

JAKARTA

Urbanisation contrainte et vulnérabilité face aux inondations

Analyse multi-temporelle Sentinel-2 et GHS Built-up Surface

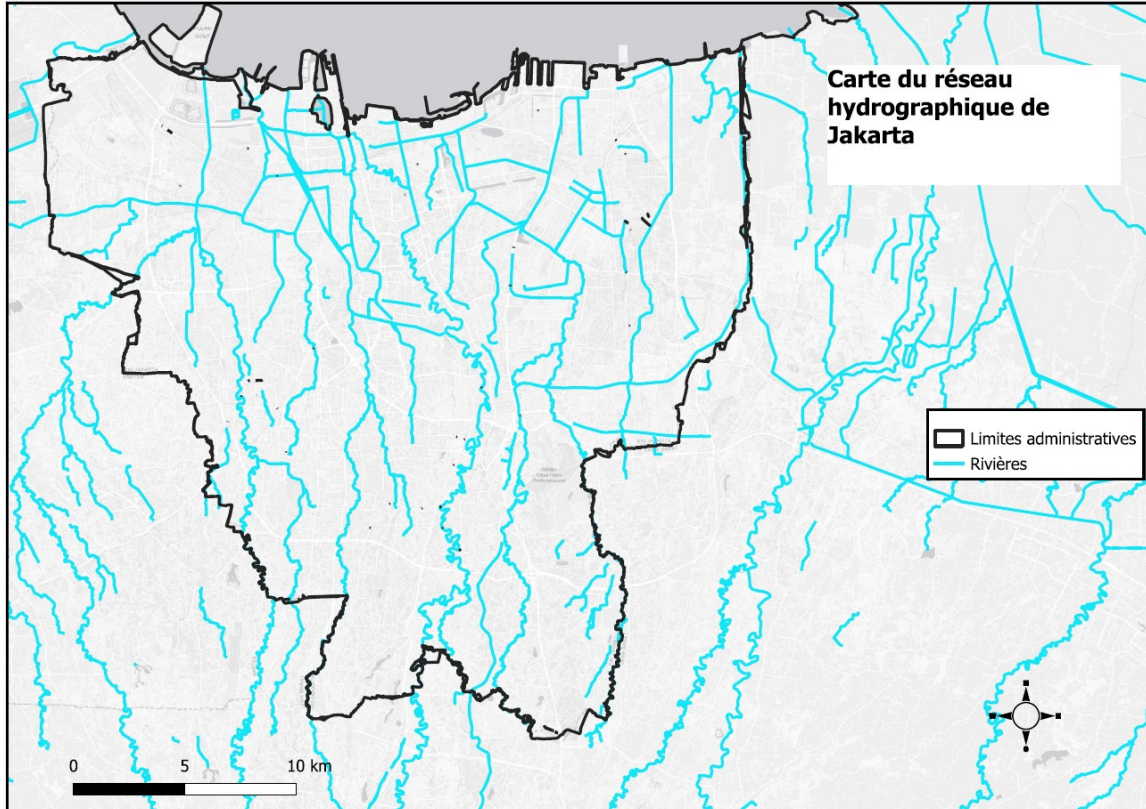
Mihai GAINA & Ali TADJER

M1 G2M Paris 8 - Cours de Télédétection - Mme Malvina DUPAYS (IGN)

Avril 2026

Jakarta : la capitale qui sombre

- Capitale de l'Indonésie — 11 M d'habitants (Jabodetabek 32 M)
- Une ville qui s'étend sur une plaine alluviale , au confluent de treize fleuves et de la mer de Java.



Jakarta : la capitale qui sombre

Mars 2025 — inondations exceptionnelles

- Subsidence : jusqu'à 25 cm/an (pompage des nappes)
- Mars 2025 : > 200 victimes, ~10 000 déplacés
- Décision : transfert capitale vers Nusantara (Bornéo)



Jakarta sous les eaux - source : VOA, domaine public

Problématique et plan en 2 parties

Comment l'urbanisation accélérée de Jakarta s'articule-t-elle avec sa vulnérabilité face aux inondations ?

PARTIE 1

Evolution urbaine 1975 → 2030

GHS Built-up Surface (JRC)
5 dates clés
classification en 5 classes
Saturation spatiale ?

