



HAL
open science

Apport des données Pléiades Neo pour la détection des dommages au bâti : comparaison avec des données Pléiades-HR sur le séisme au Maroc de septembre 2023

Mathilde Mauger-Vauglin, Stephanie Battiston, Mathias Studer, Emilie Bronner

► To cite this version:

Mathilde Mauger-Vauglin, Stephanie Battiston, Mathias Studer, Emilie Bronner. Apport des données Pléiades Neo pour la détection des dommages au bâti : comparaison avec des données Pléiades-HR sur le séisme au Maroc de septembre 2023. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 2024, 226 (1), 10.52638/rfpt.2024.680 . hal-04646999

HAL Id: hal-04646999

<https://hal.science/hal-04646999>

Submitted on 12 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Apport des données Pléiades Neo pour la détection des dommages au bâti :

Comparaison avec des données Pléiades-HR sur le séisme au Maroc de septembre 2023

Mathilde Mauger-Vauglin¹, Stéphanie Battiston¹, Mathias Studer¹, Emilie Bronner²

1 : ICube-SERTIT, Illkirch, France ; maugervauglin@unistra.fr ; s.battiston@unistra.fr ; mathias.studer@unistra.fr

2 : CNES, Toulouse, France ; emilie.bronner@cnes.fr

Résumé

Cette étude approfondie de l'utilisation des données satellitaires Pléiades Neo dans la détection des dommages aux bâtiments, comparée aux données Pléiades-HR, s'est concentrée sur l'évaluation des performances de ces deux capteurs suite au séisme au Maroc en septembre 2023. Les résultats indiquent de manière concluante que la résolution spatiale supérieure des images Pléiades Neo améliore significativement l'interprétation du paysage et la détection des dommages dans les zones bâties. En particulier, ce gain en résolution a permis d'identifier 74% de bâtiments endommagés supplémentaires à Marrakech et de rectifier 24% et 11% de la classification des dommages, respectivement dans les secteurs de Marrakech et d'Imidal. L'étude souligne également la capacité de Pléiades Neo à détecter des détails du paysage urbain, comme les créneaux des remparts de la ville, offrant ainsi la possibilité de repérer des dommages sur d'autres objets ou infrastructures de taille équivalente, une capacité qui n'est pas aussi prononcée avec Pléiades-HR. Les résultats illustrent et confirment les avantages substantiels des données Pléiades Neo pour l'évaluation post-catastrophe, avec une précision accrue dans la détection et la caractérisation des dommages au bâti. L'importance de l'angle d'acquisition des images, mais également la complémentarité de Pléiades Neo par rapport à Pléiades-HR dans le contexte de la cartographie d'urgence, ont également été évoquées. Cette étude atteste des avantages des images Pléiades Neo par rapport à Pléiades-HR dans la gestion des dégâts au bâti suite à des événements catastrophiques.

Mots-Clés : Pléiades Neo, Pléiades-HR, Évaluation des dégâts, Cartographie de crise, Séisme, Maroc

Abstract

This in-depth study of the use of Pleiades Neo satellite data in detecting damage to buildings, compared to Pleiades-HR data, focused on evaluating the performance of these two sensors following the September 2023 earthquake in Morocco. The results conclusively indicate that the higher spatial resolution of Pleiades Neo images significantly enhances landscape interpretation and damage detection in built areas. Specifically, this resolution gain led to the identification of an additional 74% damaged buildings in Marrakech to rectify 24% and 11% of the damage classification in the Marrakech and Imidal sectors, respectively. The study also highlights Pleiades Neo's capability to detect urban landscape details, such as crenels of ramparts, providing the potential to identify damages on other objects or structures of equivalent size; a capacity not as pronounced with Pleiades-HR. The results illustrate and confirm the substantial advantages of Pleiades Neo data for post-catastrophe assessment, with improved precision in damage detection and characterization. The significance of acquisition angle in imaging and the complementarity of Pleiades Neo with respect to Pleiades-HR in the context of emergency mapping were also emphasized. This study attests to the benefits of Pleiades Neo images over Pleiades-HR in managing building damage following catastrophic events.

Keywords: Pleiades Neo, Pleiades-HR, Damage assessment, Crisis Mapping, Earthquake, Morocco

1. Contexte de l'étude

1.1 Cadre de l'analyse

La constellation Pléiades-HR a démontré à maintes reprises ses capacités et son utilité en contexte de crise pour la détection des dommages suite à la survenance d'un événement catastrophique (Huber *et al.*, 2013; Maxant *et al.*, 2013; Yésou, Chastanet, *et al.*, 2015; Yésou, Escudier, *et al.*, 2015). Elle compte aujourd'hui parmi les satellites les plus sollicités par les dispositifs de cartographie d'urgence mondiaux (Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures, Copernicus Emergency Management Service). La nouvelle constellation Pléiades Neo, aux performances encore supérieures à celles de Pléiades-HR en termes de

résolutions spatiale (30cm) et spectrale (6 bandes), a certainement un rôle à jouer dans le domaine de la gestion des risques et des crises, en optimisant les capacités offertes par le spatial (ESA, 2022).

