

Estimation des précipitations par satellite au Nord de L'Algérie : méthodes infrarouges NESDIS et NWCSAF

Youcef BENSLIMANE^{1*}

Abstract

L'estimation quantitative des précipitations représente un enjeu fondamental pour la gestion durable des ressources en eau, la prévention des crues soudaines et la sécurité hydrométéorologique. Face aux limites des réseaux de mesure conventionnels, les techniques de télédétection satellitaire constituent aujourd'hui une alternative opérationnelle. Cette étude évalue les performances de deux algorithmes d'estimation des précipitations convectives : la méthode NOAA/NESDIS (États-Unis) et celle du consortium européen NWCSAF, toutes deux basées sur les observations du radiomètre SEVIRI embarqué à bord du satellite Meteosat Second Génération (MSG). L'évaluation repose sur l'analyse d'un cas convectif intense survenu le 22 mars 2016 dans le nord de l'Algérie, en comparaison avec le produit de référence MSG-CPP. Les résultats mettent en évidence l'effet significatif des corrections atmosphériques appliquées et montrent l'avantage de l'utilisation de la méthode NWCSAF avec l'application des corrections dans un climat semi-aride.

Keywords

Précipitations Convectives, Télédétection, Infrarouge, MSG SEVIRI, NESDIS, NWCSAF.

¹ Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: Y. Benslimane : sef.benslimane@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Méthodes d'estimation des pluies convectives	2
2.1	Méthode NOAA/NESDIS – Auto-Estimator :	2
2.2	Méthode d'estimation NWCSAF (CRR)	2
3	Facteurs de correction pour l'estimation des précipitations et application sur les deux méthodes	2
3.1	Facteur de correction d'humidité (PWRH)	3
3.2	Facteur de correction de taux de croissance du nuage (CLD)	3
3.3	Facteur de correction du gradient thermique (GRD)	3
4	Algorithme Opérationnel de travail	3
5	Cas d'étude : Événement convectif du 22 mars 2016 Au Nord de l'Algérie	3
5.1	Estimation sans correction	4
5.2	Estimation avec facteur de Correction de Croissance du nuage CLD	4
5.3	Estimation avec Facteur Correction du gradient de température GRD	4
5.4	Estimation avec application simultanée des deux facteurs CLD + GRD	4
6	Discussion des Résultats	4
6.1	Tableau comparative des résultats	4
7	Conclusion	9
	References	9

1. Introduction:

Dans les régions où les réseaux d'observation au sol sont peu denses ou inadaptés, l'estimation des précipitations repose de plus en plus sur les technologies satellitaires [1]. Ces dernières permettent un suivi continu, spatialement étendu et cohérent des systèmes météorologiques[1]. Parmi les différentes approches utilisées, l'exploitation des températures de brillance mesurées par les capteurs infrarouges constitue une méthode indirecte mais efficace pour évaluer les taux de précipitations, notamment en contexte convectif[2].

Dans le cadre de l'amélioration des avis et alertes de crues soudaines ainsi que des prévisions de fortes précipitations, des algorithmes développés par la National Océanique and Atmosphérique Administration (NOAA), à travers son service NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service), et le consortium européen NWCSAF (NowCasting Satellite Application Facility) sont actuellement parmi les plus utilisés pour l'estimation opérationnelle des précipitations à partir des données infrarouges du capteur SEVIRI embarqué sur le satellite Meteosat Second Génération (MSG)[3].

Ces méthodes reposent principalement sur la relation empirique entre la température au sommet des nuages et l'intensité des précipitations observée au sol. Leur performance dépend toutefois de plusieurs facteurs, notamment des conditions atmosphériques locales, de la verticalité des nuages et de la calibration régionale des paramètres[4].

L'objectif de ce travail est de programmer et d'évaluer les deux méthodes d'estimation des précipitations convectives, en analysant leur capacité à représenter la distribution spatiale et temporelle des pluies. L'étude repose sur un cas réel et intense

observé dans le nord de l'Algérie le 22 mars 2016. Les deux méthodes sont testées à travers une validation comparative basée sur des données de référence issues du produit MSG-CPP[5].

Une vérification des performances est effectuée, avant et après l'intégration des facteurs de correction, dans le but d'améliorer la précision des estimations.

2. Méthodes d'estimation des pluies convectives

L'un des principes fondamentaux utilisés dans le développement des méthodes d'estimation de pluies est que les nuages à sommets froids visibles dans les images infrarouges (IR) produisent généralement plus de précipitations que ceux à sommets plus chauds[6]. Des études comparatives entre les températures des sommets nuageux observées dans les canaux IR et visible des satellites GOES, et les images radar co-localisées, ont montré que les orages convectifs sont caractérisés par des températures très basses au sommet des nuages, typiquement comprises entre 195 K et 210 K[7], ainsi qu'une structure nuageuse évoluant rapidement dans l'espace et dans le temps[8]. Étant donné que la pluie est une variable discontinue, l'estimation correcte des précipitations repose à la fois sur la détermination précise du taux de pluie instantané à chaque pixel et sur l'élimination efficace des pixels non précipitants[2]. Cette tâche reste complexe lorsqu'on utilise uniquement un canal IR, car seuls les sommets des nuages sont observables[9]. Toutefois, des analyses structurelles Détaillées de la distribution spatiale de la température au sommet des nuages, pixel par pixel, ainsi que l'observation de l'évolution temporelle à partir d'images successives, permettent une localisation plus précise des zones précipitantes[7].