PARTIE 2

Inondations mars 2025

Sentinel-2 L2A — bracketing saisonnier
Indices spectraux + classification
Validation croisée directe vs bracketing

Hypothèse : la saturation spatiale conduit à une densification du bâti existant ce qui accroît mécaniquement la vulnérabilité face aux inondations

Données GHS Built-up Surface

Source de la Partie 1

- Source : Global Human Settlement Layer (GHSL) - JRC, Commission Européenne
- Produit : GHS-BUILT-S R2023A
- Couverture mondiale, résolution 100 m (tuile R10_C29)
- 5 époques retenues : 1975 / 1990 / 2005 / 2020 / 2030 (prédictif)
- Sources amont : Landsat 30 m (1975-2005) + Sentinel-2 10 m (2020) + modèle 2030
- Données de référence scientifique - même grille sur 55 ans

5 EPOQUES

1975 - base Landsat

1990 - Landsat

2005 - Landsat

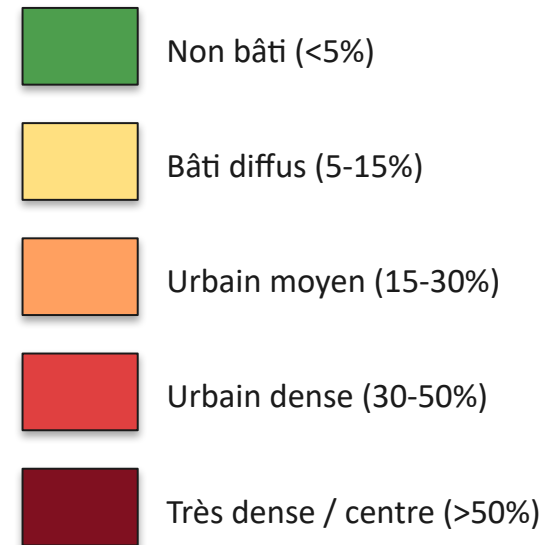
2020 - Sentinel-2

2030 - prediction JRC

Chaine de traitement GHSL complete

- Pipeline 7 etapes par millesime (x 5 epoques = 35 traitements raster)
- 1 - Telechargement raster GHS-BUILT-S R2023A (Copernicus Emergency)
- 2 - Decoupage spatial sur emprise Jakarta (clip raster)
- 3 - Reclassification continu -> 5 classes morphologiques
- 4 - Conversion raster -> vecteur (polygonisation par classe)
- 5 - Zonal statistics : surfaces (km²) par classe et par millesime
- 6 - Calcul taux annuel + % d'evolution par période
- 7 - Cartographie 5 dates + tableau synthese

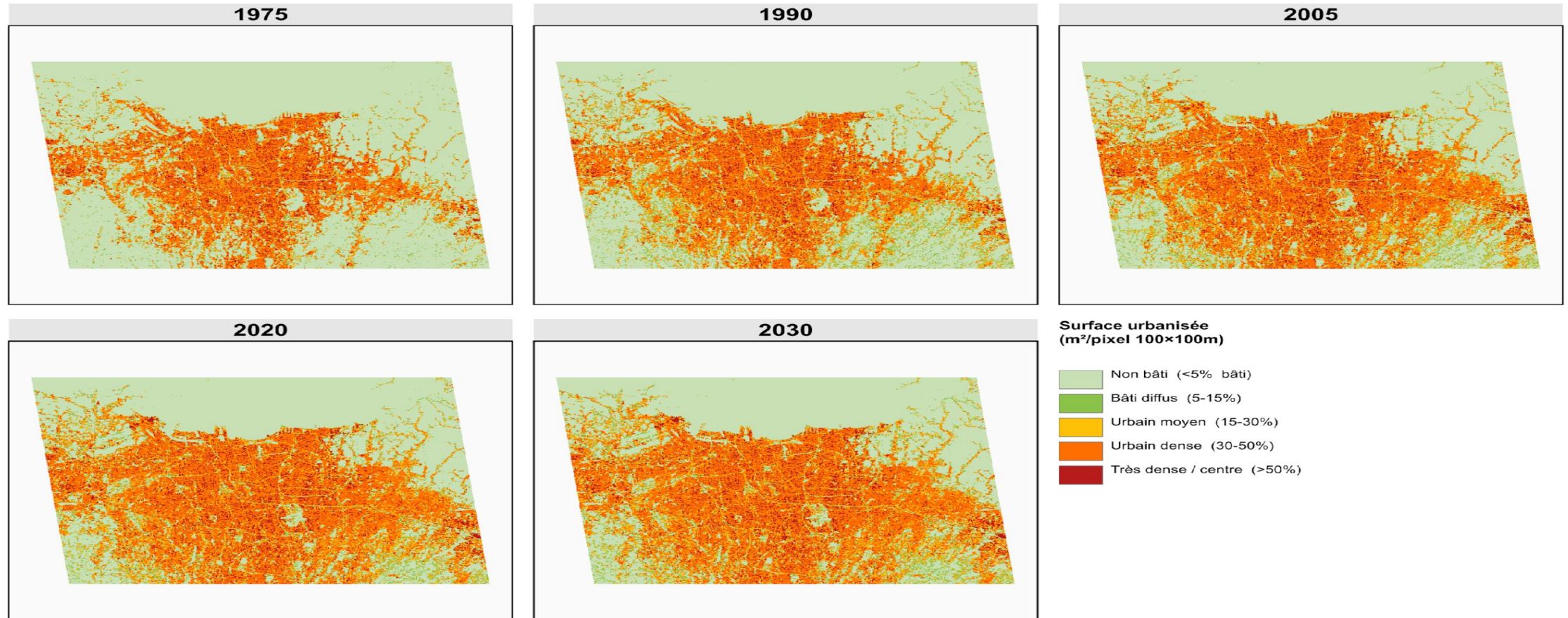
LEGENDE 5 CLASSES



Evolution observable et projetee 1975 - 2030

Évolution de l'urbanisation de Jakarta (1975 — 2030)