Le CNES a ainsi sollicité le SERTIT pour étudier l'apport des données Pléiades Neo dans des cas de catastrophes en milieu urbain densément peuplé et en milieu rural au travers de démonstrateurs dédiés. Le séisme qui a durement frappé la région de Marrakech-Safi au Maroc le 8 septembre 2023 a été retenu pour un premier démonstrateur, les dommages occasionnés étant considérables et ayant autant touché des zones urbaines denses que des villages de montagne.

Une première comparaison des données Pléiades-HR et Pléiades Neo lors de l'éruption volcanique dans les îles Tonga en janvier 2022 avait mis en évidence la finesse de la résolution spatiale des images Pléiades Neo, permettant d'analyser les dommages et le paysage avec plus de confiance. L'analyse d'images Pléiades Neo en contexte opérationnel de cartographie d'urgence lors du séisme en Turquie survenu en février 2023 a également fourni des résultats prometteurs pour la détection des dommages au bâti.

Ainsi, ce démonstrateur sur le séisme au Maroc a non seulement l'objectif d'analyser précisément les capacités des données Pléiades Neo pour ce type d'application, mais aussi celui de dégager des recommandations pour les activités de cartographie d'urgence et pour l'intégration de ces données dans le cadre de la Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures.

1.2 Utilisation des données Pléiades Neo dans les dispositifs de cartographie d'urgence

La constellation Pléiades-HR est couramment sollicitée par les deux principaux dispositifs de cartographie d'urgence lors d'événements catastrophiques depuis sa mise en opération. Elle est aujourd'hui l'une des sources de données optiques très haute résolution les plus fréquemment utilisées en raison de ses performances spatiales, spectrales et de revisite (International Charter Space & Major Disasters, 2023). Afin de garantir la continuité et la qualité des services fournis par Pléiades-HR, le programme Copernicus et la Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures ont fait le choix d'intégrer la constellation Pléiades Neo à leurs ressources spatiales. Ainsi, Pléiades Neo fait partie intégrante des Copernicus Contributing Missions, tant pour des besoins standards que pour des acquisitions en mode urgent. Suite à une période de validation, Pléiades Neo a été intégré comme contribution française aux satellites de la Charte en octobre 2023. Ce satellite sera utilisé lors de catastrophes avec dommages au bâti (de type séisme, explosion technologique ...) et sera commandable seulement par les Project Managers des activations de la Charte (experts veillant à la bonne coordination de toutes les étapes).

La Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures a été créée en 1999 à l'initiative de l'ESA (Agence spatiale européenne) et du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), avec pour objectif de fournir gratuitement des données satellites dans le cadre de demandes urgentes de la part de pays touchés par des catastrophes naturelles ou d'origine humaine partout dans le monde. Ce dispositif fondé sur la coopération entre les agences spatiales propose ainsi un système unifié d'acquisition de données satellites afin de faciliter leurs accès aux acteurs de la gestion de crise par le biais d'utilisateurs autorisés (Bessis, Béquignon, et Mahmood 2004 ; International Disasters Charter 2024). La Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures est opérationnelle depuis 2000 et compte aujourd'hui 17 agences membres et 7 fournisseurs de données spatiales.

Copernicus Emergency Management Service (CEMS) est l'un des principaux services du programme européen Copernicus : il fournit gratuitement et sur demande des informations géospatiales pour la gestion d'événements d'origine naturelle ou humaine survenant partout dans le monde. Le volet Mapping de CEMS intervient en support

à la gestion de crise (Rapid Mapping) et à la prévention, à la mitigation et au relèvement (Risk & Recovery Mapping). Il joue un rôle crucial dans la réponse aux catastrophes en fournissant des informations cartographiques précises, actuelles, standardisées et facilement accessibles pour orienter les opérations de secours et la gestion de crise. Le service CEMS, opérationnel depuis 2012, fournit dans les heures et jours qui suivent un événement, des informations géospatiales basées sur des images satellite aux utilisateurs autorisés (sécurités civiles européennes et autres services de l'Union Européenne) et associés (entités publiques locales, régionales, organisation internationales, ONG) (Copernicus, 2024).

Suite au tremblement de terre du 8 septembre 2023 ayant fortement affecté la région de l'Atlas et de Marrakech au Maroc, les deux dispositifs, Charte et CEMS Rapid Mapping (CEMS RM), ont été activés quelques heures après les secousses, afin d'évaluer les dommages à partir d'images satellites optiques très haute résolution spatiale. Les zones d'analyses ont été établies de façon coordonnée entre les deux dispositifs de gestion de crise. Des images Pléiades-HR et Pléiades Neo ont été acquises pour couvrir l'événement (GDACS, 2023).