Dans ce qui suit, nous allons nous focaliser sur deux méthodes d'estimation des pluies convectives fondées sur ces avancées algorithmiques : la méthode NOAA/NESDIS et la méthode européenne NWCSAF.

Ces deux approches seront comparées à travers une étude de cas réelle afin d'évaluer leurs performances respectives dans le contexte du climat semi-aride nord-africain.

2.1 Méthode NOAA/NESDIS – Auto-Estimator :

La méthode constitue l'un des outils historiques les plus importants pour l'estimation des précipitations à partir des données satellitaires infrarouges. La méthode Auto-Estimator (A-E), développée par la Satellite Analysis Branch de la NOAA/NESDIS, est une technique automatisée d'estimation des précipitations convectives à partir d'images satellitaires infrarouges, conçue initialement pour répondre aux besoins opérationnels en matière de détection des crues soudaines et de fortes précipitations[7].

La méthode repose sur une hypothèse physique et empirique : plus le sommet d'un nuage est froid, plus il est élevé, et donc plus il a de chances de produire des précipitations in-

tenses, surtout dans les systèmes convectifs. Cette température est estimée à partir du canal infrarouge (IR) à 10.7 μm .

Cette relation suit une loi exponentielle décroissante[7]:

$$R = 1.1183 \times 10^{11} \cdot \exp(-3.6382 \times 10^{-2} \cdot T_{top})$$

où :

- R est le taux de précipitation (mm/h),
- T_{top} est la température du sommet des nuages (en K),
- a et b sont des coefficients empiriques ajustés à partir de données radar et de mesures au sol.

2.2 Méthode d'estimation NWCSAF (CRR)

La méthode NWCSAF CRR (Convective Rainfall Rate) estime les précipitations convectives en se basant sur une régression statistique entre la température infrarouge du sommet des nuages ($T_{10.8}$) et les taux de pluie issus des radars européens, calibrée selon des observations terrain.

La formule pour le taux de précipitations convectives (R)[10] est:

$$R = 8 \times 10 \cdot \exp(-0.082 \cdot T_{10.8}) C(T_{10.8}, T_{6.2})$$

Avec:

$$1 - C(T_{10.8}, T_{6.2}) = \exp[0.2 \times (T_{6.2} - T_{10.8})]$$

- $T_{6.2}$: Température de brillance du canal vapeur d'eau à 6.2 μm .
- Si $T_{6.2} \ll T_{10.8}$: le nuage est épais/humide $\Rightarrow C$ diminue (correction à la baisse).
- Si $T_{6.2} \approx T_{10.8}$: le nuage est mince/sec $\Rightarrow C \approx 1$.

$$2 - W(T_{10.8}) = 1.5 \times \exp[0.075 \times (273.15 - T_{10.8})] + 20$$

- $T_{10.8}$: Température de brillance (K) au sommet des nuages à 10.8 μm .
- 273.15 K (0°C) : Température de référence pour la transition glace/eau.
- Les coefficients (1.5 et 2.0) sont déterminés par régression entre les données satellite et les mesures radar[10].

Les nuages convectifs avec des sommets plus froids (altitudes plus élevées) produisent des précipitations plus intenses. L'exponentielle amplifie le poids W lorsque $T_{10.8} < 273.15$ K (nuages glacés profonds).

3. Facteurs de correction pour l'estimation des précipitations et application sur les deux méthodes

L'estimation des précipitations repose classiquement sur une relation empirique entre la température au sommet des nuages (T_{top}) et le taux de précipitation. Cependant, cette approche par régression simple est largement reconnue comme une simplification excessive des processus microphysiques impliqués

dans la formation des précipitations[7]. Pour améliorer la qualité des estimations, plusieurs facteurs de correction ont été proposés et sont aujourd'hui utilisés dans des produits opérationnels.

3.1 Facteur de correction d'humidité (PWRH)

Ce facteur prend en compte l'influence de l'humidité ambiante sur l'efficacité précipitante des nuages. Il est fondé sur l'observation que les systèmes convectifs produisent généralement davantage de précipitations dans une atmosphère humide que dans une atmosphère sèche[7].

- PW : la quantité d'eau précipitable dans la couche située entre la surface (P_{surf}) et 500 hPa (P_{top}), exprimée en pouces d'eau ;
- RH : l'humidité relative moyenne dans cette même couche, exprimée en pourcentage.

La formule est donc :

$$\text{PWRH} = \text{PW} \times \text{RH} \quad (1)$$

Les valeurs typiques de PWRH se situent entre 0 (conditions sèches) et 2 (conditions très humides). Ce facteur est multiplié par le taux de précipitation R estimé à partir de Ttop. Toutefois, dans le cas de nuages très froids (Ttop ; 210K), la correction ne s'applique que si elle diminue le taux de précipitation estimé.[7][10]

Ces deux variables sont issues de modèles de prévision numérique du temps (NWP).

