

*L'espace :  
une nouvelle frontière.*

*Une rupture  
épistémologique et  
pédagogique novatrice*

Laurent Carroué, Inspecteur général, IGESR

Fabien Vergez, IA-IPR, Académie de Toulouse

Paris, mercredi 24 janvier 2024

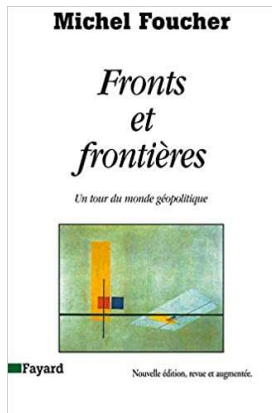
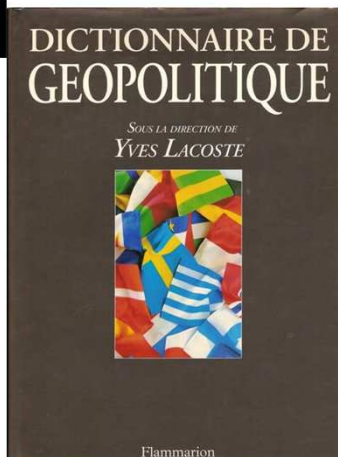
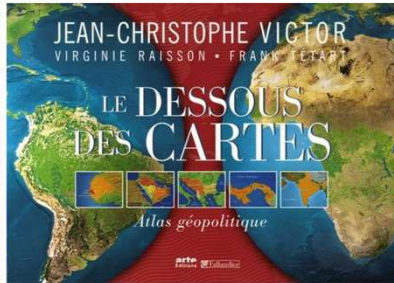
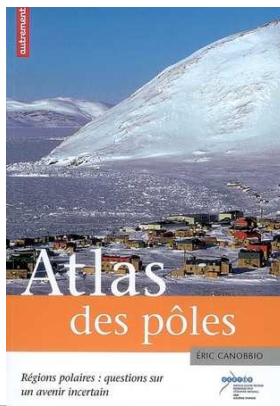
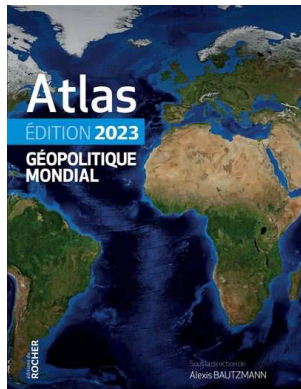
# Plan

- I. Epistémologie : le Temps des *Révolutions*
- II. La révolution spatiale en cours : une véritable révolution intellectuelle, technique et scientifique
- III. Guerres et paix, militarisation et arsenalisation de l'espace
- VI. Les images satellites, une (R)évolution des pratiques



# I. Le temps des *Révolutions*





## Le Temps des « Révolutions » de la géographie universitaire et scolaire : une dynamique systémique

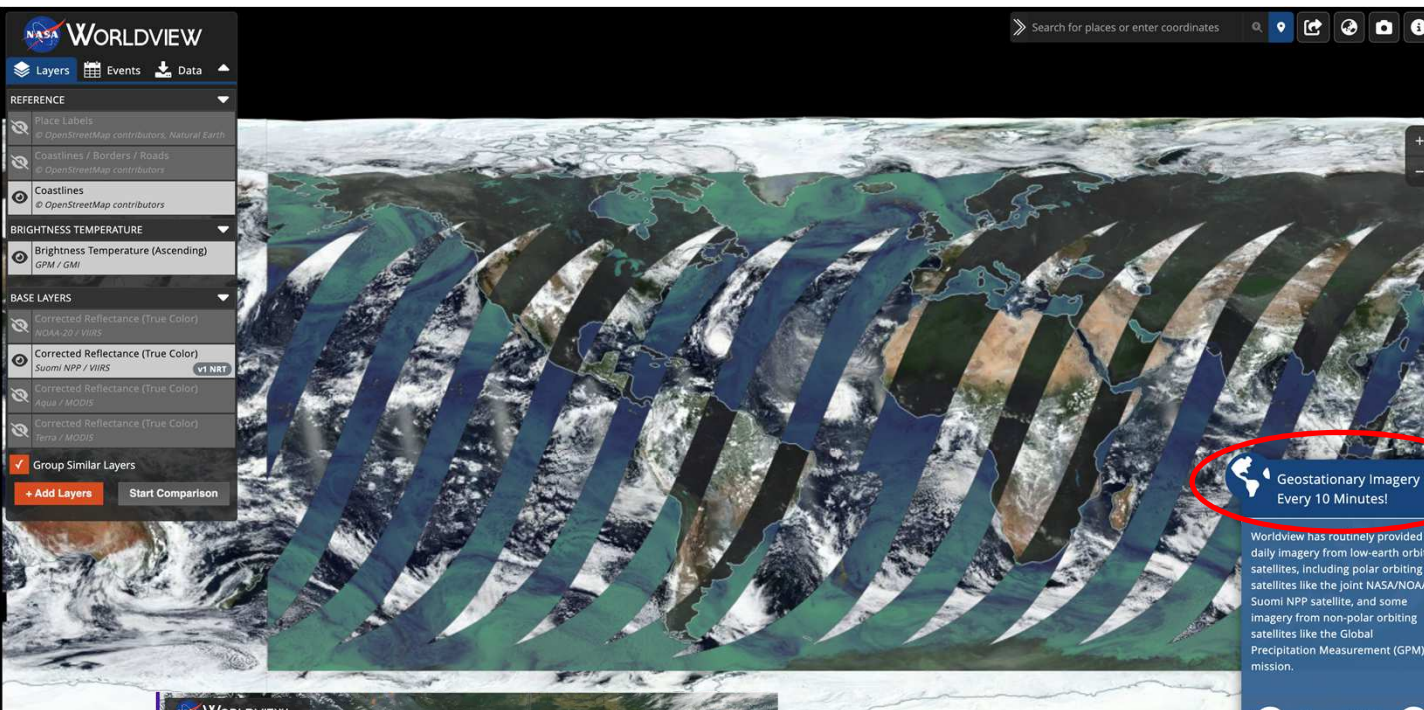
- **Recontextualiser** les mutations de la géographie universitaire et de la géographie scolaire des dernières décennies.
- **Grands cycles d'innovations majeures** qui bouleversent en profondeur concepts, notions, outils, méthodes, démarche et pédagogie.
- Souligner net **décalage** entre la **géographie**, bien plus novatrice, et l'**histoire scolaire** bloquée (cf. épreuves de l'agrégation définies vers 1910, poids du tout-document, sempiternel déroulement en collège puis en lycée d'une chronologie répétitive, poids des césures en quatre périodes...).
- La « **révolution de la carte** » : le **Dessous des Cartes** (1990 sur Arte), **Atlas des Editions Autrement**, revue **CARTO** en juillet 2010, **C. Grataloup** par la « géohistoire » et ses atlas. « *La carte, pour penser et représenter le monde* » des programmes Wirth/Hagnerelle,
- La **géopolitique**,
- La **mondialisation**,
- **Le développement durable**;
- L'espace et **le spatial aujourd'hui** (prochain cycle d'innovation ?)
- **Fondation du FIG à Saint-Dié en 1990** (Blois par J. Lang en 1998)
- **Création en 2003 du site Géoconfluences** cf levier à l'ENS de Lyon par les IGEN géographes (Gérard Dorel, Bruno Melina et Michel Hagnerelle). Aujourd'hui 50 % total des flux de tous les portails disciplinaires ENS.



## II. La révolution spatiale en cours

De l'intelligibilité du monde  
Mise en système(s)  
Emboitements d'échelles  
Jeux des acteurs...

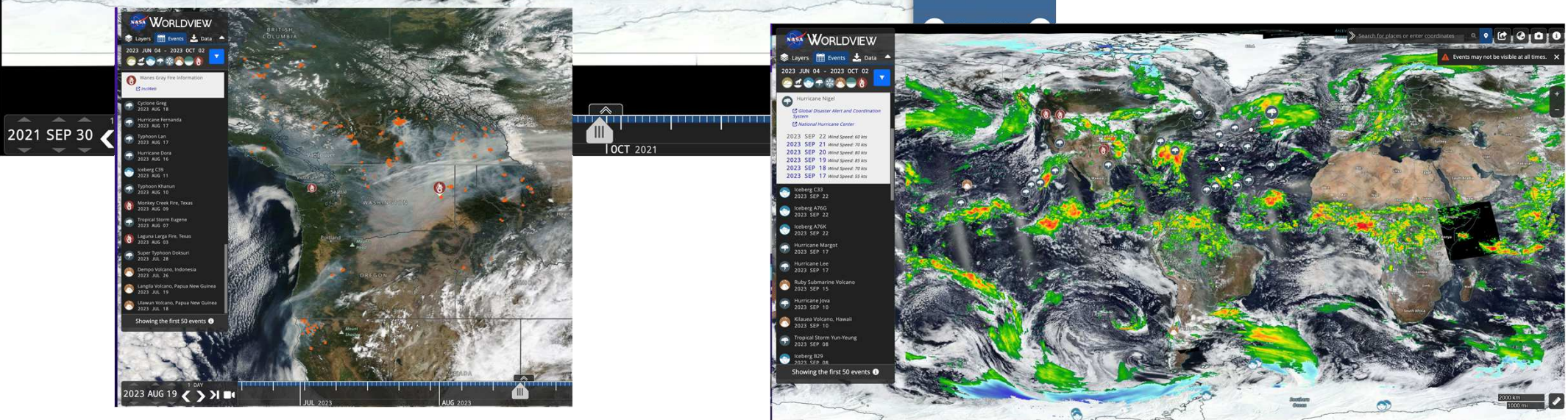
*Une révolution copernicienne :  
voir, analyser et comprendre la terre et les  
sociétés humaines depuis l'espace.*



La production d'une masse croissante d'informations et d'analyses.

(EX du site de la Nasa Worldview;  
<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

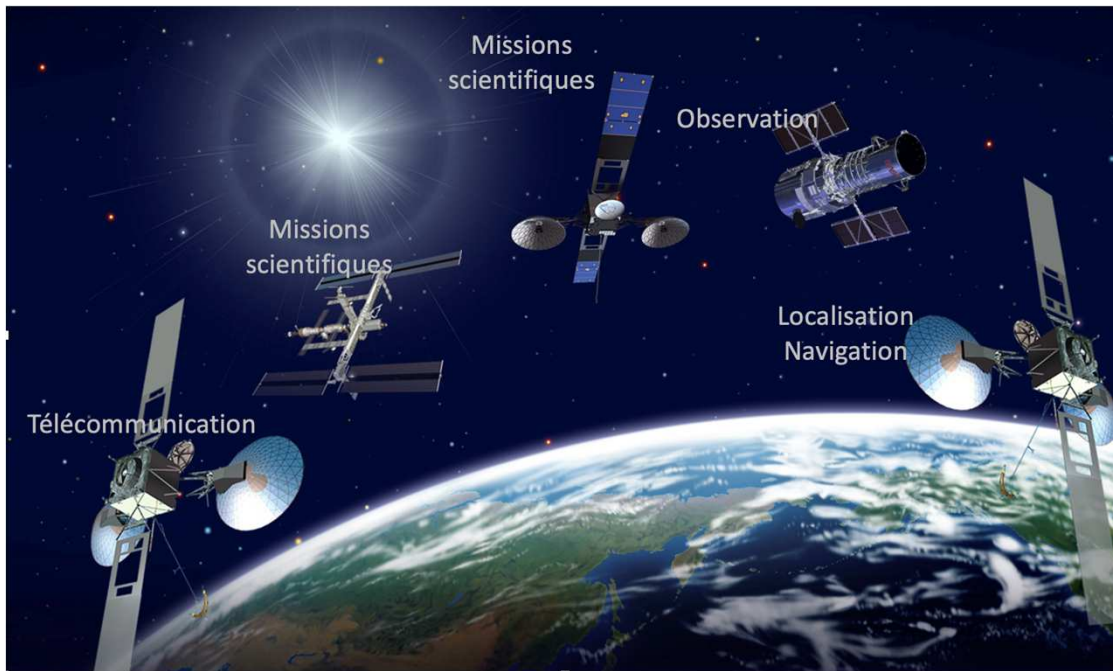
pages internes :  
 tempêtes et cyclones (ci-dessous)  
 icebergs  
 feux au Canada (en bas à gauche)



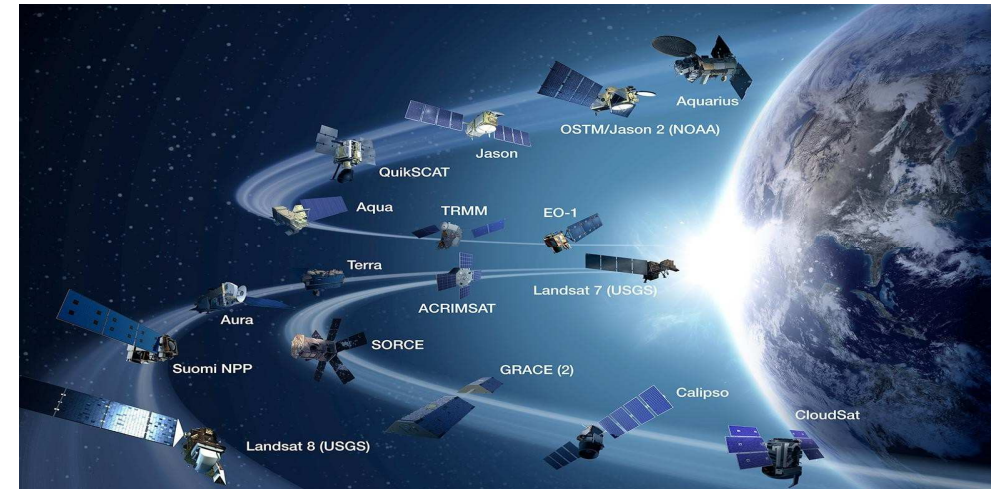
CONTEXTE SPATIAL : un enjeu d'avenir  
 explosion offres et possibilités  
 démocratisation/ diffusion/ nv métiers

les **satellites d'application**, (télécommunications, observation, géo-positionnement, télédétection, reconnaissance militaire).

les **satellites scientifiques** : éventail très vaste de missions allant de l'étude du milieu spatial à celle de l'espace lointain (grâce à des télescopes spatiaux : histoire de l'univers).