1.3 Séisme de Marrakech-Safi du 8 septembre 2023

Le 8 septembre 2023 à 22h11 UTC, un séisme d'une magnitude comprise entre 6,7 et 6,9 sur l'échelle de Richter a frappé la région de Marrakech-Safi au Maroc. Il s'agit du plus important tremblement de terre enregistré par des stations sismiques de l'histoire du pays. L'épicentre de ce tremblement de terre meurtrier se situe à environ 70 kilomètres au sud-ouest de Marrakech au niveau de la région montagneuse du Haut Atlas, dans le centre du pays. Dans cette zone montagneuse, de nombreux villages ont subi de lourds dégâts sur le bâti et les réseaux de transports, compliquant l'accès pour les services de secours. Les secousses de ce séisme ont été ressenties jusque dans les villes de Rabat et Casablanca, sur la côte Atlantique nord, ainsi qu'à Essaouira et Agadir à l'ouest (Yeck *et al.*, 2023).

2. Méthodologie

2.1 Définition des zones d'étude

L'objectif du démonstrateur étant de travailler sur des secteurs aux caractéristiques variées tout en apportant de la valeur ajoutée complémentaire aux produits déjà délivrés par le dispositif CEMS RM et la Charte Internationale, un inventaire complet des acquisitions Pléiades-HR et Pléiades Neo post-événementielles, des zones d'intérêt et des produits à valeur ajoutée effectués dans les deux dispositifs a été réalisé. Ce recensement a permis de mettre en évidence des zones :

- non couvertes par les deux dispositifs en termes de produits cartographiques,
- aux paysages différents : urbain dense, zone rurale, secteur de plaine, zone de relief,
- où des dégâts sont visibles ou ont été rapportés.

Deux zones d'étude ont ainsi été définies, Marrakech et Imidal :

2.1.1 Marrakech

Cette première zone se trouve à environ 70km au nord-est de l'épicentre, dans un secteur de plaine, et correspond à une zone urbaine dense (Figure 1). Elle couvre la partie sud du quartier de la Medina et est complémentaire de l'analyse réalisée par UNOSAT dans le cadre de la Charte, sur les quartiers alentours (SERTIT, 2023; UNITAR, 2023). Selon la presse, des dégâts ont été répertoriés dans cette zone, en particulier dans le Mellah, quartier situé au nord du quartier Jhane Laafia, dont le bâti est dense et ancien.



Figure 1 : Emprise de la zone de Marrakech

2.1.2 Imidal

La seconde zone se trouve à environ 30km à l'est de l'épicentre, dans un secteur de montagne, et correspond à des zones rurales au bâti peu dense (Figure 2). Elle couvre les villages de Ourigh, Tiniskt, Imidal et Imdal. Selon la presse, de nombreux et importants dégâts ont été relevés dans ce secteur.



Figure 2 : Emprise de la zone d'Imidal

2.2 Sélection des images

La réalisation de l'étude nécessite une acquisition Pléiades-HR et une acquisition Pléiades Neo pour chacune des deux zones. Pour qu'une comparaison soit possible, les deux images doivent avoir un angle d'incidence et une date d'acquisition les plus proches possibles. Les Tableau 1 et Tableau 2 ci-dessous présentent les images utilisées.

Capteur	Date d'acquisition	Angle d'incidence
Pléiades-HR 1B	10.09.2023 10:15 UTC	25.82°
Pléiades Neo-3	11.09.2023 11:13 UTC	28.56°

Tableau 1 : Images utilisées sur le secteur de Marrakech

Les angles d'incidence sur le secteur de Marrakech sont importants pour une analyse des dommages au bâti mais restent acceptables et ont l'avantage d'être très similaires (Tableau 1). Les dates d'acquisition sont parfaites puisque très proches l'une de l'autre et de la date du séisme.

Il est à noter qu'une image Pléiades Neo-4 acquise le 10 septembre 2023 sur Marrakech a été mise à disposition par Airbus DS. Toutefois, du fait d'un angle d'incidence trop important (43.43°), cette donnée n'a pas pu être considérée pleinement dans cette étude et a tout de même été analysée pour illustrer l'influence de l'angle d'observation sur l'interprétation de l'image et l'identification des dégâts. Quelques captures (section 3.4 Influence de l'angle) illustrent ces effets.