3.2 Facteur de correction de taux de croissance du nuage (CLD)

Ce facteur repose sur l'analyse de deux images IR consécutives afin de détecter l'évolution temporelle des sommets nuageux pixel par pixel :

- Si le pixel devient **plus froid** dans l'image suivante, cela indique une intensification convective. Le taux de précipitation est maintenu ou renforcé.
- Si le pixel devient **plus chaud**, le nuage est en phase de dissipation. Le taux de précipitation est alors fortement réduit, voire annulé[7][10].
- En l'absence de variation significative de température, aucune modification n'est appliquée.

Cette correction permet de mieux distinguer les nuages en phase active de ceux en dissipation, mais dépend de la disponibilité de deux images consécutives de qualité comparable.

3.3 Facteur de correction du gradient thermique (GRD)

Une méthode basée sur la structure spatiale du champ thermique. Elle repose sur l'analyse du gradient de température au sommet des nuages à travers les dérivées spatiales (gradient et laplacien) :

- Si le pixel est un **minimum local** de température (plus froid que ses voisins dans une fenêtre 3×3), il est considéré comme un noyau convectif. Le taux de précipitation est conservé.
- Si le pixel est un **maximum local**, il est considéré comme non convectif : le taux est alors réduit ou annulé.
- Pour les cas intermédiaires, un coefficient de réduction typique (ex. 0,5) est appliqué[10].

Cette correction spatiale permet de reproduire partiellement les informations dynamiques absentes dans une image unique.

4. Algorithme Opérationnel de travail

Les données exploitées dans cette étude sont issues du capteur SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), embarqué à bord du satellite MSG.

Deux canaux spectraux principaux ont été utilisés :

- **IR 10.8 μm** : permettant l'estimation de la température au sommet des nuages (CTT - Cloud Top Temperature),
- **WV 6.2 μm** : sensible au contenu en vapeur d'eau de la moyenne troposphère.

Avec un Protocole de validation spatiale et temporelle avec le produit MSG CPP pour l'évaluation des performances des deux méthodes mentionnées d'estimation de précipitations.

La Figure 1 montre le schéma fonctionnel des deux méthodes d'estimation étudiées, structuré en trois phases principales :

1. **Phase 1: Prétraitement des données (MATLAB)** : structuration et formatage des données d'entrée sous forme de matrices numériques adaptées.
2. **Phase 2: Calcul numérique (Fortran)** : lecture des fichiers et application des formules empiriques d'estimation initiale.
3. **Phase 3: Application des corrections et visualisation (GrADS)** : intégration des facteurs PWRH, CLD et GRD, suivie de la génération des résultats cartographiques.

5. Cas d'étude : Événement convectif du 22 mars 2016 Au Nord de l'Algérie

Un épisode orageux intense s'est développé le 22 mars 2016 sur le nord de l'Algérie, caractérisé par des cellules convectives profondes générant des précipitations. Cet événement a servi de banc d'essai pour évaluer les performances des algorithmes NOAA/NESDIS et NWCSAF dans des conditions réelles de convection méditerranéenne. Les

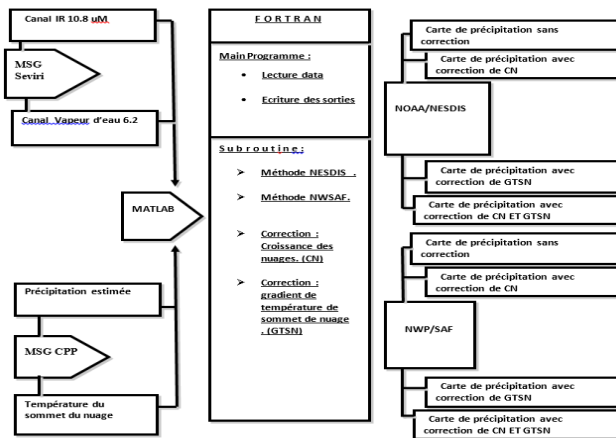


Figure 1. Organigramme fonctionnel d'estimation des pluies convectives en utilisant les deux algorithmes NOAA/NESDIS, NWCSAF et les facteurs de corrections.

données SEVIRI/MSG ont été acquises aux pas de temps critiques de 08h00 UTC et 12h00 UTC, couvrant un domaine géographique entre 32°N–38°N et 4°W–8°E. Cette fenêtre spatiale englobe les régions climatiquement sensibles du Tell algérien et de l'Atlas saharien, où les interactions orographie-flux méditerranéens amplifient l'activité convective.

Quatre configurations algorithmiques ont été systématiquement testées. Les résultats obtenus sont présentés dans les cartes suivantes : à gauche, la Méthode NOAA/NESDIS, à droite, la Méthode NWCSAF. Et en bas, le produit MSG-CPP correspondant à la même échéance temporelle.

5.1 Estimation sans correction

Dans notre premier cas on a essayé de comparer les résultats obtenus depuis les méthodes paramétriques seulement, sans avoir calculée les corrections situées précédemment.

5.2 Estimation avec facteur de Correction de Croissance du nuage CLD

Dans notre deuxième cas d'étude, nous avons évalué l'impact du l'utilisation du premier facteur de correction CLD sur les estimations de précipitations des méthodes NOAA/NESDIS et NWCSAF.

