distribution des systèmes hyper froids (SHF)

Alors qu'il est d'un emploi très courant, le concept de système convectif est difficile à cerner dans toute sa généralité. Habituellement présenté comme un complexe de cellules convectives organisées à diverses échelles, il est employé dans plusieurs contextes différents. En météorologie opérationnelle, il fera référence à un événement clairement différencié de son environnement. Dans une optique plus proche de la modélisation, un tel système sera constitué de cellules générées par un environnement aérologique. Enfin dans une perspective plus climatologique, ce concept intervient à travers une typologie des phénomènes précipitants. Sans préjuger de la compatibilité de ces approches, il faut souligner qu'aucune ne fournit de critère systématiquement applicable permettant d'individualiser un système convectif. Cette ambiguïté rend difficile la validation d'une méthode de d'identification et de suivi des systèmes pluvio-orageux puisqu'il n'existe pas de référence objective. Cependant les résultats obtenus peuvent être confrontés avec d'autres sources d'information pour s'assurer que les phénomènes identifiés présentent des caractéristiques cohérentes avec celles des systèmes produisant des précipitations intenses.

Plusieurs paramètres permettent de caractériser l'importance d'un SHF : sa durée, son extension maximale ou sa surface moyenne. Bien que ces paramètres soient fortement corrélés, une typologie plus fine pourrait être établie sur des effectifs plus importants. Dans ce document nous nous focalisons sur la durée des SHF. L'histogramme de ces durées est représenté en figure 2. Il a été calculé sur l'ensemble de la base présentée précédemment en séparant les parties océaniques et continentales et tracé sur une échelle log-log. L'aspect quasi-linéaire des courbes suggère une distribution en loi de puissance qui est également observée pour les intensités de pluie. Les deux courbes diffèrent toutefois légèrement suggérant une fréquence plus élevée des phénomènes de grande extension sur terre. La distribution des heures de maximum d'extension est représentée en figure 3, les courbes étant tracées séparément pour les domaines continentaux et océaniques. Sur terre un pic d'intensité apparaît en début d'après-midi alors que sur mer l'effet du cycle quotidien est beaucoup plus faible.

2.2. Cartographie des trajectoires

La figure 4 présente les trajectoires de SHF calculées sur la période du 18 août au 9 septembre 2014. La représentation se limite à la partie centrale du disque MSG qui concentre la quasi-totalité des systèmes observés, ce qui est cohérent avec la position de la Zone Inter Tropicale de Convergence. Seules ont été tracées les trajectoires d'une durée supérieures à 12 heures. Sur l'Afrique de l'Ouest les trajectoires s'organisent d'Est en Ouest. Un SHF de grande extension se caractérise par une durée de 37 heures, apparu le 25 Août à 10h il atteint son maximum dans l'après-midi et se maintient jusqu'au lendemain soir. Pour la partie orientale du continent l'organisation semble plus confuse et, en figure 5, nous présentons un zoom sur la mer rouge et les plateaux éthiopiens pour cette même période (partie encadrée). A cette échelle, il apparaît que les tracés correspondent à deux séries de systèmes convectifs observés les 22 et 28 août 2014 avec une influence significative du relief dans le déclenchement des systèmes. Il est à souligner que la validité des trajectoires générées ne se limite pas à la zone inter tropicale. La figure 6 montre les trajectoires de SHF de plus de 12 heures sur la côte tunisienne. Leur tracé correspond à ceux d'évènements pluvio-orageux enregistrés sur quelques stations entre le 2 et le 5 octobre 2014. Ces trajectoires restituent la complexité de ces événements à l'extension spatiale limitée.

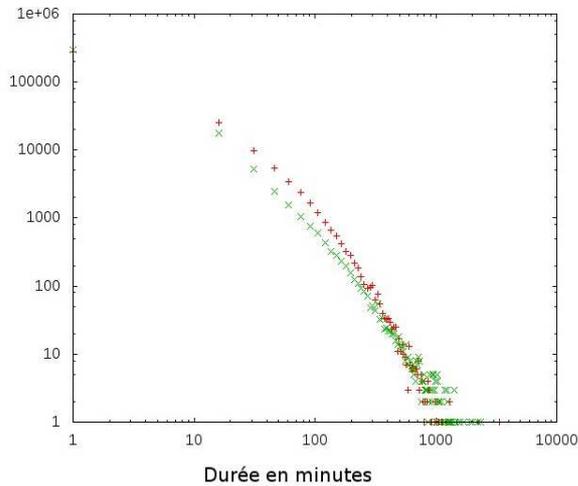


Figure 2. Distribution de durée de SHF
Nombre de SHF en échelle logarithme.