Capteur	Date d'acquisition	Angle d'incidence
Pléiades-HR 1B	22.09.2023 11:23 UTC	6.24°
Pléiades Neo-4	15.10.2023 11:17 UTC	9.16°

Tableau 2 : Images utilisées sur le secteur d'Imidal

Sur le secteur d'Imidal, une demande d'acquisition Pléiades Neo avec un angle d'incidence le plus proche possible de l'acquisition Pléiades-HR planifiée pour le 22 septembre a été faite auprès d'Airbus DS. Malheureusement, pour respecter la contrainte liée à l'angle, la première tentative d'acquisition n'a pu avoir lieu que début octobre, et la première image exploitable n'a été acquise que le 15 octobre 2023 ; elle comporte un couvert nuageux relativement important, mais une partie de la zone d'étude est exploitable. Cette image a donc été utilisée pour effectuer l'interprétation des dommages. Il est à noter qu'un long délai dans l'acquisition des données Pléiades Neo est à constater car la demande de programmation a été faite en dehors du mécanisme d'urgence Charte, le satellite Pléiades Neo n'étant pas encore totalement intégré au moment du séisme.

Les 23 jours d'écart entre les deux observations Pléiades-HR et Pléiades Neo sont assez importants, sachant que des travaux de déblaiement ont pu être effectués entre les deux dates. Toutefois les angles

d'acquisition similaires sont indispensables pour cette étude. Après analyse de l'image, la situation au sol a peu changé entre les deux dates, l'utilisation de ces données reste donc pertinente.

2.3 Analyse des dommages

L'analyse des images et la classification des dégâts s'est faite conformément aux procédures appliquées dans le cadre de la cartographie d'urgence :

- Analyse des images par photo-interprétation par un opérateur qualifié et expérimenté,
- En suivant le guide d'identification et de classification des dégâts utilisé par la communauté mondiale de cartographie d'urgence (IWG-SEM),
- Comparaison en premier lieu de l'image Pléiades-HR post-événement avec les images de référence, à savoir :
 - Fond ESRI World Imagery (Worldview-3, 0.3m du 28.04.2023),
 - Fond Google Satellite (Worldview-3, 0.3m du 14.06.2019),
- Comparaison ensuite de l'image Pléiades Neo post-événement avec les images de référence,

- Validation des analyses par un autre opérateur qualifié,
- Comparaison des résultats Pléiades-HR et Pléiades Neo.

Les conséquences d'un séisme sur les infrastructures urbaines et rurales observables sur des images satellites peuvent être variées : bâtiments endommagés, voies de communication obstruées ou endommagées, autres infrastructures affectées, installation de camps de tentes pour les personnes déplacées, etc... Mises à part les ruelles obstruées par les bâtiments effondrés dans les villages de montagne, aucun impact significatif sur le réseau routier n'a été observé sur les images Pléiades-HR et Pléiades Neo. Des camps de tentes ont été détectés sur les deux types d'images, mais sans différence majeure d'interprétation. Cette étude se focalise donc sur les dommages aux bâtiments, dont l'interprétation est souvent la plus difficile.

Le guide d'interprétation ci-dessous (Tableau 3) suit la classification des dégâts aux bâtiments causés par des événements de type séisme ou cyclone / tempête / ouragan communément suivie par la communauté mondiale de cartographie d'urgence. Cette classification suit les recommandations faites par l'International Working Group on Satellite-based Emergency Mapping (IWG SEM, 2023).

Classe	Interprétation	Illustration
No visible damage Pas de dommage visible	Classe attribuée à tous les bâtiments totalement similaires à l'image de référence. Aucun élément visible sur l'image ne permet d'identifier un quelconque dommage. La vision satellitaire étant généralement nadirale, il n'est cependant pas possible de détecter d'éventuels dégâts sur les façades.	
Possibly damaged Possiblement endommagé	Classe attribuée en cas d'incertitude. Il peut y avoir des indices permettant d'estimer que la structure est potentiellement affectée, comme la présence de débris au sol, autour de celui-ci.	
Damaged Endommagé	Classe attribuée aux structures ayant visiblement subi des dégâts : soit une partie de l'édifice s'est effondrée, soit la toiture est impactée.	
Destroyed Détruit	Classe attribuée aux structures dont tout ou partie (>50%) de l'édifice s'est effondré.	

Tableau 3 : Guide d'interprétation et classification des dégâts au bâti suite à un séisme. Illustrations réalisées à partir d'images Pléiades-HR utilisées dans le cadre de cette étude.

Malgré le fait que ce guide d'interprétation ait été réalisé avec des images Pléiades-HR, il est à noter que la classification reste la même pour l'interprétation des images Pléiades Neo.

3. Analyse des résultats

3.1 Résultats par zone et par capteur

L'analyse et la classification des dégâts ont été d'abord faites sur les images Pléiades-HR afin de ne pas être influencé par de potentiels dégâts visibles uniquement sur les images Pléiades Neo.

3.1.1 Marrakech

La première évaluation des dommages au bâti sur la zone de Marrakech avec Pléiades-HR a conduit au résultat présenté en Figure 3.

L'analyse de l'image Pléiades-HR1B sur le secteur de Marrakech a mis en évidence 103 structures endommagées ou possiblement endommagées, selon la classification suivante :

Possiblement endommagé	Endommagé	Détruit
43	59	1

Tableau 4 : Classification des dégâts sur Marrakech à partir de l'image Pléiades-HR1B acquise le 10.09.2023

L'évaluation des dommages sur la zone de Marrakech avec Pléiades Neo-3 a amené au résultat illustré en Figure 4.