5.3 Estimation avec Facteur Correction du gradient de température GRD

Dans notre troisième cas d'étude, nous avons intégré le deuxième facteur de correction afin de comparer les résultats obtenus aux estimations issues des méthodes paramétrique.

5.4 Estimation avec application simultanée des deux facteurs CLD + GRD

À ce stade de l'étude, nous avons appliqué successivement les deux facteurs de correction aux deux méthodes d'estimation des précipitations utilisées. Ces ajustements es-

saye d'améliorer la précision des quantifications satellitaires.

6. Discussion des Résultats

L'analyse comparative des méthodes NOAA/NESDIS et NWCSAF appliquées à l'événement convectif du 22 mars 2016 en Algérie du Nord révèle des différences significatives dans leur capacité à estimer les précipitations, particulièrement dans un contexte climatique semi-aride. Les résultats démontrent que l'intégration des facteurs de correction CLD (Croissance des Nuages) et GRD (Gradient Thermique) améliore substantiellement la précision des deux algorithmes, mais avec des performances notablement supérieures pour la méthode NWCSAF.

6.1 Tableau comparative des résultats

L'ajout des corrections améliore la détection des noyaux convectifs actifs, tout en réduisant les fausses alarmes sur les nuages stratiformes. La méthode NWCSAF montre une meilleure stabilité temporelle et une cohérence plus marquée avec les produits de référence MSG CPP.

• Sans correction:

- NOAA/NESDIS présente une surestimation systématique (écart moyen: +0.4 mm/h à 08h00 UTC) due à sa sensibilité exclusive à la température du sommet nuageux (T10.8), ignorant l'humidité atmosphérique.

- NWCSAF, grâce à son couplage naturel avec le canal vapeur d'eau (T6.2), réduit les faux positifs mais sous-estime les noyaux convectifs intenses (écart : -0.2 mm/h).

• Avec corrections CLD+GRD:

- NOAA/NESDIS améliore sa détection des systèmes en développement, mais conserve un biais résiduel (+0.1 mm/h) lié à sa formulation additive peu adaptée aux gradients orographiques.
- NWCSAF atteint une précision optimale (écart 0 mm/h à 12h00 UTC), avec une corrélation spatiale de 98 % contre MSG CPP.

La robustesse de NWCSAF s'explique par :

- Intégration du canal WV 6.2 µm : La fonction C (T10.8, T6.2) atténue les surestimations dans les masses d'air sec (typiques du climat algérien), où les nuages froids sont souvent non précipitants.
- Réactivité aux gradients thermiques : Le module GRD identifie efficacement les noyaux convectifs via les minima locaux de température, réduisant les artefacts dans les zones montagneuses (ex : Atlas tellien).