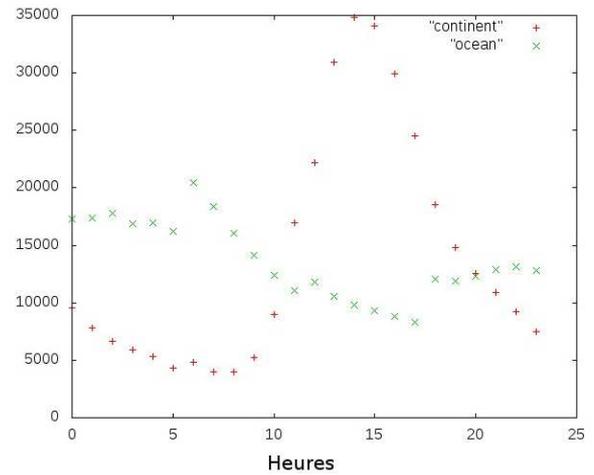


Figure 3. Distribution des SHF en fonction des heures d'activités.

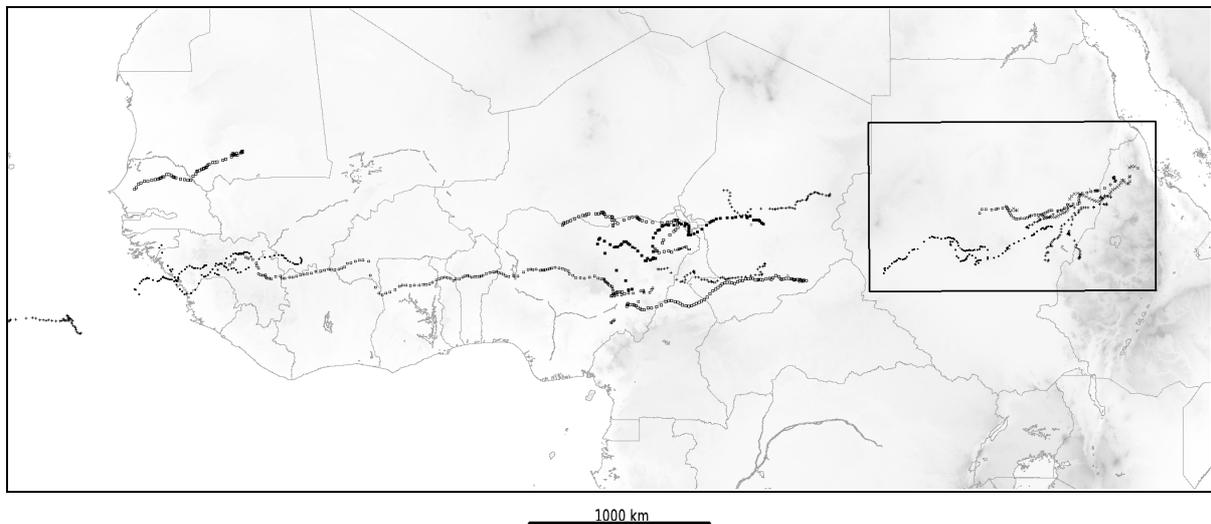


Figure 4. Tracé des SHF de plus de 12 heures entre le 18/08 – 09/09 2014 sur l'Afrique intertropicale.

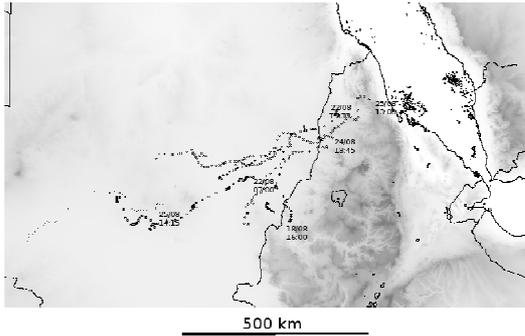


Figure 5. Tracé des SHF de plus de 12 heures sur l’Ethiopie (zoom du rectangle indiqué de la figure 4).