Plus de 170 satellites d'observation de la Terre



France. 30 ans d'imagerie optique haute résolution : les ruptures de génération

SPOT1-1986

Civil

SPOT5-2002

Dual

SPOT2-1990

SPOT4-1998

Pleiades1A-2011

SPOT3-1993

Helios1A-1995

Helios2A-2004

Pleiades1B-2012

Helios1B-1999

Helios2B-2009

Défense

# Résolution spatiale : **X 10 000 en 10 ans**

Here is how the Wimbledon Tennis Complex (London, UK) appears at different resolutions associated with several of the satellites highlighted. All the images below are generated from a Worldview-4 image and resampled to be representative of the different spatial resolutions represented.

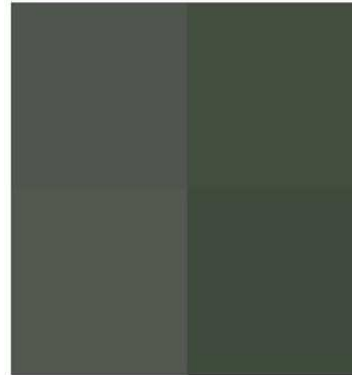
## Principes de l'acquisition spatiale

Résolution spatiale

Résolution spectrale

Résolution temporelle

Résolution radiométrique



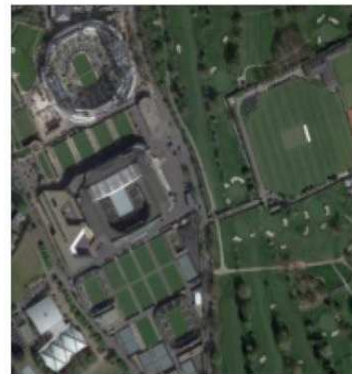
**Aqua (MODIS)**  
250m Resolution



**Landsat-8**  
30m Resolution



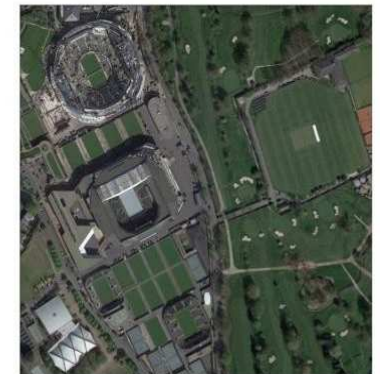
**Sentinel-2**  
10m Resolution



**PlanetScope (Dove)**  
3m Resolution



**Pleiades**  
0.5m Resolution



**Worldview-4**  
0.3m Resolution

→ taille de la zone couverte par un pixel dépend :

- - de la taille des détecteurs,
- - du miroir,
- - de la distance focale
- - et de l'altitude de vol.



- L'observation de la terre

Boom de la donnée spatiale avec essor nv instruments, baisse des prix, nv métiers...

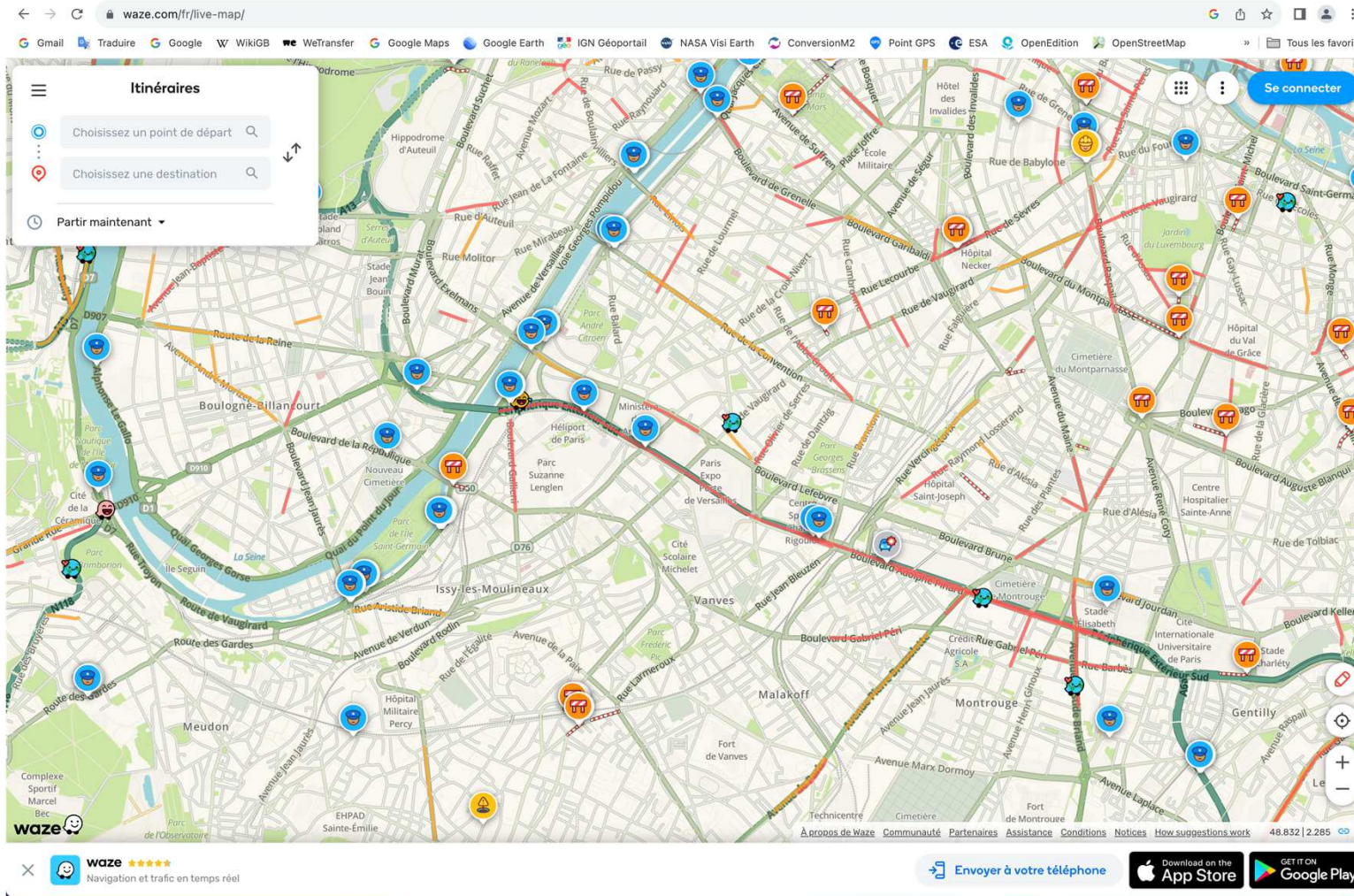
**Start-up Planet** (USA) : créée anciens Nasa en 2019, 120 micro-sat. Dove de 3,5 m. résolution par pixel et 21 satel.

**SkySat** de 70 cm. de résolution par pixel dans le civil, et balayage de 350 millions km<sup>2</sup> par jour.

*Amélioration de la performance  
de 10.000 fois en dix ans,  
de 10 fois en deux ans.*

**Pleiade Neo** (cf. image ci-contre) exploité par Airbus Defense and Space : image du globe à 30 cm/pixel (ici Montpellier).

## L'urgence des mobilités du quotidien : le Système Waze



Développé en 2008

48 langues

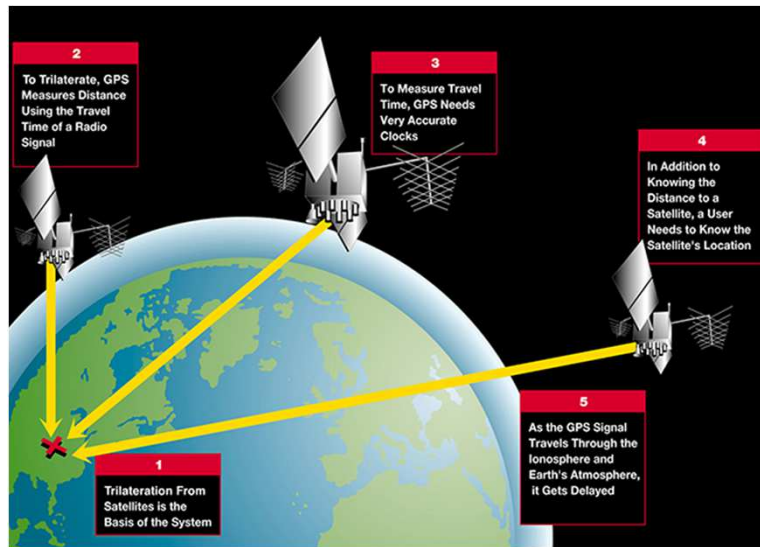
Rachat Google en 2013

U. Levine et A. Shinar, vétérans de l'**Unité 8200** (incubateur milit. Israélien de start-up).

Assistant d'aide à la conduite via navigation GPS (système de positionnement par satel.)

Evaluation instantanée de la vitesse, recherche d'itinéraires

2021 : 140 millions utilisateurs  
(2011 : 7 millions, **X 20 dix ans**)



## Quid du GPS ? (Global Positioning System, ex NAVSTAR)

Système de radionavigation construit autour d'une **constellation de 31 satellites** en orbite à **20.200 km** assurant une couverture mondiale.

Son fonctionnement et sa maintenance sont assurés par le **DOD (US. US Fed Dept. of Defense)**  
*50th Space Wing de l'Air Force Space Command dans base du Colorado.*

Militaires peuvent dégrader le signal  
Lancé par Nixon, civilisé et ouvert par **Clinton en 2000**  
(avec l'arrêt brouillage, précision passe de 100 à 5/15 m au sol).

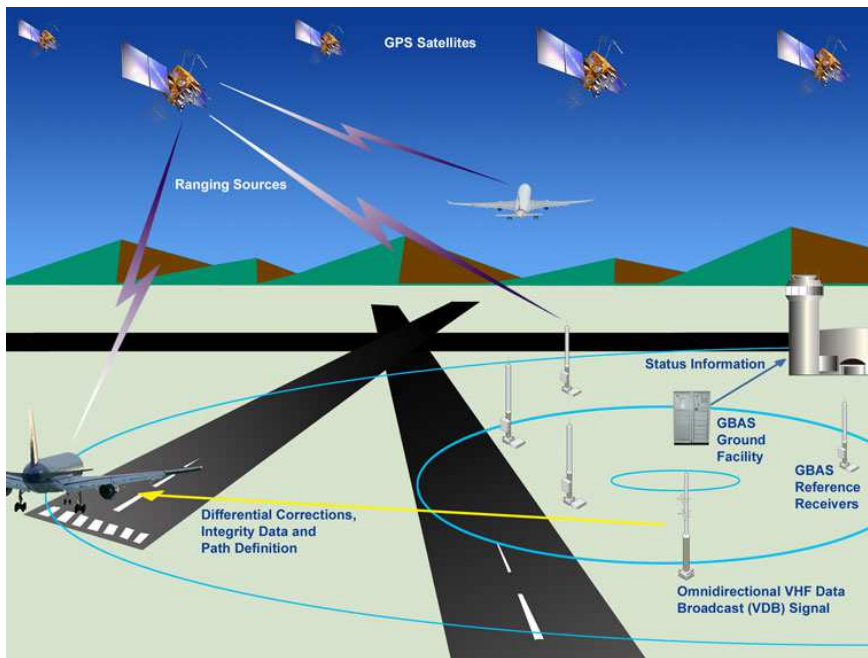
**Définition de 7 m. à la surface du globe** en permanence.  
Triangulation des messages de trois satellites pour vous positionner.