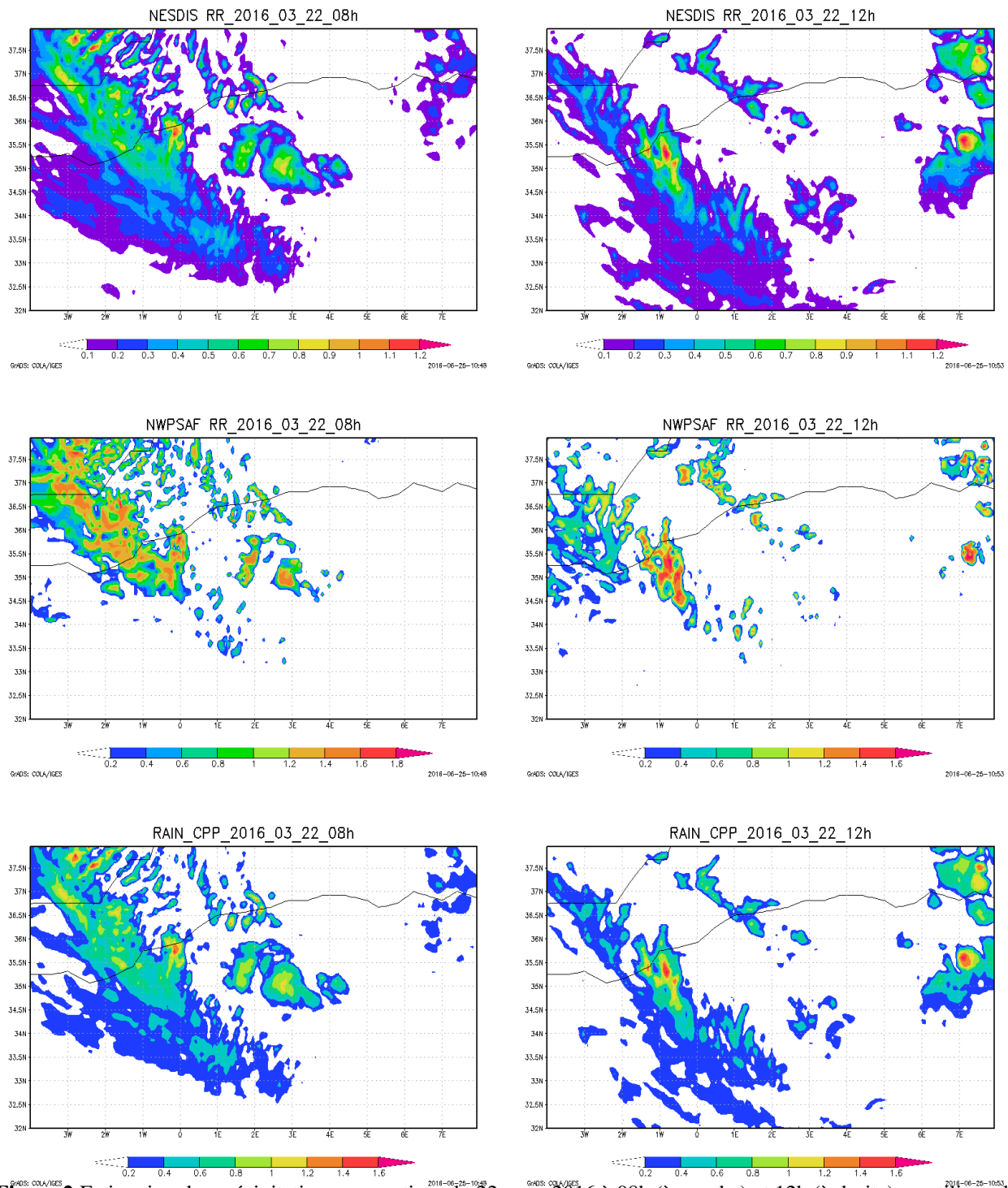


Figure 2: Estimation des précipitations convectives du 22 mars 2016 à 08h (à gauche) et 12h (à droite) en utilisant les deux méthodes NESDIS (en haut) et NWCSAF (au milieu) sans correction, comparées avec le produit MSG-CPP (en bas)