Cette analyse a mis en évidence 270 structures endommagées ou possiblement endommagées, selon la classification suivante :



Figure 3 : Analyse des dégâts sur Marrakech à partir de l'image Pléiades-HR1B acquise le 10.09.2023

3.2 Comparaison statistique des résultats Pléiades-HR / Pléiades Neo

La résolution spatiale de Pléiades Neo étant plus fine que celle de Pléiades-HR, les résultats issus de l'analyse Pléiades Neo sont considérés comme étant la référence. Ainsi, dans le cas par exemple de dommages détectés

Possiblement endommagé	Endommagé	Détruit
83	178	9

Tableau 5 : Classification des dégâts sur Marrakech à partir de l'image Pléiades Neo-3 acquise le 11.09.2023

3.1.2 Imidal

En ce qui concerne l'évaluation des dégâts sur le secteur Imidal les résultats obtenus sont les suivants.

L'analyse de l'image Pléiades-HR1B a mis en évidence 241 structures endommagées ou possiblement endommagées, selon la classification :

Possiblement endommagé	Endommagé	Détruit
36	67	138

Tableau 6 : Classification des dégâts sur le secteur d'Imidal à partir de l'image Pléiades-HR1B acquise le 22.09.2023

L'analyse de l'image Pléiades Neo-4 a mis en évidence 227 structures endommagées ou possiblement endommagées, et 23 structures sans dommage visible, selon la classification suivante :

Possiblement endommagé	Endommagé	Détruit
12	63	152

Tableau 7 : Classification des dégâts sur le secteur d'Imidal à partir de l'image Pléiades Neo-4 acquise le 15.10.20

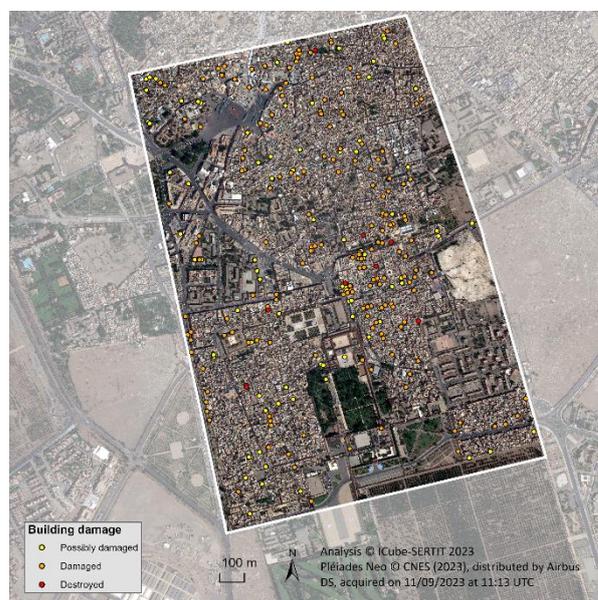


Figure 4 : Analyse des dégâts sur Marrakech à partir de l'image Pléiades Neo-4 acquise le 11.09.2023

avec Pléiades-HR mais non détectés avec Pléiades Neo, cela ne signifie pas que Pléiades-HR a des capacités supérieures à celles de Pléiades Neo mais au contraire que Pléiades Neo permet d'affiner l'analyse et de lever les doutes. Il en est de même pour l'interprétation du niveau des dommages.

3.2.1 Marrakech

Ainsi, sur le secteur de Marrakech, zone urbaine dense aux dommages éparses, l'image Pléiades Neo permet clairement, d'une part de détecter davantage de bâtiments endommagés (+179) et d'autre part d'affiner l'interprétation sur la présence ou non de dommages (12 objets) et sur le niveau de dommages (24% des objets) (Tableau 8).

Analyse PHR	Analyse PNeo	Total
Dégât défecté	Dégât non détecté	12*
Dégât non détecté	Dégât défecté	179
Dégât interprété comme plus important	Dégât interprété comme moins important	3
Dégât interprété comme moins important	Dégât interprété comme plus important	19
Interprétation identique		69

Analyse PHR	Analyse PNeo
103	270

Tableau 8 : Comparaison des analyses Pléiades-HR et Pléiades Neo sur le secteur de Marrakech

* Il s'agit d'erreurs d'interprétation liées à la résolution de l'image Pléiades-HR

3.2.2 Imidal

Sur le secteur d'Imidal, zone rurale et montagneuse de villages fortement affectés, l'image Pléiades Neo permet également d'affiner l'interprétation des dommages, puisqu'une part non négligeable de dommages a été surestimée ou sous-estimée avec Pléiades-HR. Dans ce type de paysage, de structure urbaine et de densité de dommages, Pléiades Neo ne recense pas spécialement plus de bâtiments endommagés que Pléiades-HR, qui semble déjà bien détecter les dégâts, mais permet

d'affiner l'analyse, de lever les doutes et de corriger les mauvaises détections liées à la résolution de Pléiades-HR. Le Tableau 9 regroupe l'ensemble de ces résultats.