**Systèmes** Satellite Navigation – GBAS, WWAS et SBAS –Site GPS pour l'aviation civile.

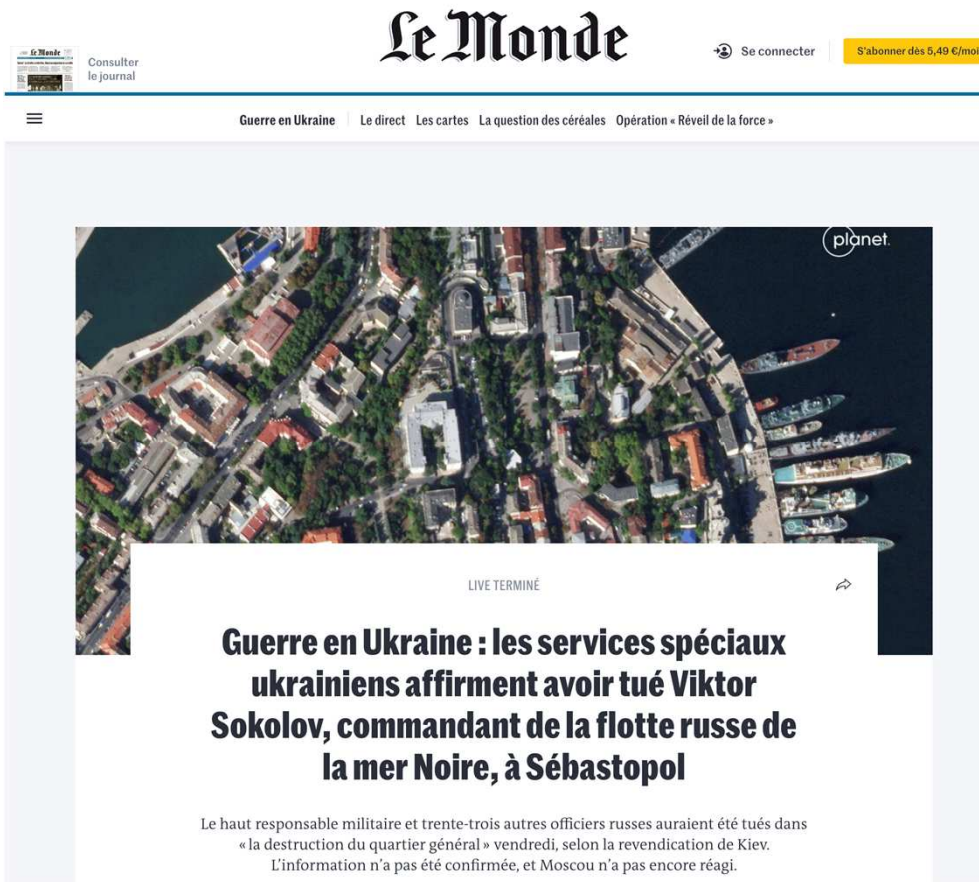
Avec voiture autonome, groupe japonais vers pilotage automatique sur 20 à 30 cm de précision

Les **autres Global Navigation Satellite Systems (GNSS)** :

- GLONASS russe (1980),
- GALILEO européen, 4 m précision, de précision 20 cm
- BEIDOU chinois (2000)



# III. Guerres et paix, militarisation et arsenalisation de l'espace

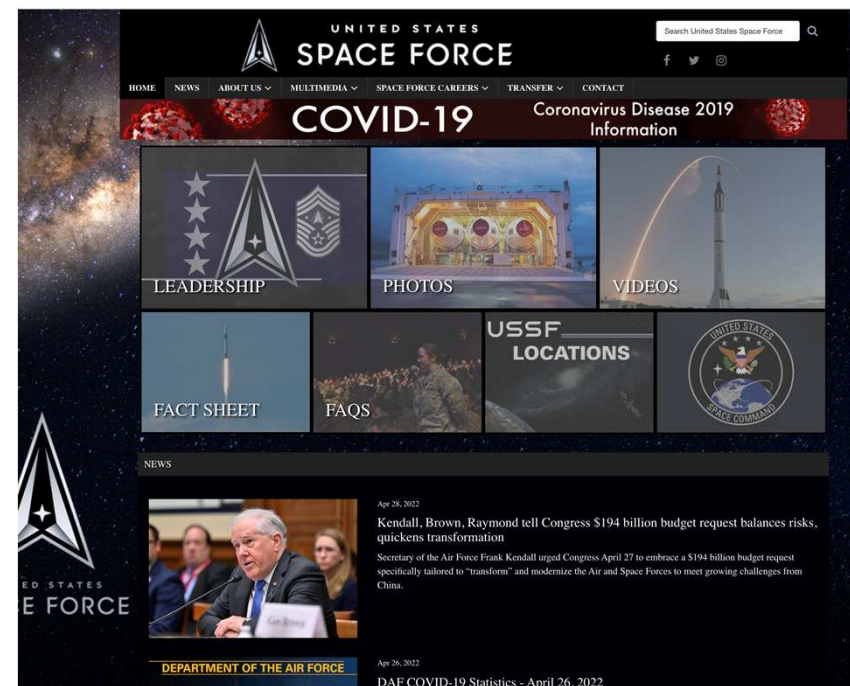


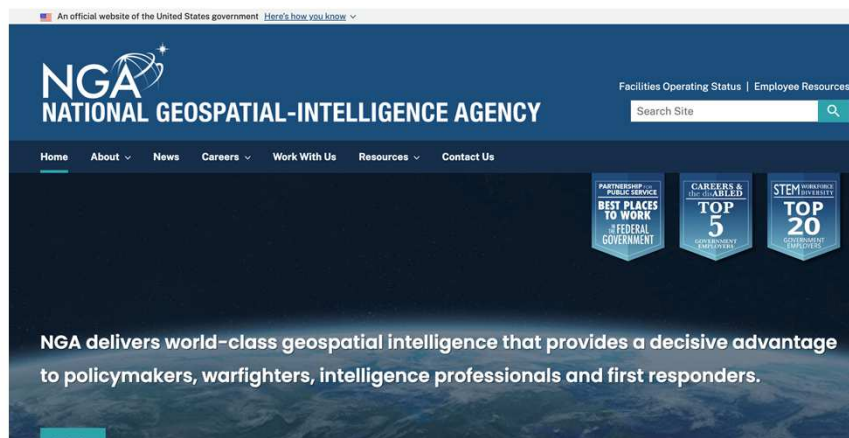
La mobilisation croissante des images par les grands médias,  
presse écrite ou télévisions.  
Nous baignons de plus en plus dans une vaste offre d'images satel.  
Copie d'écran du site du journal Le Monde



## • La création de commandements militaires spécialisés dans l'espace

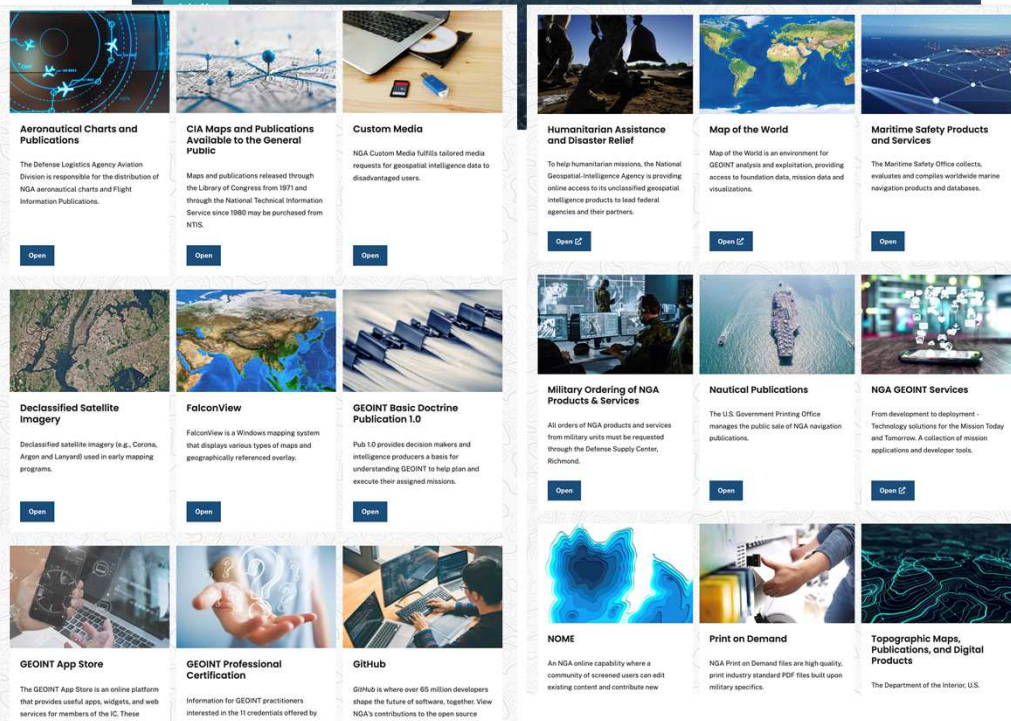
- Japon : Escadron d'opérations spatiales en 2020
- Etats-Unis : **US Space Force en 2019**, (// envolée budgets de la NASA)
- Inde : Agence spatiale de défense en 2019,
- France : Commandement de l'Espace, 2019
- Russie : Forces Spatiales Russes en 2015,
- Chine : 4em Armée de soutien stratégique de l'APL en 2015,



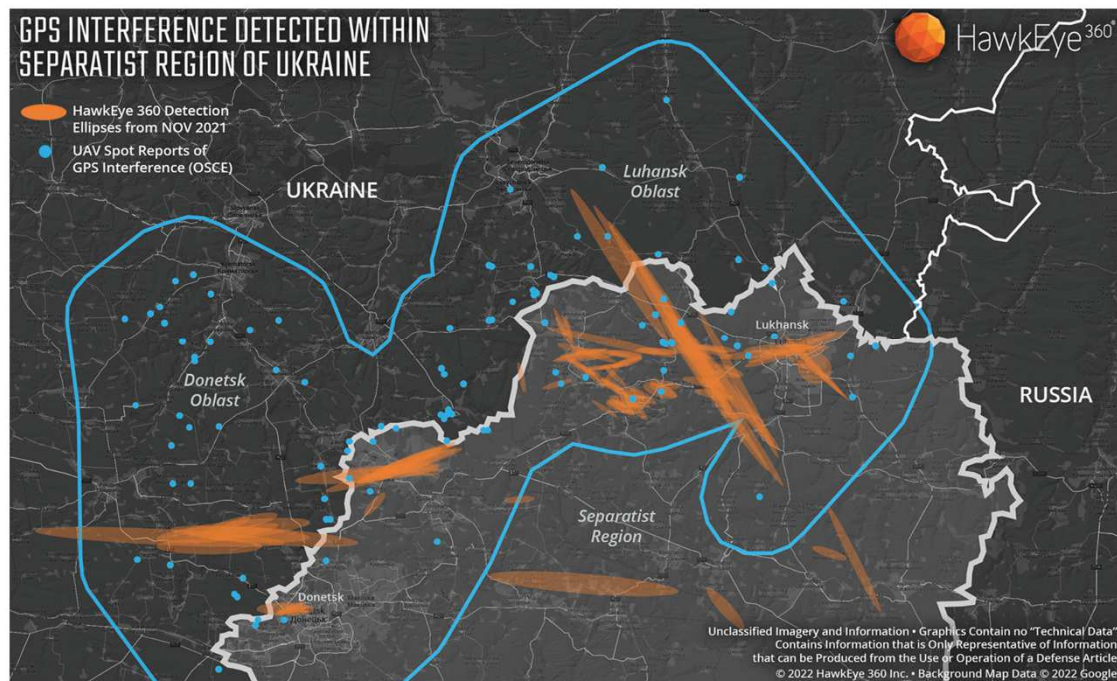


## • Le Géoint : *Geospatial Intelligence*

- ISR : intelligence, surveillance and reconnaissance
- IMINT : satellites et aériens
- Exemple de **l'US NGA** et de ses champs d'intérêt (gauche)
- 15 avril 2021 : image de Maxar technologies, sur hôpital et troupes russes en Crimée