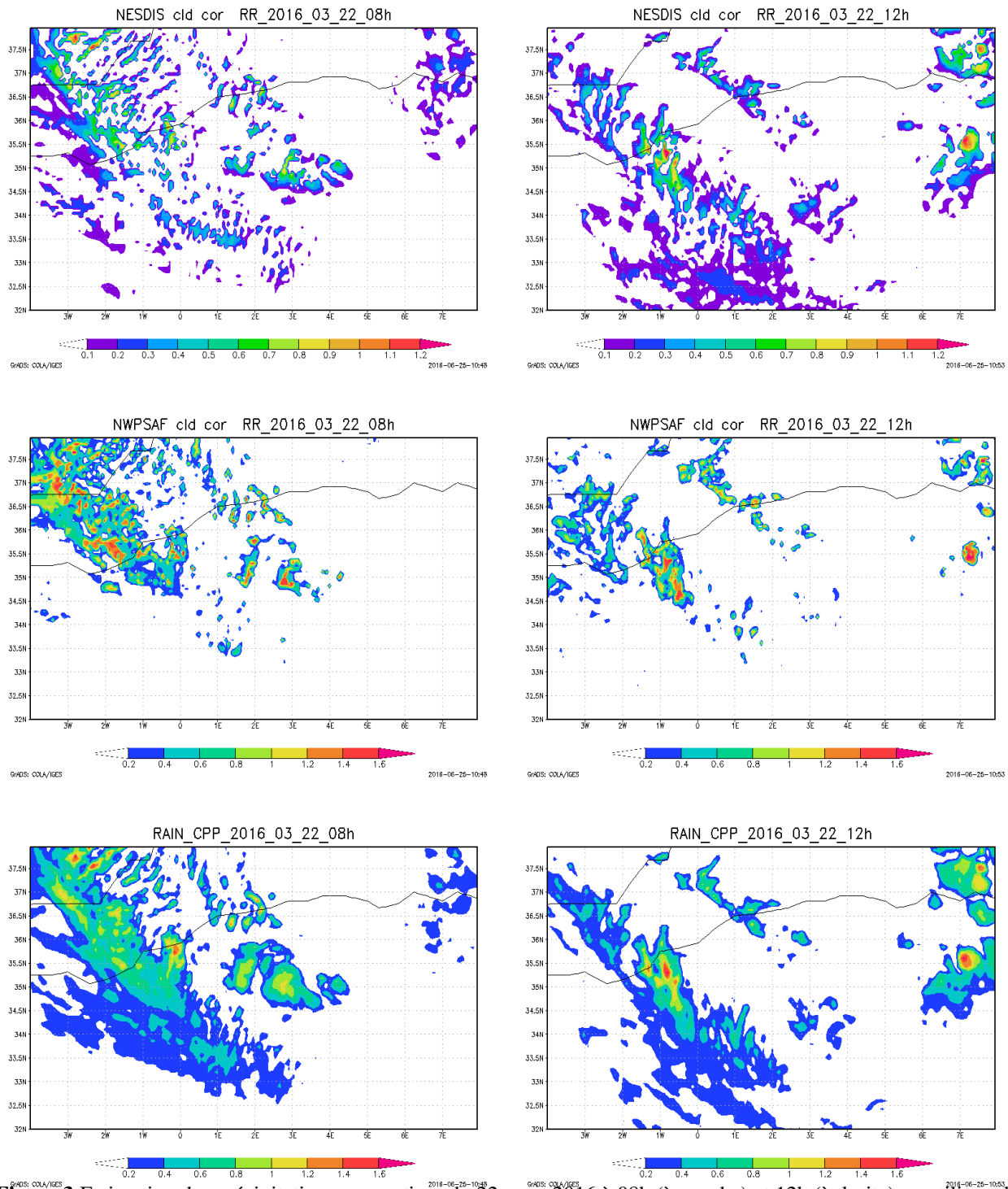


Figure 3: Estimation des précipitations convectives du 22 mars 2016 à 08h (à gauche) et 12h (à droite) en utilisant les deux méthodes NESDIS (en haut) et NWCSAF (au milieu) avec correction CLD, comparées avec le produit MSG-CPP (en bas)

- Calibration dynamique : Les coefficients de $W(T10.8)$ (ex., 1.5, 2.0) sont optimisés par régression radar-satellite, adaptant le modèle aux régimes méditerranéens.

L'analyse comparative des méthodes NOAA/NESDIS et NWCSAF appliquées à l'événement pluvieux du 22 mars 2016 met en évidence la pertinence des deux approches pour l'estimation des précipitations convectives à partir des observations satellitaires. Cependant, leur performance varie

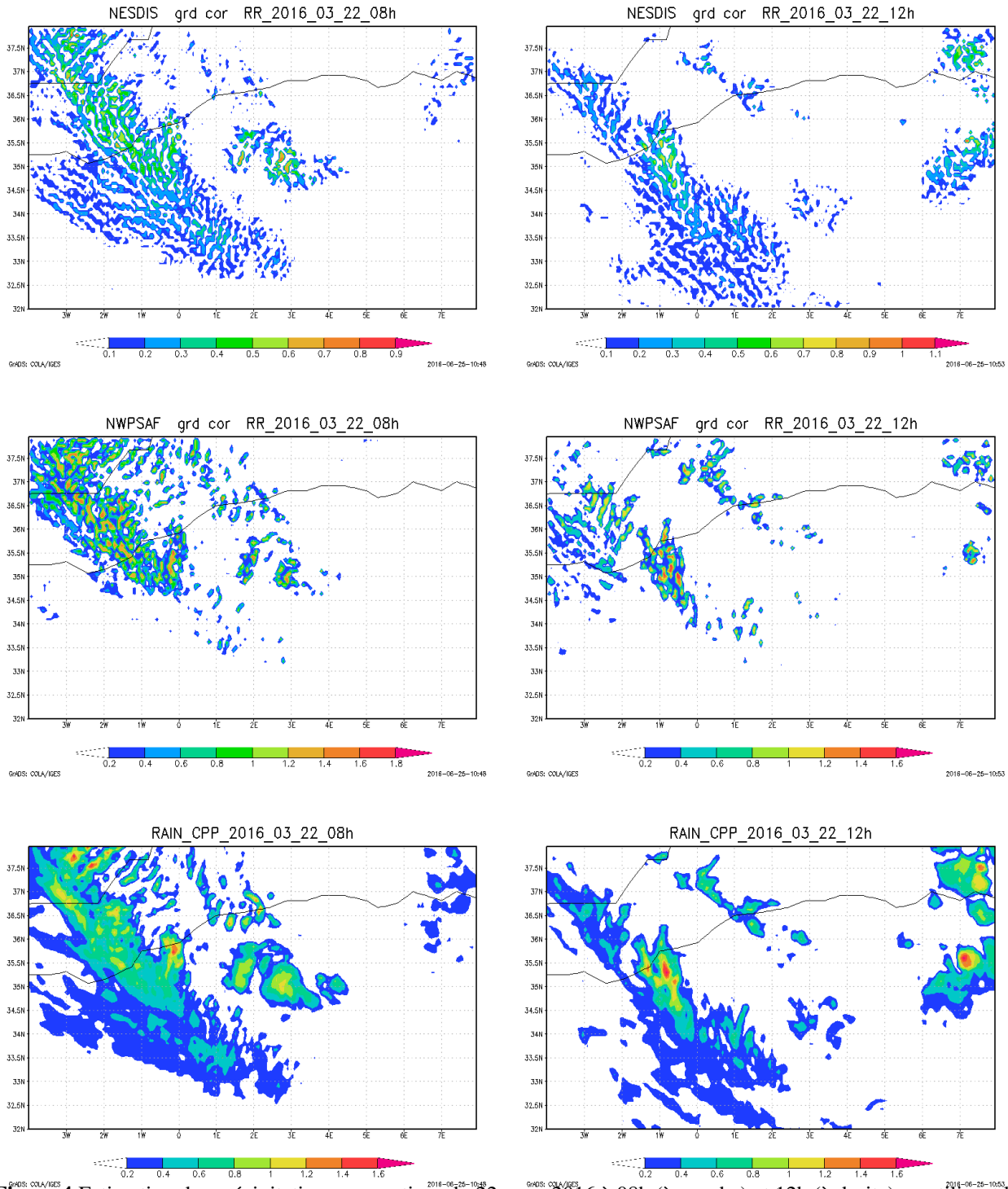


Figure 4: Estimation des précipitations convectives du 22 mars 2016 à 08h (à gauche) et 12h (à droite) en utilisant les deux méthodes NESDIS (en haut) et NWCSAF (au milieu) avec correction GRD, comparées avec le produit MSG-CPP (en bas)

sensiblement selon le contexte atmosphérique, en particulier dans les zones à climat semi-aride comme le nord de l'Algérie.