Analyse PHR	Analyse PNeo	Total
Dégât défecté	Dégât non détecté	24
Dégât non détecté	Dégât défecté	10
Dégât interprété comme plus important	Dégât interprété comme moins important	2
Dégât interprété comme moins important	Dégât interprété comme plus important	21
Interprétation identique		194

Analyse PHR	Analyse PNeo
241	227

Tableau 9 : Comparaison des analyses Pléiades-HR et Pléiades Neo sur le secteur d'Imidal

3.3 Comparaison visuelle des différences Pléiades-HR / Pléiades Neo

Le gain en précision et donc en facilité de détection des dommages sur les images Pléiades Neo est illustré par des exemples concrets présentés dans les figures suivantes.

L'apport des données Pléiades Neo pour la détection des dommages en milieu urbain sur des objets de petite taille est parfaitement illustré par l'exemple présenté en Figure 5. L'image Pléiades-HR (au centre) ne permet pas d'identifier les remparts de la médina de Marrakech comme tels, et encore moins de détecter les créneaux les composant. Sur l'image Pléiades Neo (à droite), il est non seulement possible de détecter et individualiser les créneaux des remparts, mais aussi d'observer les segments de remparts endommagés et les débris au sol causés par la chute de créneaux.



Figure 5 : Segment de remparts de la médina de Marrakech endommagé

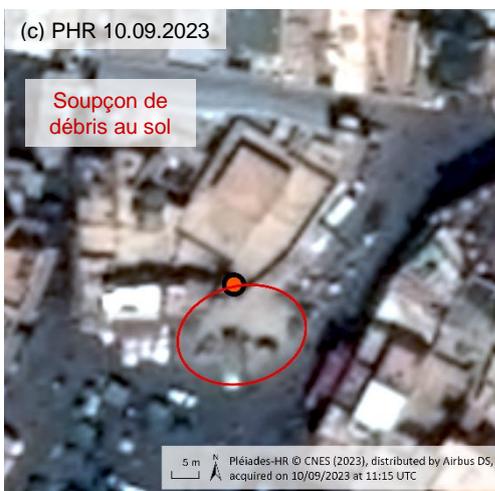
L'exemple suivant illustre l'effondrement du minaret de la Mosquée Kharbouch sur la place Jemaa el-Fna de Marrakech (Figure 6). Si les dommages sur le minaret et les débris au sol liés à son effondrement ne sont pas clairement identifiables sur l'image Pléiades-HR (Figure 6c), ils sont déjà plus nettement observables sur l'image Pléiades Neo (Figure 6d). Il faut cependant reconnaître l'utilité des médias en complément des données d'observation de la Terre pour la reconnaissance de ce dommage précis (Figure 6a).



(a) Photographie in-situ post-séisme
© Reuters / Abdelhak Balhaki



(b) Avant séisme



(c) PHR 10.09.2023

Suspçon de débris au sol



(d) PNeo 11.09.2023

Présence de débris au sol

Figure 6 (a, b, c, d) : Illustration de l'effondrement du minaret de la Mosquée Kharbouch sur la place Jemaa el-Fna à Marrakech

La sous-détection de bâtiments sur l'image Pléiades-HR est illustrée par la Figure 7. En effet, les bâtiments sont analysés comme étant possiblement affectés « Possibly damaged » sur l'image Pléiades Neo (Figure 7c) et n'avaient pas été détectés comme endommagés sur l'image Pléiades-HR (Figure 7b).



(a) Avant séisme



(b) PHR 10.09.2023

Débris au sol non identifiés sur l'image Pléiades-HR

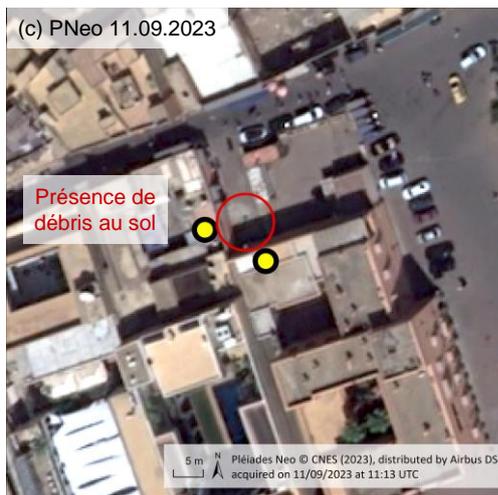


Figure 7 (a, b, c) : Illustration de bâtiments "Possibly damaged" dans le secteur de Marrakech