## Militarisation/ Arsenalisation et armes « contre-espace »

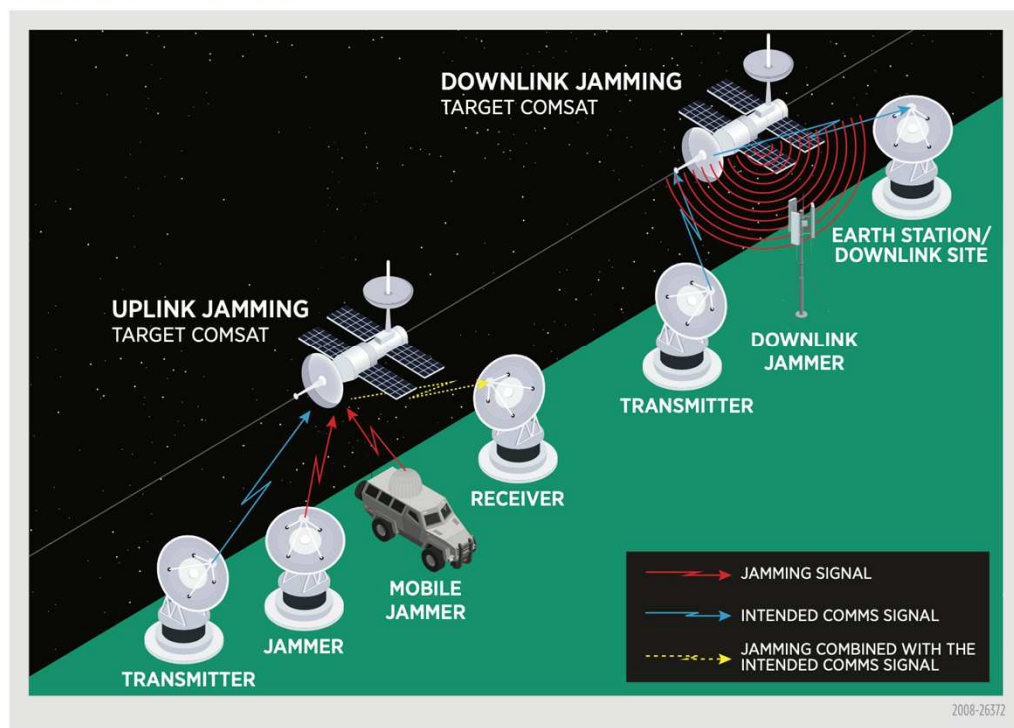


- **Rôle militaire majeur des satellites**
- Tests attaque/destruction de satel. en orbite.
- **Armes électroniques et cybernétiques** (brouillage liaisons montantes et descendantes, usurpation des satel. avec faux signaux, interception des données, piratage et prise de contrôle d'un satel.)
- **Nv armes** : lasers énergies dirigées, micro-ondes (contre capteurs et circuits).
- Conflit 2022 en Ukraine : un exemple
- Document à gauche : Satellites GPS et conflit ukrainien : **Russie brouille satel. GPS** (carte d'interférence), interférence communications radio vers/depuis espace des outils de navigation US Army. 1<sup>er</sup> jour conflit, Viasat (US) signale perturbations terminaux terrestres Europe Est.
- Gv ukrainien achète images satel. à Planet Labs.

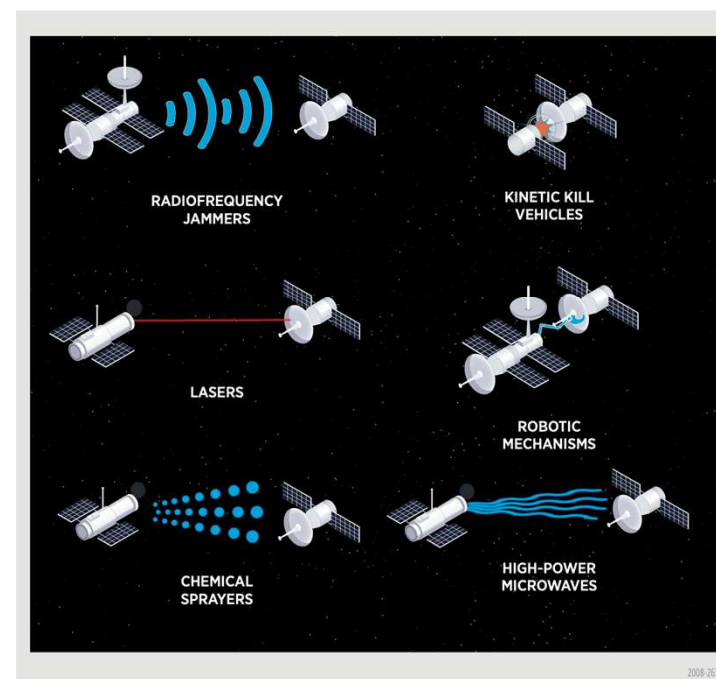
## • Capacités et Armes anti-satellites (ASAT)

- Testées par USA, Chine et Russie (nov. 2021 : missile Nudol/sat. Cosmos 1408).
- Chine : vieux satel. météorologique en orbite polaire en 2007.
- (document : US. DIA)

### *Electronic Warfare*<sup>636</sup>



### *Space-based Weapons*

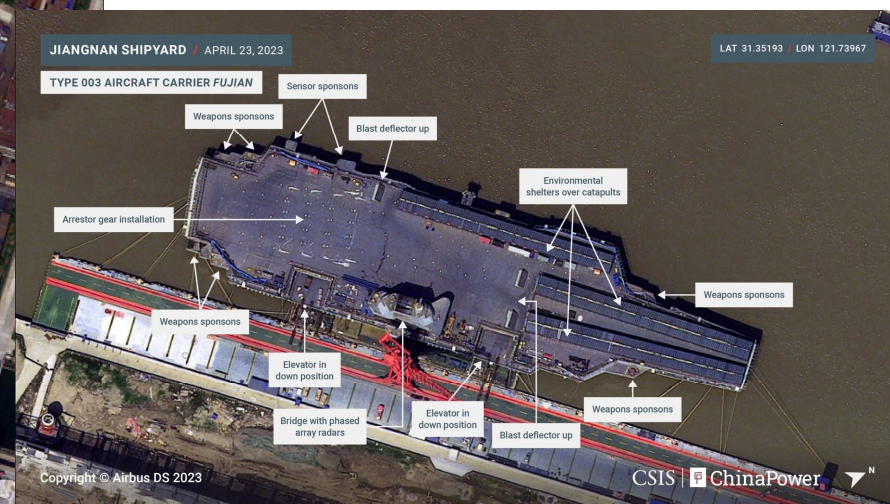


## Les urgences géostratégiques et militaires - Evaluation de l'effort militaire de la Chine

publication de CSIS – China Power chargée d'étudier et d'alerter sur les progrès de la Chine.

NB : Utilisation d'images d'AIRBUS DS de 2023 pour la démonstration

Bassins et installations des chantiers navals milit. de Jiangnan : noter suivi construction du porte-avion



## Himalaya : le massif du K2

En superposant sur l'image satellite la nomenclature des lieux, des tracés frontaliers et des espaces de souveraineté entre la Chine, le Pakistan et l'Inde, ainsi que la ligne de front entre les armées indiennes et pakistanaises, la **perception des réalités de terrains change totalement**.

Deux éléments sont à noter.

L'évidente clarté et qualité des images rend le **contexte régional transparent**, face à des **cartes souvent bien approximatives, voire fausses**. L'apport du satellite est considérable et indéniable.

C'est pour répondre à ses besoins de sécurité et déployer des capacités en appui à ses forces que **Dehli à lancer des programmes satellites militaires dans l'optique (série Cartosat) et le radar (série des Risat, qui a l'avantage de traverser la couche des nuages souvent très présente dans la région)**.

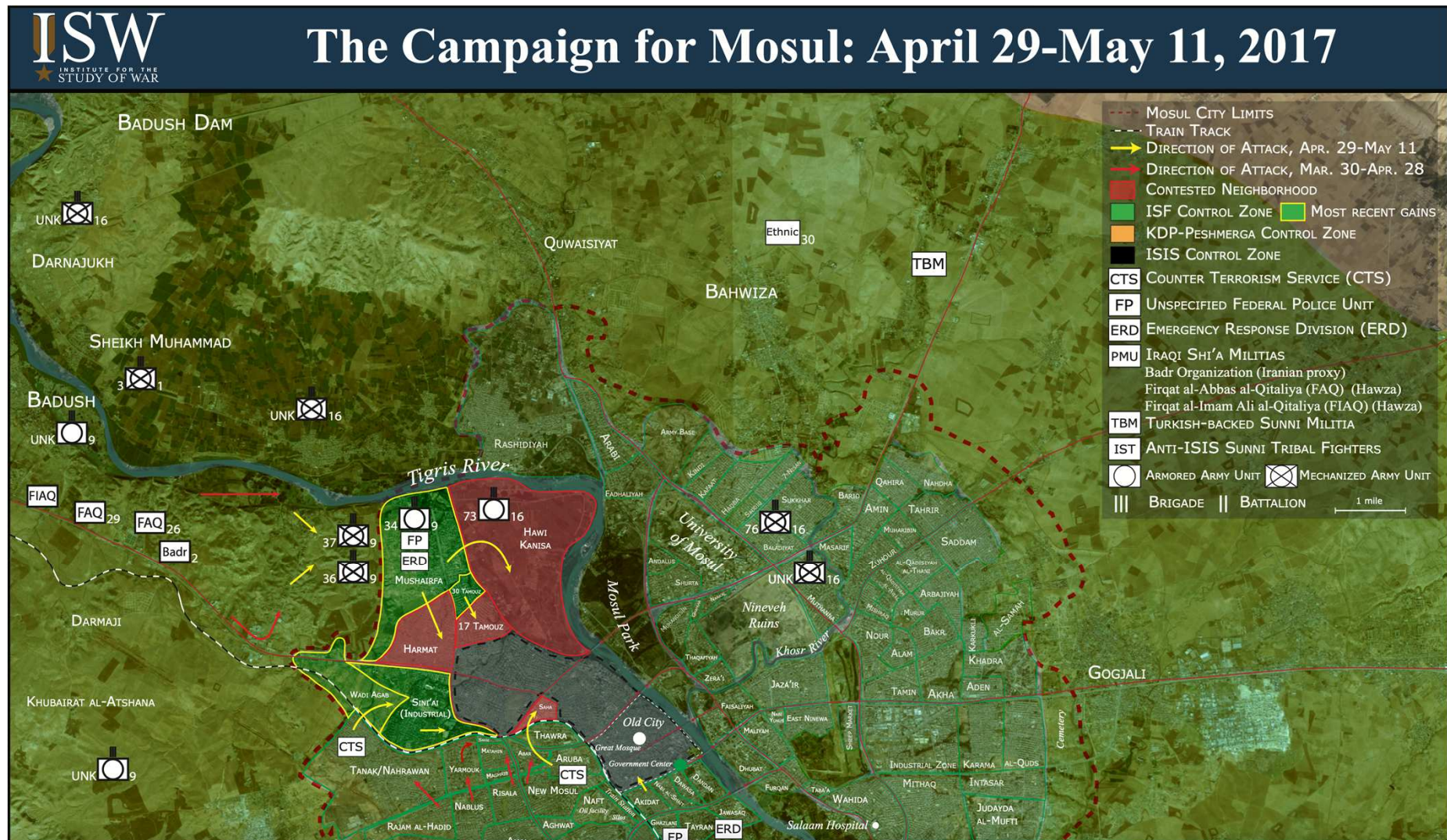
**Les résolutions atteintes sont de 25 cm à 50 cm au sol**, donc très significatives.