La méthode développée par la NOAA/NESDIS repose sur une relation exponentielle simple entre la température infrarouge du sommet des nuages (T_{top}) et le taux de

précipitation estimé. Ce modèle, historiquement robuste, est sensible à la hauteur du nuage, ce qui en fait un outil efficace pour détecter les nuages convectifs profonds.

Toutefois, il présente une limite fondamentale : il ne tient pas compte directement de l'humidité ambiante.

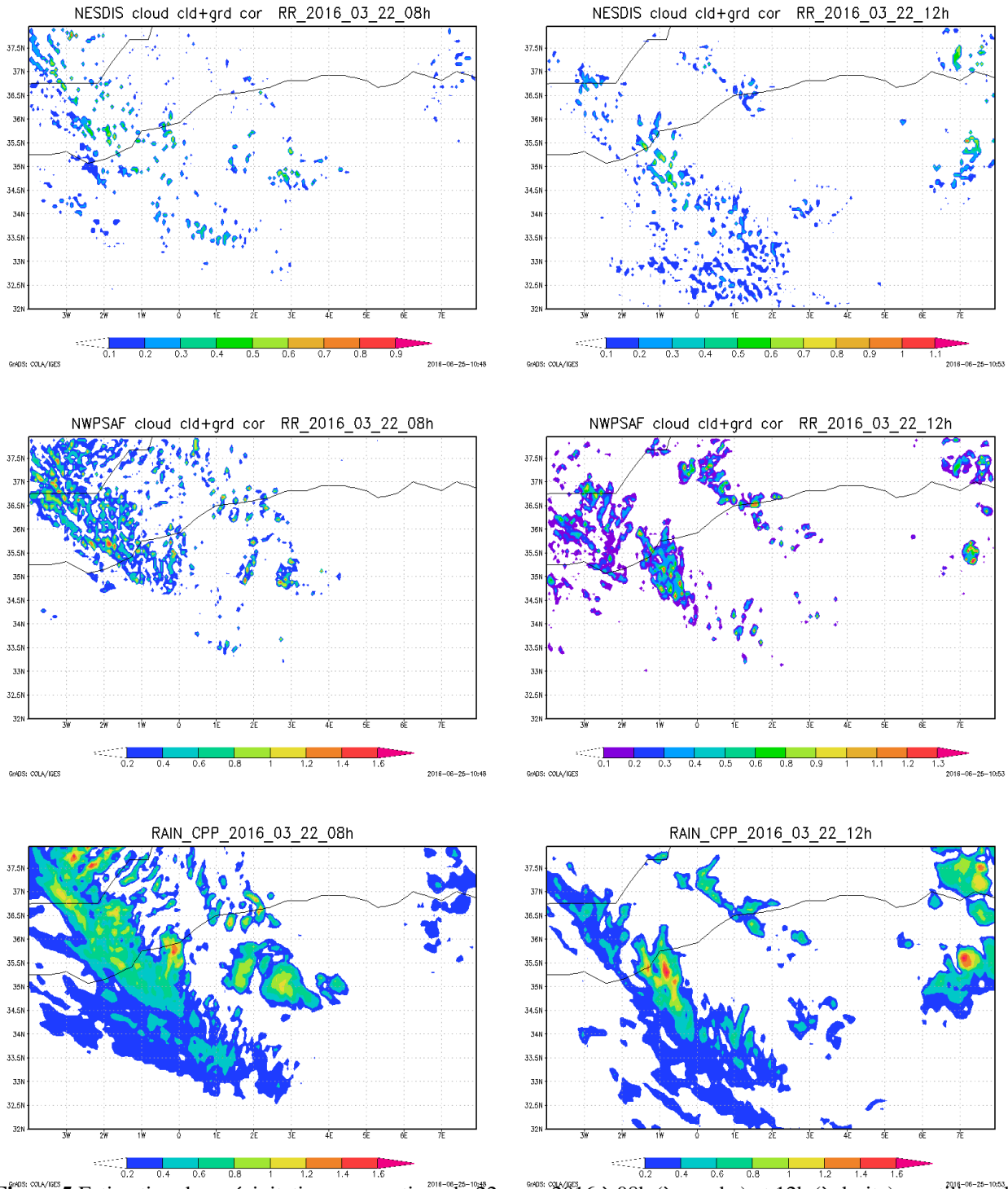


Figure 5: Estimation des précipitations convectives du 22 mars 2016 à 08h (à gauche) et 12h (à droite) en utilisant les deux méthodes NESDIS (en haut) et NWCSAF (au milieu) avec correction CLD et GRD, comparées avec le produit MSG-CPP (en bas)

Dans les environnements secs caractéristiques des régions semi-arides, cette lacune peut entraîner une surestimation des précipitations dans le cas de nuages froids mais peu précipitants.