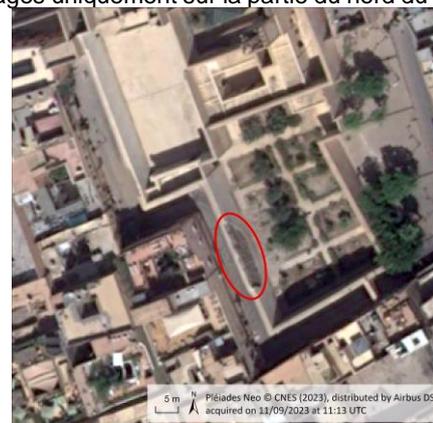
Un exemple de bâtiment analysé comme étant endommagé « Damaged » sur l'image Pléiades Neo (Figure 8c) et qui avait bien été détecté comme endommagé sur l'image PHR (Figure 8b), est présenté en Figure 8.



Figure 8 (a, b, c) : Illustration d'un bâtiment "Damaged" dans le secteur de Marrakech

3.4 Influence de l'angle

L'angle d'acquisition des images influence beaucoup dans la capacité de détection des dégâts (Figure 9). En effet, sur l'image Pléiades Neo-3 acquise le 11/09/2023 avec un angle d'incidence de $28,56^\circ$ (Figure 9a), il est possible de détecter des dommages uniquement sur la partie du sud du rempart. A l'inverse, sur l'image Pléiades Neo-4 acquise le 10/09/2023 avec un angle d'incidence de $43,43^\circ$ (Figure 9b), il est possible de détecter des dommages uniquement sur la partie du nord du rempart.



(a) Image Pléiades Neo-3 acquise le 11.09.2023 avec un angle d'incidence de $28,6^\circ$



(b) Image Pléiades Neo-4 acquise le 10.09.2023 avec un angle d'incidence de $43,43^\circ$

Figure 9 (a, b) : Illustration de l'influence de l'angle dans l'identification des dommages

Certes un angle important peut permettre dans certains cas de détecter des dommages ou des indices sur des façades de bâtiment qui ne seraient pas visibles avec une observation plus proche du nadir. Toutefois, de forts angles empêchent de voir des débris dans les rues dissimulées par les bâtiments environnants, surtout quand elles sont étroites. Or la présence de débris est l'un des indices les plus importants pour détecter les dommages au bâti. C'est ce que démontre clairement la Figure 10 ci-après.



(a) Image Pléiades Neo-3 acquise le 11.09.2023 avec un angle d'incidence de **28,6°**



(b) Image Pléiades Neo-4 acquise le 10.09.2023 avec un angle d'incidence de **43,43°**

Figure 10 (a, b) : Illustration de l'influence de l'angle dans l'identification des dommages : angle trop fort entraînant la non détection des dégâts

4. Conclusion, recommandations et perspectives

La résolution spatiale des images Pléiades Neo offre indéniablement un gain important dans l'interprétation du paysage et la détection et l'évaluation du niveau de dégâts en milieu bâti par rapport aux images Pléiades-HR. En effet, les images Pléiades Neo ont par exemple permis de détecter 74% de bâtiments endommagés en plus sur la zone de Marrakech. Par ailleurs, ces données

ont permis d'affiner la classification de certains dégâts, surestimés ou sous-estimés par l'analyse Pléiades-HR.

D'autres part, Pléiades Neo est capable de détecter des éléments du paysage urbain de taille réduite, comme les créneaux des remparts et les dégâts associés. Cela laisse imaginer la possibilité de déceler des dommages sur d'autres objets ou infrastructures de taille équivalente, au contraire de Pléiades-HR.

Même si les images Pléiades Neo, du fait de leur résolution, impliquent un stockage et potentiellement des temps de prétraitement plus importants, elles permettent de diminuer considérablement le temps d'analyse pour un opérateur dans le processus de photo-interprétation.

Ainsi, bien que les images Pléiades-HR permettent de dresser une première analyse des dégâts post-séisme, les données Pléiades Neo s'imposent donc comme étant indispensables pour effectuer une interprétation plus exhaustive et plus précise des dégâts en milieu urbain et en paysage rural bâti. Cela est encore plus vrai dans les paysages de type Atlas marocain, où le bâti et le sol se confondent de par leur couleur et leur texture.

Pour les événements de grande ampleur de type séisme (mais également pour tous les événements nécessitant une analyse des dégâts aux infrastructures, comme les tempêtes, ouragans, cyclones...), il semble primordial de prioriser les images Pléiades Neo sur les zones urbaines les plus sinistrées. Les images Pléiades-HR pourraient être exploitées en complément sur des zones périphériques.

Dans un contexte d'urgence, les premières images satellites pertinentes disponibles, quel que soit l'angle d'acquisition, sont et doivent être exploitées afin de dresser un premier bilan des dommages. Cependant, comme constaté plus haut, l'angle d'observation influe de manière non négligeable sur la capacité à détecter des dégâts. Un angle le plus faible possible doit être privilégié quand cela est possible. Il serait intéressant d'utiliser les images Pléiades-HR et Pléiades Neo de manière complémentaires, afin d'optimiser les acquisitions d'un jour à l'autre selon l'angle d'incidence.