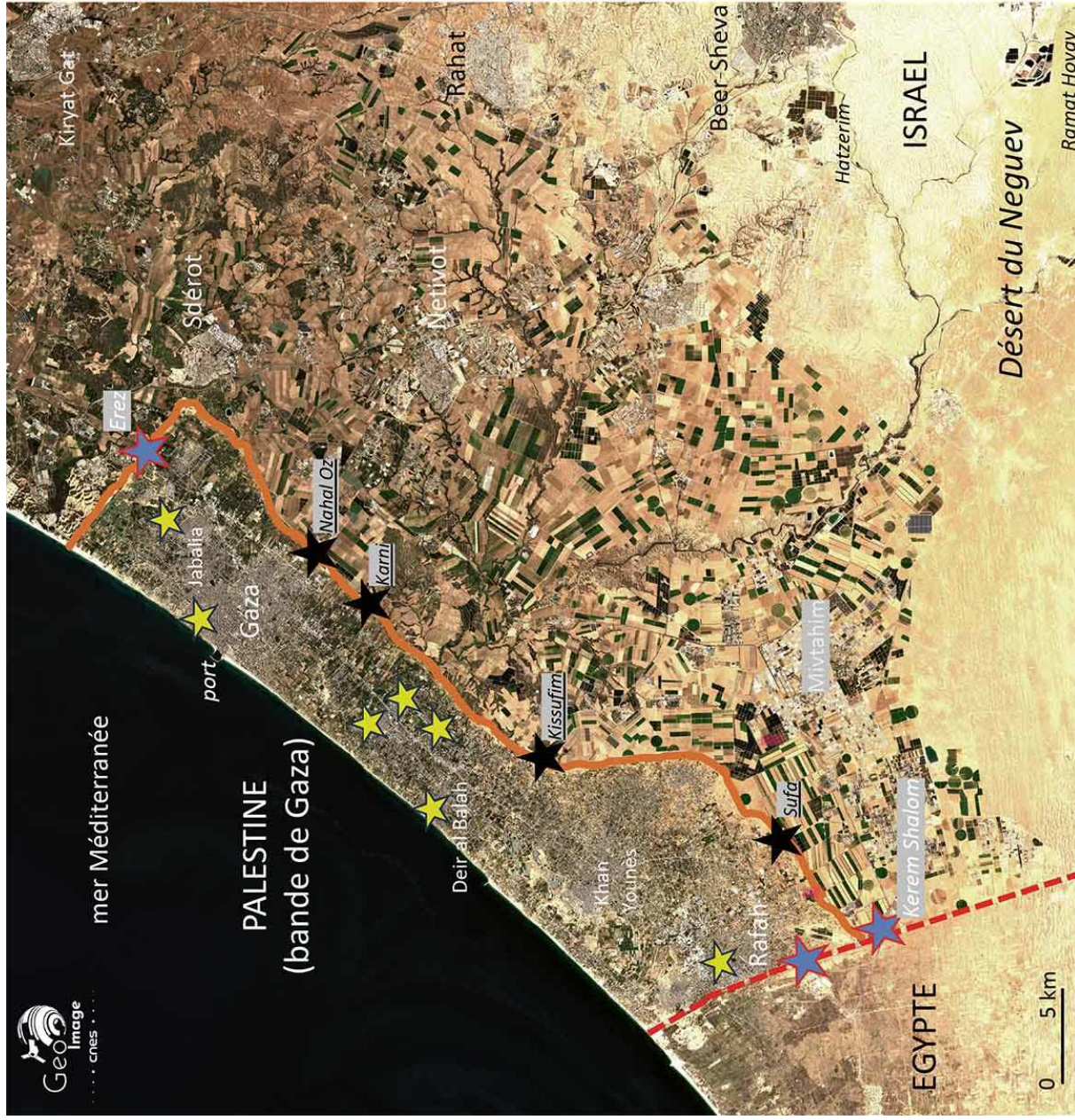
Les tensions et affrontements avec le Pakistan sont en effet récurrents dans l'espace couvert par cette image ou plus au sud dans la région de Kargil.

<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/pakistan-inde-kargil-et-le-cachemire-une-frontiere-conflictuelle-sous-tres-hautes-tensions>




A noter : l'image satel. devient un support pour la cartographie des combats tactiques ou stratégiques (ci après)  
(cf. campagne de Mossoul, avril/mai 2017, publication de l'ISW britannique)





## Bande de Gaza, Egypte et Israël

 Frontière Egypte /bande de Gaza/ Israël


 Frontière bande de Gaza/ Israël

 Postes frontaliers ouverts :

*Erez (Israël/Gaza)*

*Rafah (Egypte/ Gaza)*

*Kerem Shalom (Egypte/Israël)*

 Postes frontaliers fermés (Israël/Gaza)

*Nahal Oz,*

*Karni,*

*Kissufim,*

*Sufa*

 Principaux camps de réfugiés dans la Bande de Gaza





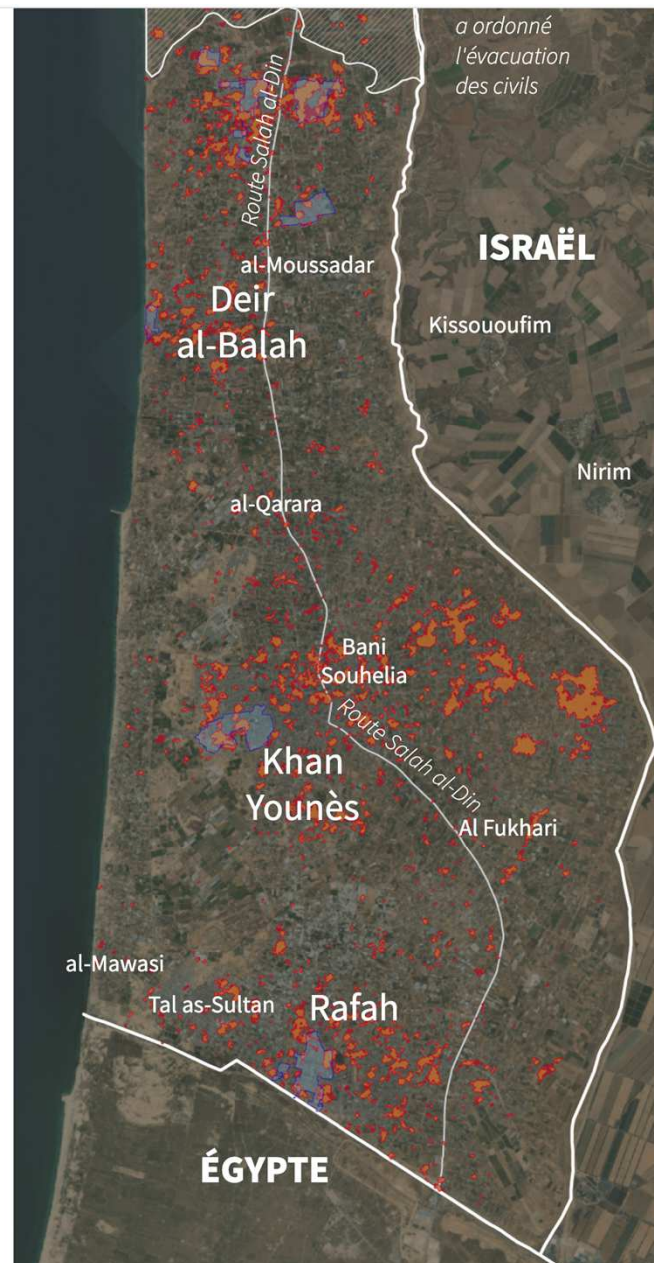
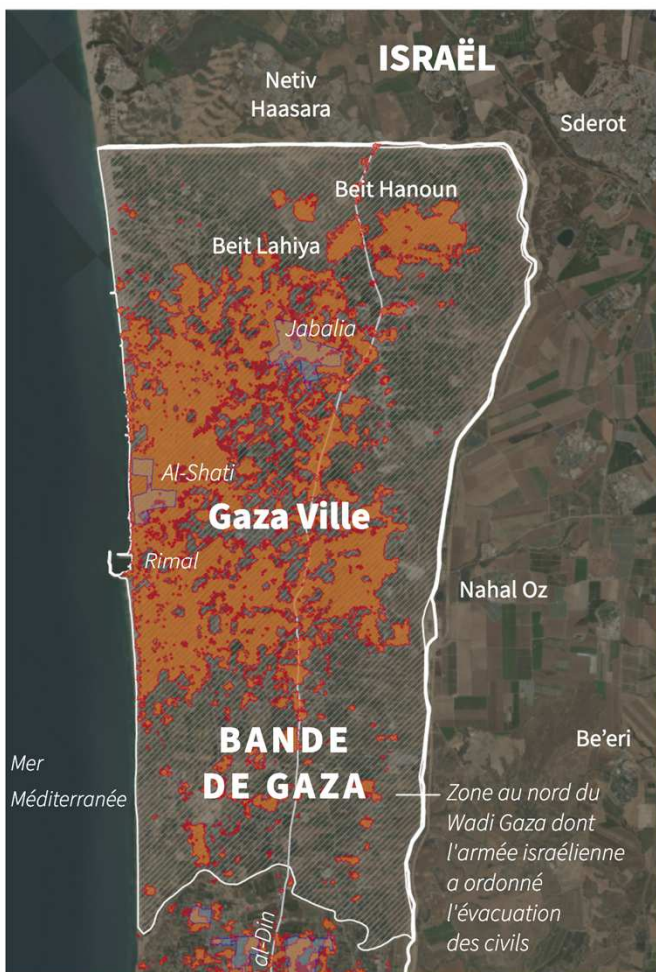
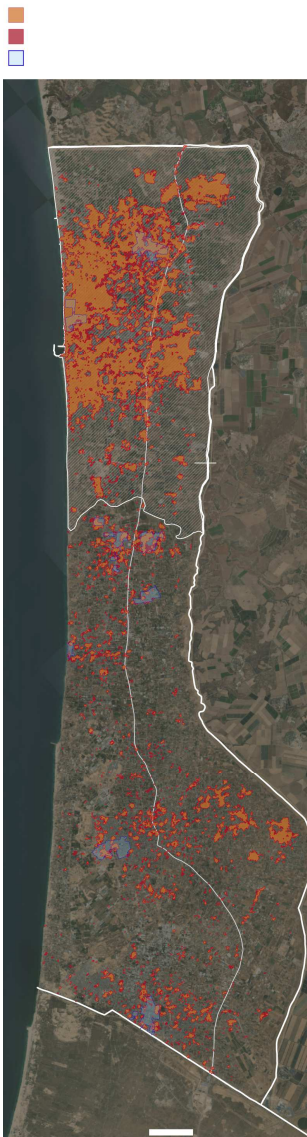
## L'ampleur des destructions à Gaza

Immeubles ayant subi d'importants dégâts...

...du 7 octobre au 22 novembre 2023

...du 22 au 29 novembre

Camps de réfugiés

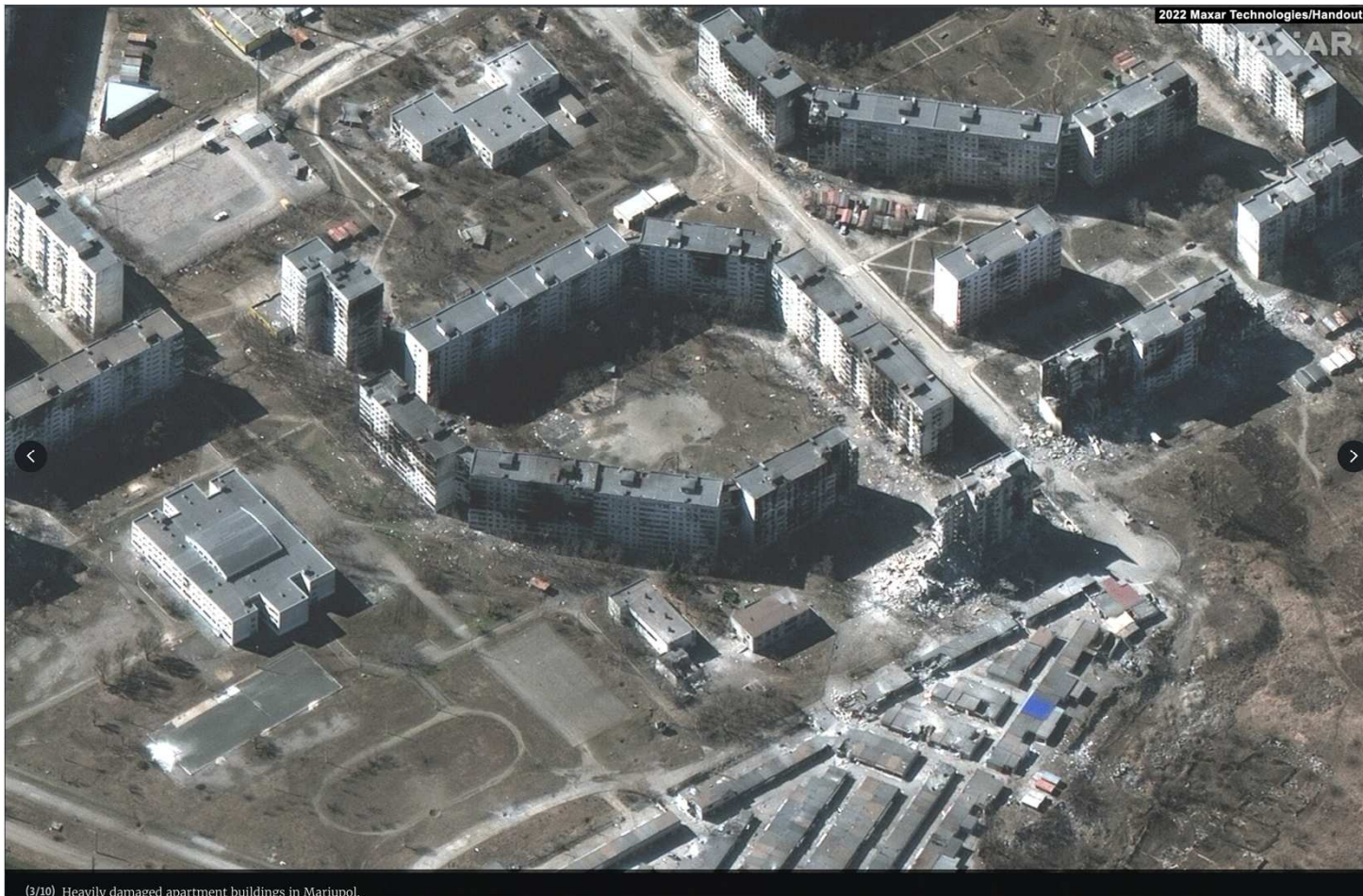


Israel/Hamas  
3 dec 2023

le Figaro, 3 dec 2023



# Le laboratoire ukrainien



Maxar Technologies,  
Marioupol,  
14 mars 2022

(3/10) Heavily damaged apartment buildings in Mariupol.