L'intégration de corrections, notamment celles liées à l'humidité de la colonne d'air (PWRH), à la croissance du nuage (CLD) ou au gradient thermique (GRD), permet d'améliorer significativement les résultats, comme le mon-

Heure	Méthode	Correction appliquée	PLuie estimée	Écart avec MSG CPP
08h00	NESDIS	Sans correction	1.2mm/h	-0.4mm/h
08h00	NWCSAF	CLD + GRD	1.4mm/h	-0.2mm/h
12h00	NESDIS	CLD + GRD	1.5mm/h	-0.1mm/h
12h00	NWCSAF	CLD + GRD	1.6mm/h	0mm/h height

trent les écarts réduits avec le produit de référence MSG CPP.

De son côté, la méthode NWCSAF introduit une modélisation plus fine de la structure nuageuse. En plus de la température infrarouge, elle exploite le canal vapeur d'eau (WV 6.2 μm) et, en conditions diurnes, la réflectance visible. Cette combinaison permet une meilleure appréciation de la verticalité et de l'humidité des nuages, deux facteurs clés dans les régions semi-arides.

Les résultats de l'étude montrent que, même sans calibration locale, la méthode NWCSAF corrigée (CLD + GRD) restitue fidèlement l'intensité et la répartition spatiale des noyaux précipitants, avec une différence quasi nulle par rapport à MSG CPP.

Sur la base des équations utilisées et des performances observées, la méthode NWCSAF apparaît comme la plus adaptée aux contextes climatiques semi-arides. Elle offre une meilleure stabilité temporelle, une réduction efficace des fausses détections (nuages froids non précipitants), et une capacité plus élevée à distinguer les systèmes convectifs actifs des structures nuageuses passives. L'intégration explicite de l'humidité atmosphérique à travers la fonction de correction C (T10.8, T6.2) renforce sa pertinence dans les environnements où l'humidité est souvent le facteur limitant de la précipitation réelle.

En conséquence, pour une utilisation opérationnelle à l'Office National de la Météorologie (ONM), il est recommandé d'adopter la méthode NWCSAF corrigée (CLD + GRD) comme base d'un produit de d'estimation des précipitations convectives sur les régions du nord de l'Algérie.

7. Conclusion

Cette étude a comparé deux algorithmes satellites d'estimation des précipitations convectives dans le contexte algérien. Les résultats montrent que les deux approches sont robustes, en particulier lorsqu'elles intègrent des facteurs de correction dynamiques. Le recours à la télédétection infrarouge, combinée à une validation rigoureuse, permettrait de combler les lacunes d'observation et d'optimiser la gestion des risques hydrométéorologiques.

Les méthodes NOAA/NESDIS et NWCSAF offrent des estimations des précipitations convectives à partir d'images infrarouges satellitaires. L'introduction de facteurs de correction (humidité, croissance nuageuse, gradient thermique) améliore sensiblement leur précision. Les résultats obtenus sur le cas du 22 mars 2016 montrent que la méthode européenne NWCSAF, plus souple dans ses ajustements, donne des résultats très proches du produit MSG CPP, et donc adaptés aux applications opérationnelles de prévision à court terme.

Enfin, l'étude pourrait être étendue à d'autres événements représentatifs de différentes saisons (printemps, été, hiver), afin de tester la robustesse des méthodes dans divers régimes météorologiques. Des études futures évalueront sa performance saisonnière et l'impact des aérosols désertiques sur l'efficacité précipitante. Ces développements positionneront l'ONM en pionnier de la prévision immédiate méditerranéenne, avec un système d'alerte intégrant la détection précoce et des cartes à 3 km de précision actualisées toutes les 15 minutes.

References

- [1] Robert A Houze Jr. Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(10):2179–2196, 1997.
- [2] Roderick A Scofield. The nesdis operational convective precipitation-estimation technique. *Monthly Weather Review*, 115(8):1773–1793, 1987.
- [3] José Alberto Lahuerta García. Algorithm theoretical basis document for the precipitation product processors of the nwc/geo. 2021.
- [4] Brian J Soden and Francis P Bretherton. Interpretation of tovs water vapor radiances in terms of layer-average relative humidities: Method and climatology for the upper, middle, and lower troposphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101(D5):9333–9343, 1996.
- [5] Meike Kühnlein. A machine learning based 24-h-technique for an area-wide rainfall retrieval using msg seviri data over central europe. 2014.
- [6] Arnold Court. Precipitation research, 1975–1978. *Reviews of Geophysics*, 17(6):1165–1175, 1979.
- [7] Gilberto A Vicente, Roderick A Scofield, and W Paul Menzel. The operational goes infrared rainfall estimation technique. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(9):1883–1898, 1998.
- [8] Robert F Adler and Andrew J Negri. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 27(1):30–51, 1988.
- [9] Phillip A Arkin and Bernard N Meisner. The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982–84. *Monthly Weather Review*, 115(1):51–74, 1987.

- [10] Prévisions météorologiques à fort impact (hiw) au ghana : défis et perspectives du système de prévision immédiate par satellite (nwcsaf) pour une meilleure alerte précoce et une meilleure prise de décision. *Préimpressions d'Authorea*.