Un second démonstrateur est envisagé sur une ville occidentale afin d'évaluer l'apport des données Pléiades Neo sur un autre type d'architecture urbaine.

L'étude s'est focalisée sur la détection de dommages au bâti suite à un événement de type séisme à partir de données monoscopiques Pléiades-HR et Pléiades Neo. Les deux constellations offrent des capacités stéréoscopiques, il pourrait être intéressant d'étudier la différence de potentiel sur les aspects 3D pour la détection des dommages au bâti.

D'autre part, l'apport des bandes spectrales additionnelles proposées par Pléiades Neo pourrait être analysé sur d'autres types d'événements plus adéquats (les bandes du visible étant le plus pertinentes dans un contexte de séisme).

Enfin, de par sa conception et sa technologie récente, Pléiades Neo offre une très grande réactivité dans le chargement du plan d'acquisition (toutes les 50 minutes contre toutes les 8 heures pour Pléiades-HR) et dans la

mise à disposition des données (possible en seulement 30 minutes après l'acquisition). Ce sont des atouts supplémentaires et primordiaux dans la réponse à l'urgence.

5. Remerciements

Cette étude a été soutenue par le CNES afin de mieux connaître l'apport du nouveau capteur Pléiades Neo, proposé à la Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures depuis octobre 2023, en complément des données SPOT et Pléiades-HR.

Les images Pléiades Neo utilisées dans le cadre de cette étude ont été fournies par Airbus DS (© CNES 2023, distribution Airbus DS), l'image Pléiades-HR du 22 septembre 2023 ayant d'autre part été acquise dans le cadre des travaux de la CIEST², Cellule d'Intervention et d'Expertise Scientifique et Technique.

Références

- Bessis, J.-L., Béquignon, J. and Mahmood, A. (2004) 'The International Charter "Space and Major Disasters" initiative', *Acta Astronautica*, 54(3), pp. 183–190. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00297-7](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00297-7).
- Copernicus (2024) *The Emergency Management Service - Mapping, Copernicus EMS - Mapping*. Available at: <http://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/emergency-management-service-mapping>.
- Esa (2022) *Pleiades Neo - eoPortal*. Available at: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/pleiades-Neo#launch-1>.
- GDACS (2023) *Smcs*. Available at: <https://smcs.unosat.org/event/282>.
- Huber, C. *et al.* (2013) *Synergy of VHR pleiades data and SWIR spectral bands for flood detection and impact assessment in urban areas: Case of Krymsk, Russian Federation, in July 2012*, p. 4541. Available at: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2013.6723845>.
- International Charter Space & Major Disasters (2023) *Disasters Charter Annual Report*. Available at: <https://disasterscharter.org/documents/10180/22404724/Disasters-Charter-Annual-Report-2022>.
- International Disasters Charter (2024) *Home - International Disasters Charter*. Available at: <https://disasterscharter.org/fr/web/guest/home>.
- IWG SEM (2023) *IWG SEM*. Available at: https://www.un-spider.org/sites/default/files/IWG_SEM_Guidelines_Building%20Damage%20Assessment_v1.0.pdf.
- Maxant, J. *et al.* (2013) 'Contribution of Pleiades HR imagery for disaster damage mapping : initial feedback over Asia, Africa, Europe or the Caribbean'.
- SERTIT (2023) 'Service de cartographie rapide', *SERTIT*. Available at: <https://sertit.unistra.fr/rms/>.
- UNITAR (2023) *Earthquake in Morocco on 9 September 2023*. Available at: <https://experience.arcgis.com/experience/c6682b3811894bff9ffcfa58c166d742/page/UNOSAT/>.
- Yeck, W.L. *et al.* (2023) 'Rapid Source Characterization of the 2023 Mw 6.8 Al Haouz, Morocco, Earthquake', *The Seismic Record*, 3(4), pp. 357–366. Available at: <https://doi.org/10.1785/0320230040>.
- Yésou, H., Chastanet, P., *et al.* (2015) 'Contribution de l'imagerie Pléiades à la cartographie rapide des dégâts suite à des catastrophes majeures: retours d'expériences après deux ans d'actions de cartographie rapide localisées en Asie, en Afrique, en Europe et aux Caraïbes', *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, (209), pp. 81–87. Available at: <https://doi.org/10.52638/rfpt.2015.236>.
- Yésou, H., Escudier, A., *et al.* (2015) 'Exploitation de l'imagerie Pléiades-THR en cartographie réactive suite à des catastrophes naturelles ayant affecté le territoire français en 2013', *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, (209), pp. 39–45. Available at: <https://doi.org/10.52638/rfpt.2015.210>.