## Assessed Control of Terrain and Elevation around Verbove as of September 24, 2023

A Russian source claimed on September 23 that Ukrainian forces attempted to attack an unspecified height of 136.7 meters. ISW assesses this elevated point is likely northwest of Verbove. A prominent Ukrainian Military journalist reported that Ukrainian forces were attempting to bypass Verbove from the north and attack into western Verbove as of September 22.

Russian sources have been expressing concern about a potential encirclement of the 56th Air Assault Regiment in Novofedorivka since September 21.

NASA FIRMS thermal anomaly data collected between September 22-24 shows an unusually intense cluster of heat anomalies north of Verbove. These anomalies more likely support a September 22 Ukrainian report that Ukrainian forces are attempting to bypass Verbove from the north than an attack on the ridgeline southwest of Verbove given Russian reports about Ukrainian forces attacking north of Verbove and concerns about the 56th Regiment's potential isolation.

Multiple Russian sources reported that Ukrainian forces entered Verbove on September 23 and 24.



\* Assessed Russian advances are areas where ISW assesses Russian forces have operated in or launched attacks against but do not control.

De l'usage dual des images thermiques

Militaire Conflit en Ukraine : bataille autour de Verbove, 24 sept. 2023

« NASA FIRMS *thermal anomaly data* collected between September 22-24 shows... ».

Civil : Ci-dessous : image sur incendies en Sicile été 2023 Sentinel.



Ci à gauche, sur le site de l'ISW (Institute for the Study of War, copie écran du 26 sept 2023)

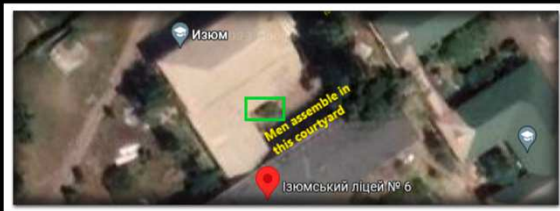
[https://www.understandingwar.org/sites/default/files/VerboveNASAFIRMS\\_Elevation09242023.png](https://www.understandingwar.org/sites/default/files/VerboveNASAFIRMS_Elevation09242023.png)



Eyes on Russia

## DIGITAL TRACES

Investigating the 'LDPR' units linked to systematic torture in Izium



SEPTEMBER 2023



Figure 25: Screenshot from video posted by Russian journalists embedded with Oplot ZP.<sup>51</sup>



Figure 8: Google Earth image showing School No. 6, with annotations and markings. The green roof visible the video is indicated in red, while the small tree is indicated in green.

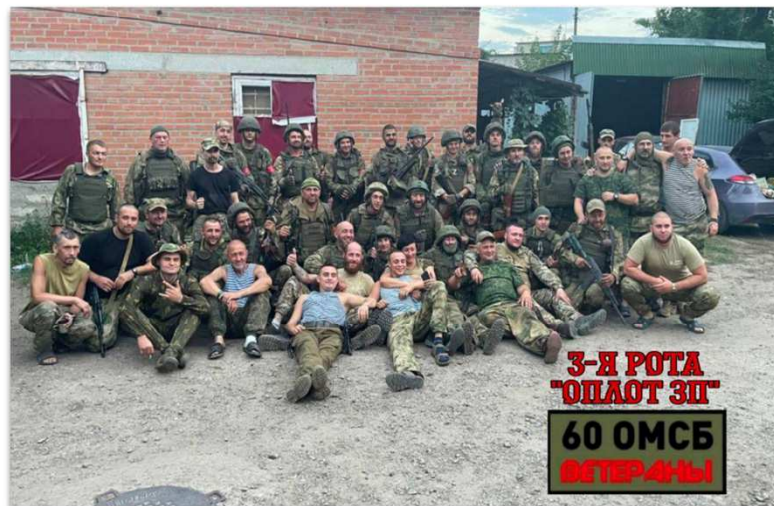


Figure 20: Photo of Oplot ZP in front of a red brick building with a tin shed in the background. Source: Telegram.<sup>44</sup>

## Russie : enquêtes occidentales sur des allégations de torture par unités combattantes (CIR, sept. 2023)

source : Centre for Information Resilience (Opération Eyes on Russia)

Suivi des exactions des groupes paramilitaires entre mars et sept. 2022 à Izium des territoires du Donetsk et de Louhanks.

Mobilisation des données de GoogleEarth

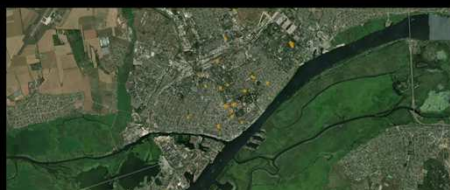
Cour pénale internationale



Figure 28: Google Maps with annotations added by CIR, showing the base layout.



Eyes on Russia



Kherson after occupation:  
Mapping Russian attacks on medical  
infrastructure

SEPTEMBER 2023

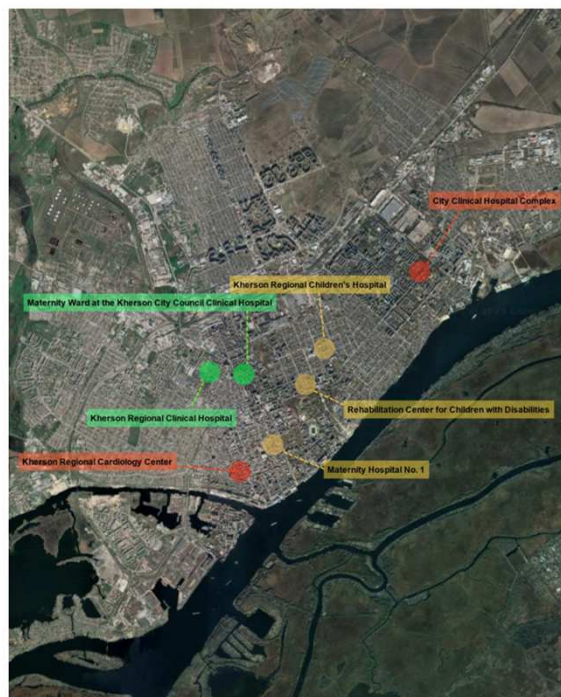


Figure 1: Map showing medical facilities in Kherson that are verified to have been hit once (green), twice (yellow) and three or more times (red) between Kherson's liberation in November 2022 and 10 April 2023.

Russie : enquêtes occidentales sur la destruction des  
infrastructures médicales à Kherson après la libération  
le 11 nov. 2022. (CIR, sept. 2023)

source : Centre for Information Resilience (Opération Eyes on Russia)

Mobilisation des vues de GoogleEarth, Planet et Sentinel



Figure 30 : Planet satellite image of earthworks near the Russian-occupied village of Promin on 10 November 2022 [46.33857174430706, 32.7484744955387].



Figure 6: Geolocation of images shared on social media showing damage to the Regional Cardiology Centre and nearby buildings in Kherson, Kherson Oblast [46.630136, 32.607502].



... cnes ...

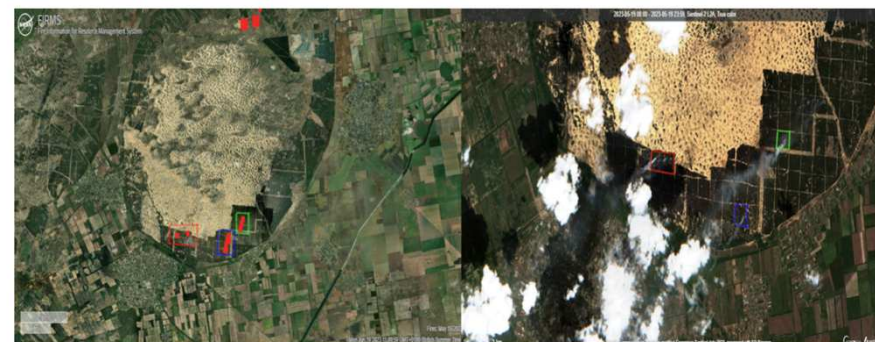
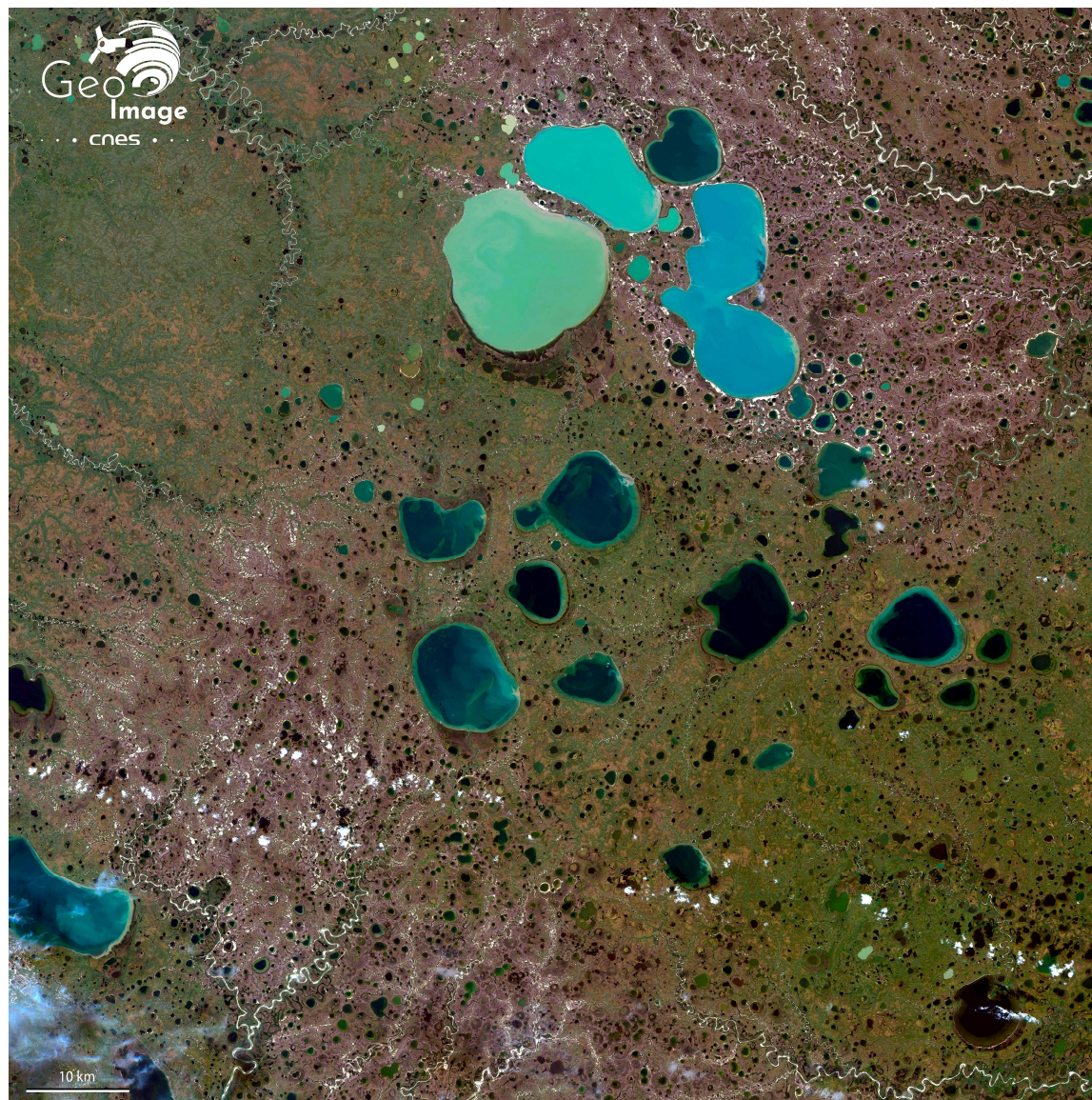


Figure 31: FIRMS data (left) showing detected fires south of the Olesky Sands national park and Sentinel satellite imagery (right) showing fires in the same locations on 19 May 2023.