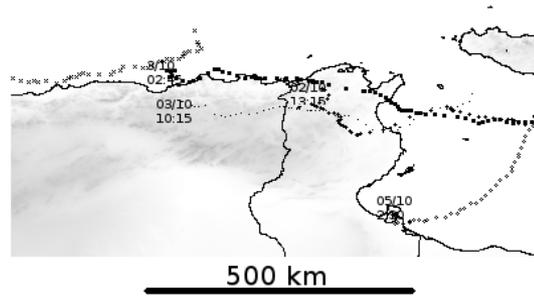


Figure 6. Tracé des SHF de plus de 12 heures sur le Nord-Est du Maghreb. Mois d’octobre 2014.

Utiliser comme seuil la température de tropopause est susceptible d'introduire un biais de sur-segmentation. Aussi, dans une première version de l'algorithme, il était envisagé d'identifier les systèmes sur un seuil fixe de -40 C tout en ne considérant pour les calculs de surface que les zones plus froides que la tropopause. Une telle procédure peut être efficace pour le suivi des lignes de grains en zone Soudano-Sahélienne où les gradients de température autour des systèmes convectifs sont forts. Mais elle cette procédure conduit à des agrégations excessives lorsque ces systèmes sont intégrés dans un couvert nuageux de l'étage moyen. En figure 7 nous avons représenté deux trajectoires longues obtenus à partir de ce seuil fixe. Alors que la trajectoire septentrionale correspond à celle d'un système qui se dissipe par advection froide en rencontrant l'océan, la trajectoire méridionale apparait comme parfaitement erratique. Sur la même période les trajectoires de systèmes qui avaient identifiés sur les plateaux éthiopiens n'apparaissent plus à la suite d'une agrégation abusive. Cette difficulté met en évidence la spécificité d'une climatologie globale des tracés dont la validité doit être indépendante d'un type de phénomènes convectifs prédominants.

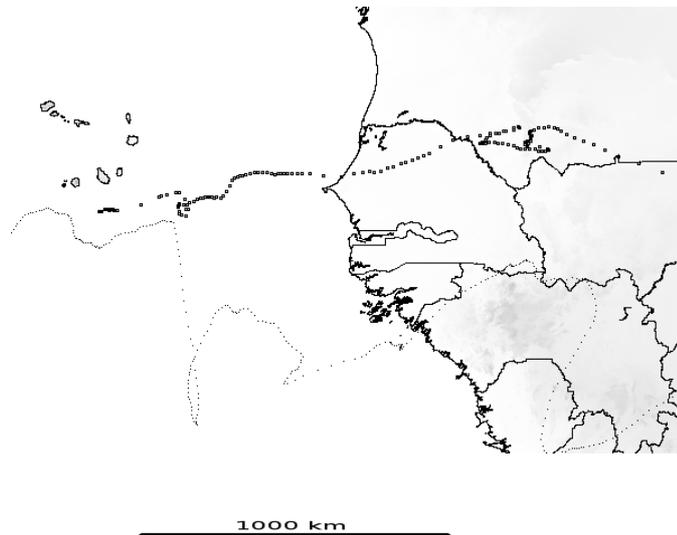


Figure 7. Trajectoires de plus de 12 heures obtenues à partir d'un seuil fixe à -40 C . Période identique à celle de la figure 4.

Conclusion

Une nouvelle méthode de suivi des phénomènes convectifs a été développée et testée sur un jeu de données provenant du système Eumetsat. Conçue dans une perspective d'étude climatologique, elle se caractérise par l'absence d'ajustements spécifiques. Le seul paramètre exogène requis est la température de tropopause. Une première analyse permet de conclure à une certaine cohérence entre les indicateurs obtenus et les phénomènes météorologiques observés. Les résultats obtenus permettent une nouvelle analyse des données satellites qui va au-delà d'un taux instantané de précipitation et ouvre la voie pour une typologie de la convection profonde.

Références bibliographiques

- Giorgi F., Im S., Coppola E., Gao X.J., Diffenbaugh N.S., Mariotti Y., Shu Y., 2011 : Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. *J. Climate*, **24**, 5309-5324.
- Guillou Y., Autonés F., Sénési S., 2009 : Detection and monitoring of Convective clouds by satellite The Rapid Development Thunderstorm (RDT) product of the SAFNWC. *Eumetcast conference, Bath*.
- Houze R.A., 2004 : Mesoscale convective systems. *Review of geophysics*, **42-4**.
- Szantai A., Six B., Cloché S., Sèze G., 2011 : Quality of geostationary satellite images. *Megha-Tropiques technical memorandum*, **3**, 44 p.