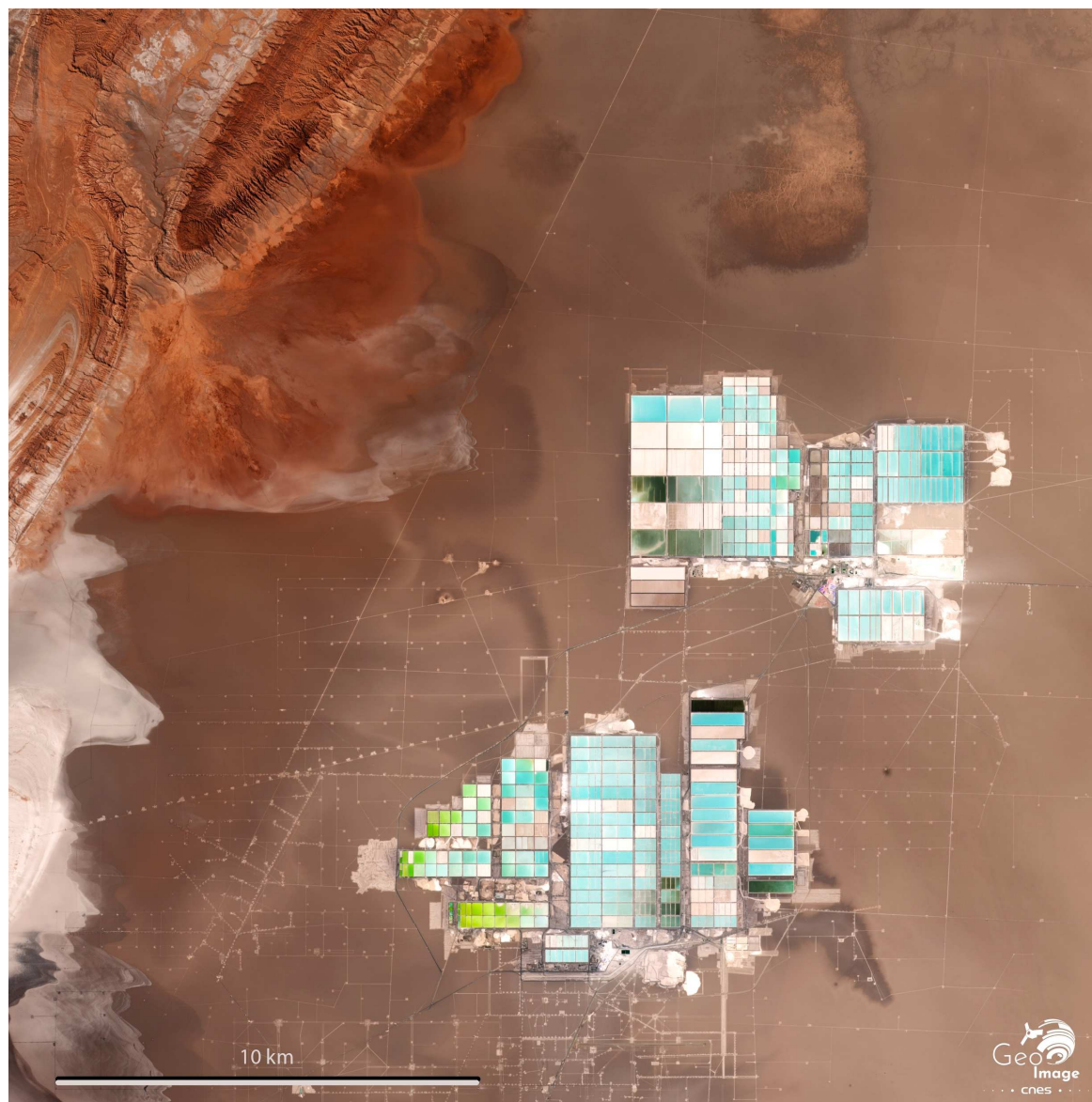
VI. Les images satellites,  
une (R)évolution des pratiques.



<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/taiwan-tsmc-et-lhsinchu-science-park-au-coeur-de-lindustrie-mondiale-des-semi-conducteurs>

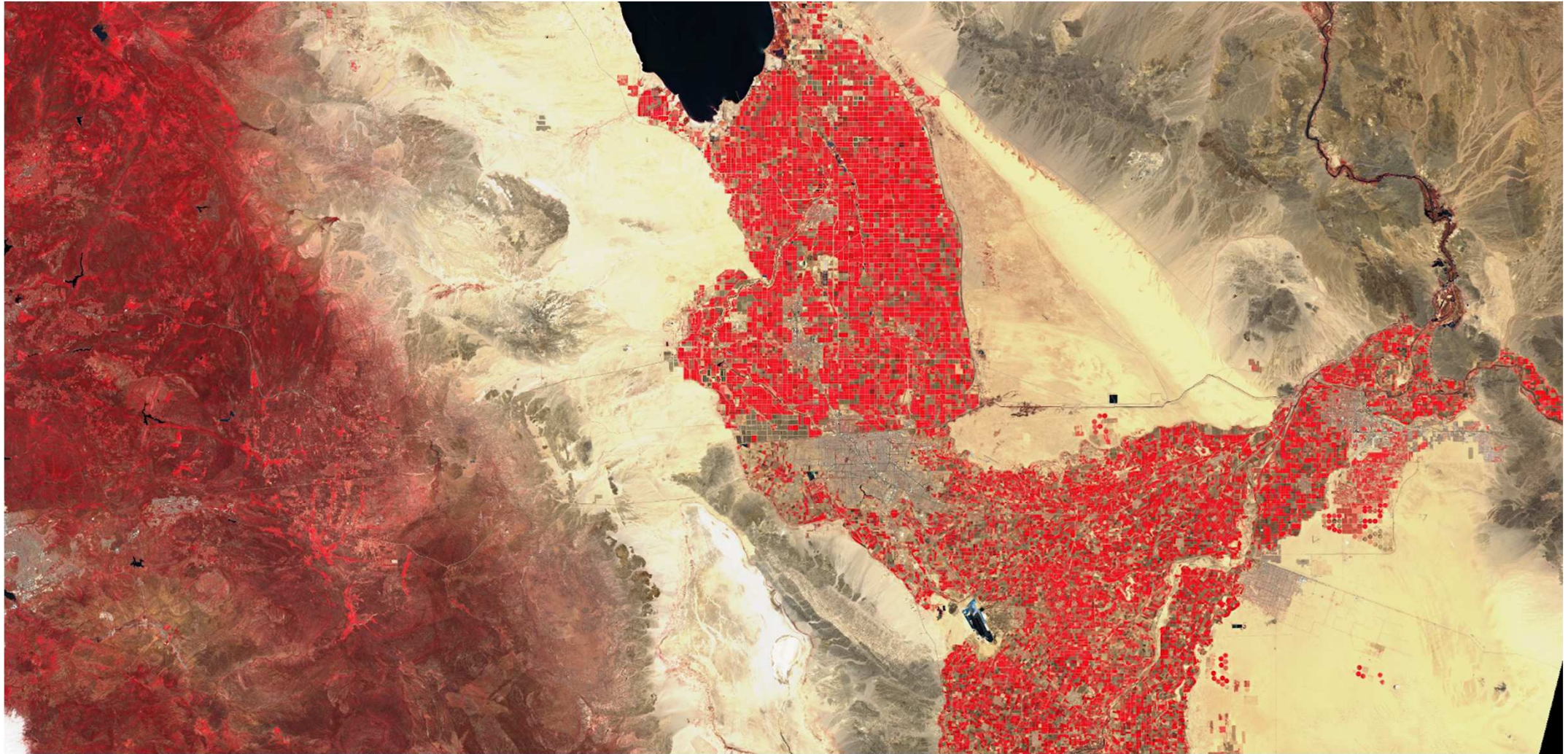


<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/russie-peninsule-de-yamal-le-degel-du-pergelisol-du-au-rechauffement-climatique-et-ses>



<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/chili-lexploitation-du-lithium-dans-le-desert-datacama-nouvelle-ressource-strategique-et>

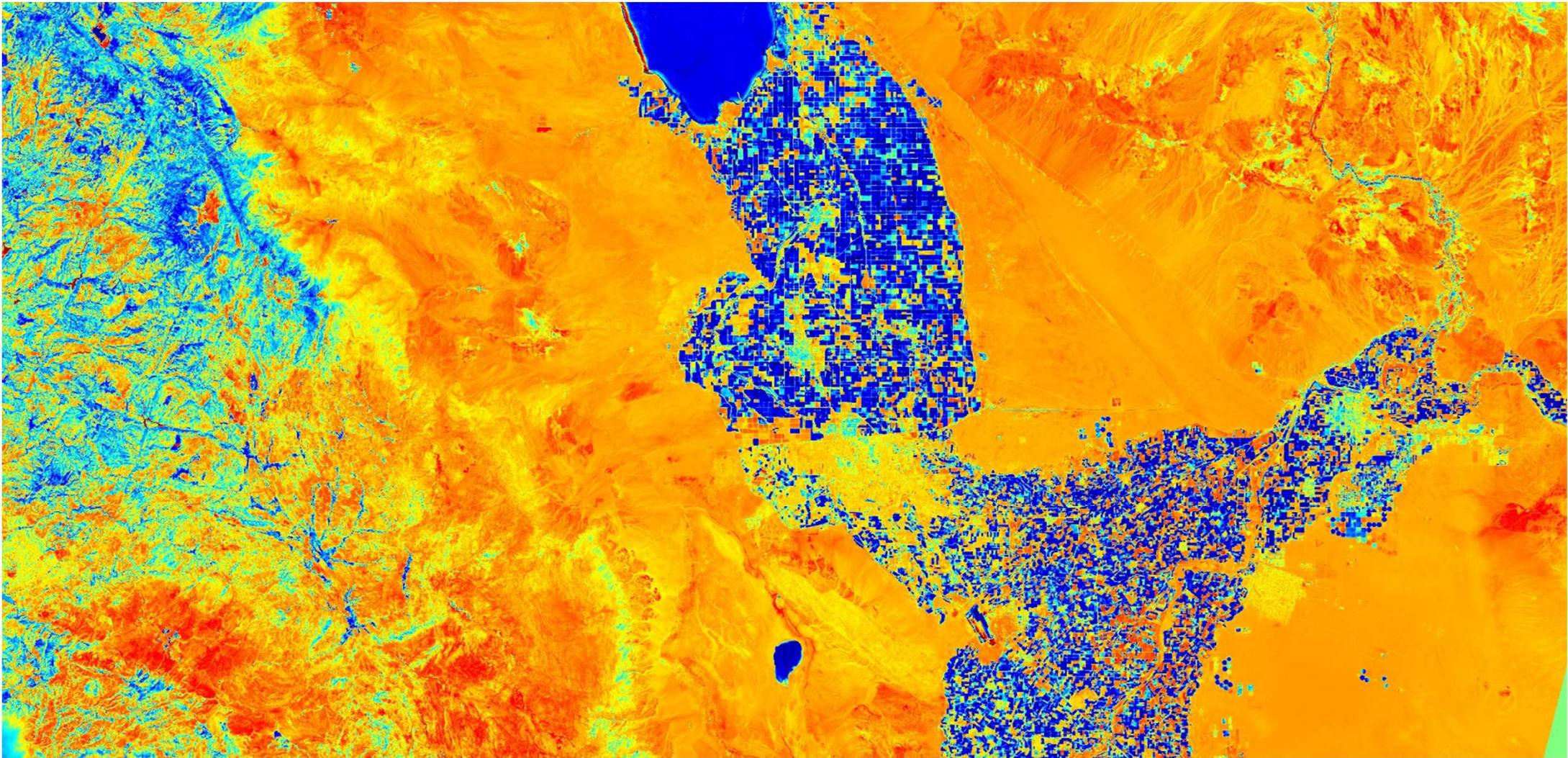
Un document géographique spécifique



Composition colorée "fausse couleur" utilisant une bande dans le proche infrarouge

<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/la-frontiere-etats-unis-mexique-mexicali-calexico-mur-villes-jumelles-maquiladoras-cartels>

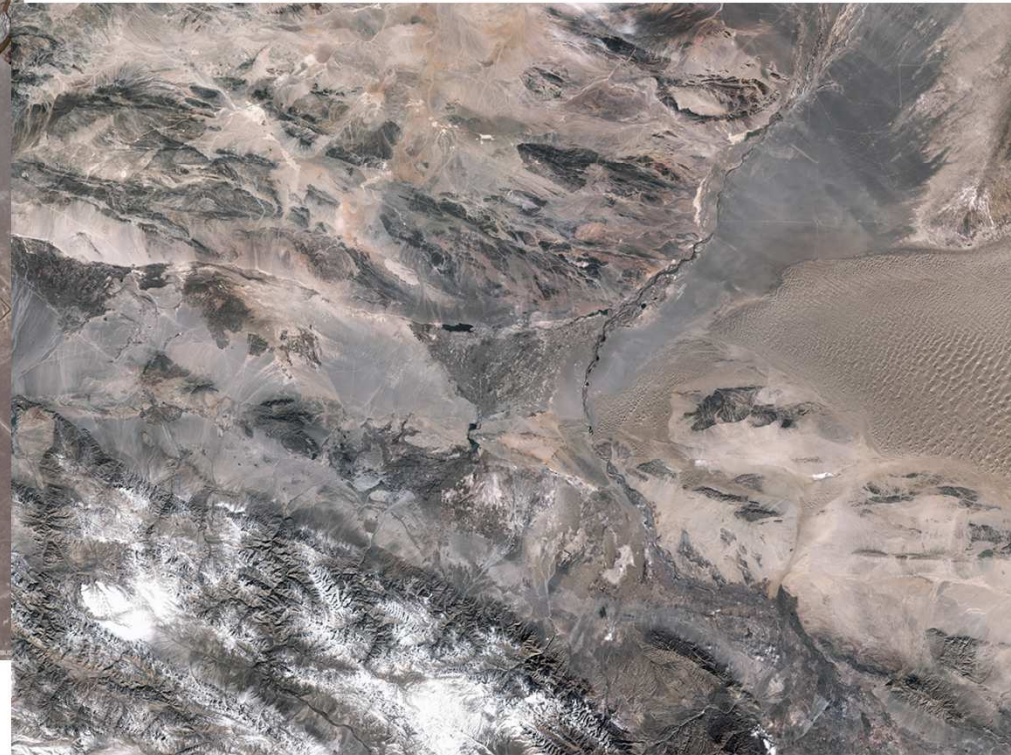
## Un document géographique spécifique



L'indice d'humidité (NDMI) est utilisé pour déterminer la teneur en eau de la végétation et surveiller les sécheresses

<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/la-frontiere-etats-unis-mexique-mexicali-calexico-mur-villes-jumelles-maquiladoras-cartels>

Une démarche multiscale au coeur de la géographie



Jiuquan : un centre spatial chinois en Mongolie intérieure dans le désert de Gobi

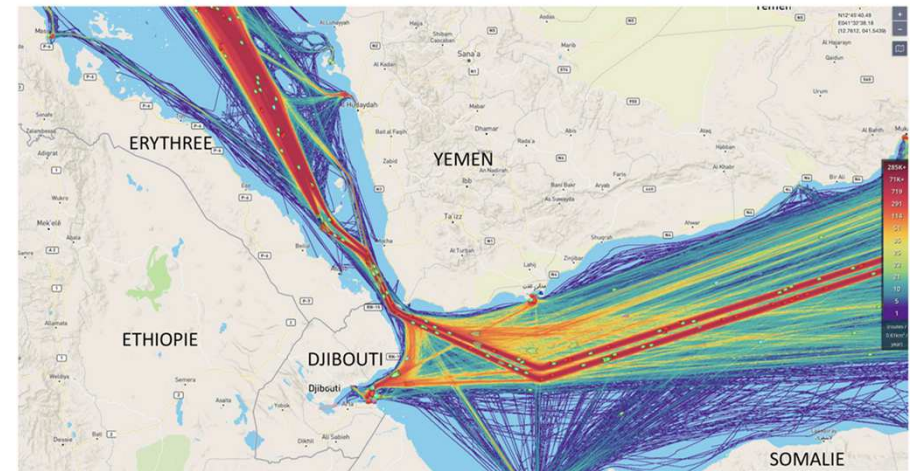
<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/jiuquan-un-centre-spatial-chinois-en-mongolie-interieure-dans-le-desert-de-gobi>

Comprendre un espace dans ses différentes dimensions : physiques, géopolitiques, économiques...

<https://geoimage.cnes.fr/fr/geoimage/djiboutiyemen-le-detroit-de-bab-el-mandeb-un-verrou-maritime-geostrategique-entre-la-mer>



Détroit de Bad El Mandeb : approche régionale des flux et des routes maritimes  
(Source : flux en cumul annuel, source site MarineTraffic, 2021)



(montage : L. Carroué, CNES-GeoImage)



(Source carte : Axios;  
<https://storymaps.arcgis.com/stories/421fb32ec0be48e088ce3da76e38ee9d7play=true&speed=medium>  
<https://www.axios.com/2023/12/20/map-houthi-shipping-vessel-attacks-red-sea>)

Localisation des attaques en Mer rouge de navires marchands par les Houthis yéménites entre le 19 nov et le 18 dec. 2023 présentées par deux sites spécialisés dans la gestion de crise



(source : <https://www.ukmto.org/indian-ocean/recent-incidents>)

(montage : Laurent Carroué)

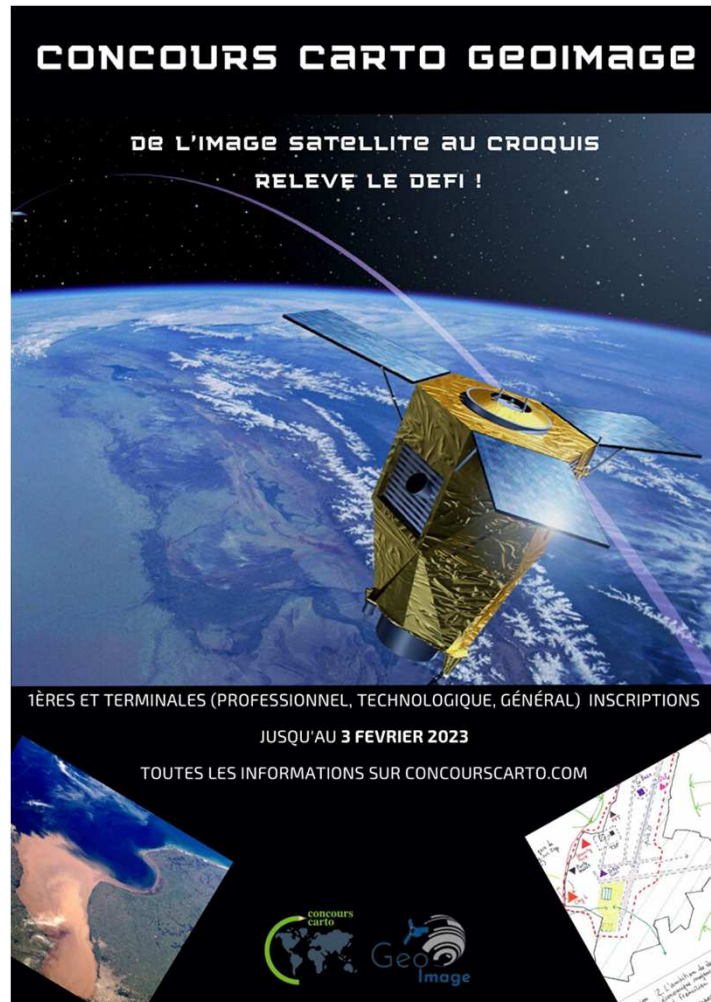
Une démarche d'investigation

Qu'observe t-on ?

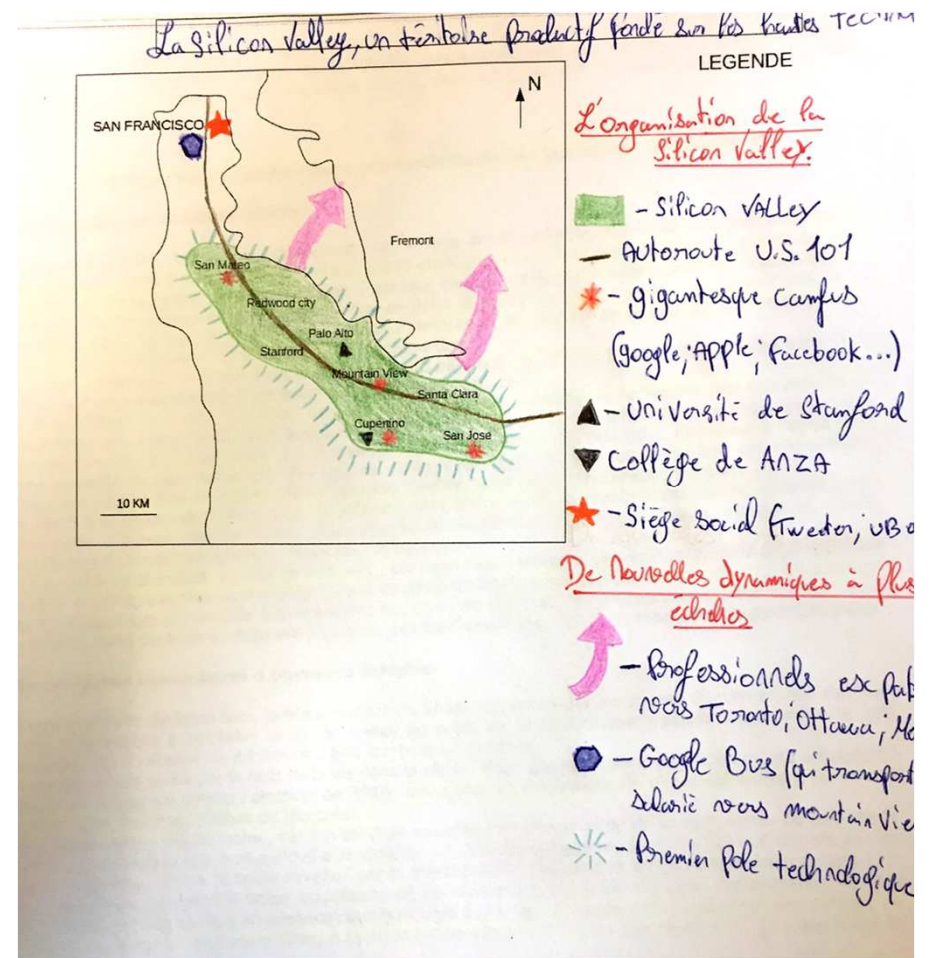


PLEIADES © CNES 2017, Distribution AIRBUS DS

## Un outil pour préparer les élèves aux épreuves de lycée



<https://www.concourscarto.com/accueil-ccg/>



<https://pedagogie.ac-toulouse.fr/hgemc/un-exemple-de-situation-d-evaluation-en-geographie-type-e3c-transformer-un-texte-en-croquis-la>

Une banque d'études de cas : 217 auteurs, 463 dossiers, dont 54 langues étrangères

[https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/dossiers-geoimage\\_573965#2/43.5/-8.4](https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/dossiers-geoimage_573965#2/43.5/-8.4)



IMAGES À LA UNE  
PAYS, RÉGIONS, CONTINENTS  
DOSSIERS THÉMATIQUES  
CONCOURS  
DOSSIERS PAR PROGRAMMES  
SCOLAIRES  
DOSSIERS EN LANGUES  
ÉTRANGÈRES  
PROPOSITIONS PÉDAGOGIQUES  
EXPOSITIONS ET POSTERS  
SATELLITHÉQUE



TOUS NOS  
PARTENAIRES

## A satellite image of the Red Sea region, showing the Gulf of Aden and the Horn of Africa. The image highlights the coastline of Djibouti and the surrounding waters. A scale bar in the bottom right corner indicates 100 km.

Le détroit de Bab el-Mandeb, entre la mer Rouge et l'océan Indien, est un passage stratégique dans une économie mondialisée reposant très largement sur les transports maritimes....

CHILI - RAPA NUI - ÎLE DE PÂQUES : DE LA STATION D'ÉLEVAGE AU PARC NATIONAL, CONCENTRATION ET MISE À L'ÉCART DES POPULATIONS

Les images satellites sont devenues incontournables dans de nombreuses pratiques tant professionnelles que personnelles. Leur utilisation dans un cadre pédagogique est désormais courante. Le CNES, en collaboration avec le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, a développé ce site.

L'objectif est de former les étudiants, les enseignants et leurs élèves en leur présentant des images acquises avec les satellites *Pléiades*, *Spot*, *Sentinel* et *Vegetis*. Ces images sont accompagnées d'un dossier scientifique élaboré en collaboration avec des enseignants du secondaire et du supérieur, experts du domaine concerné.

Une vue principale, souvent accompagnée de zooms thématiques, permet d'approfondir différents types de thèmes et de territoires. Ouvert à tout public, ce site souhaite répondre tout particulièrement aux besoins :

- des professeurs des collèges et des lycées et de leurs élèves,
- des universitaires pour leurs enseignements ou leurs programmes de recherche éventuels.
- des étudiants de Classes préparatoires (E.N.S., Agro., BCPST, Tourisme, Ecoles de commerce...),
- des étudiants et enseignants qui préparent les concours d'accès aux métiers de l'Education nationale (Agréations, Capes, CAPLP),
- du grand public

## Actualités Geolmage



LETTRES D'INFORMATION

Suivez le CNES



SITE ENSEIGNANTS MEDIEATEURS



SITE JEUNES

## LE CNES SUR LES RESEAUX SOCIAUX



## Sites partenaires



➔ **GEOIMAGE SUR TWITTER**



**GEOIMAGE SUR INSTAGRAM**

CNES Géoimage :  
*rendre le monde intelligible*

### *Un levier pour travailler avec les élèves et les étudiants*

Au service des enseignants,  
des chercheurs  
ou du grand public.

Classements par territoires,  
thèmes, programmes scolaires,  
concours.