Source : GHSL Built-up Surface (JRC, R2023A) - Landsat 30 m (1975-2005) / Sentinel-2 10 m (2020-2030) - Auteurs : GAINA Mihai & TAJDER Ali, M1 G2M Paris 8



0 5 10 km

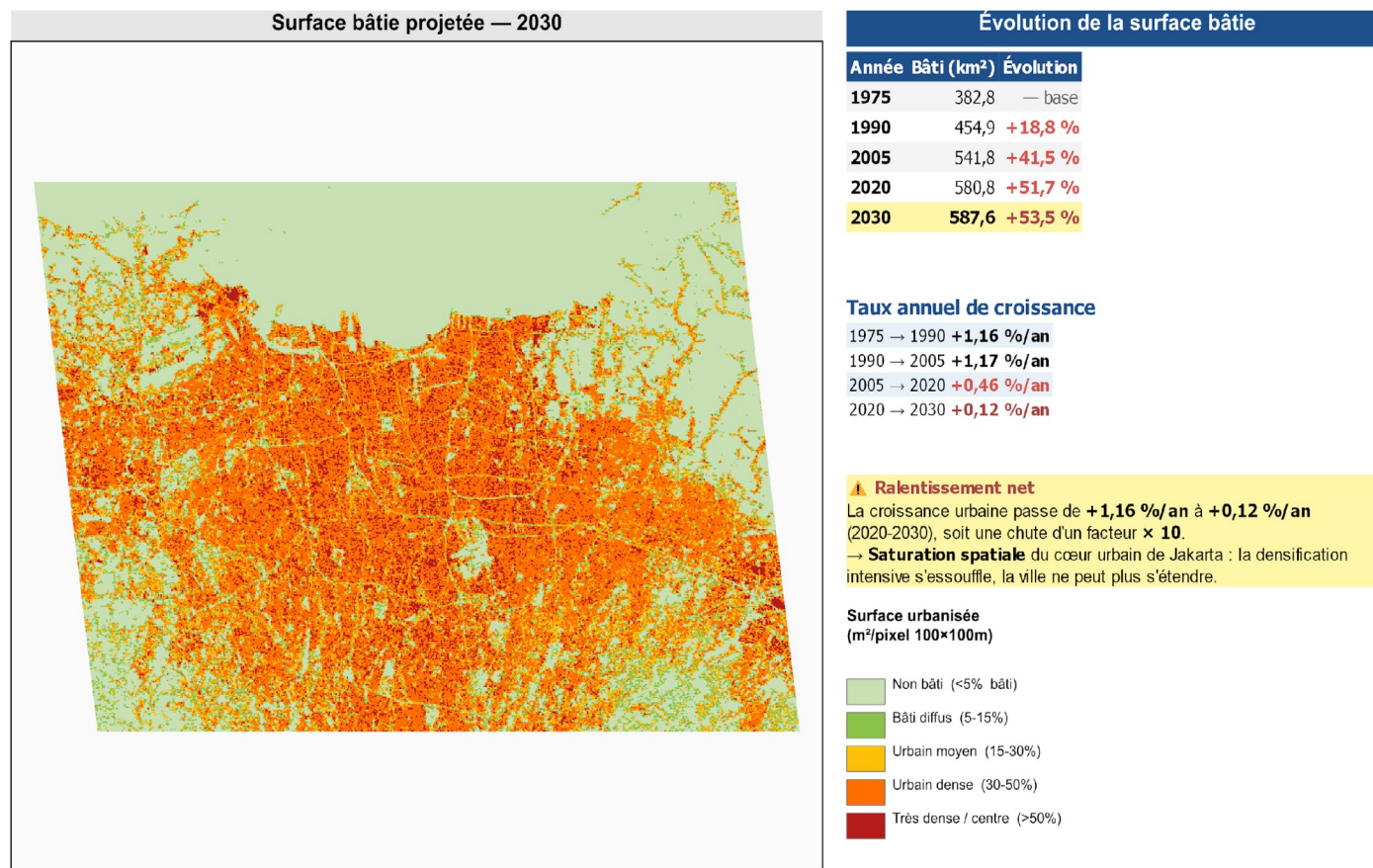
Projection : EPSG:4326 (WGS 84) - QGIS 3.40 Bratislava - Avril 2026



Saturation spatiale - ralentissement x10

Jakarta — Analyse prédictive de l'urbanisation (1975 → 2030)

Source : GHSL Built-up Surface (JRC, R2023A) — Landsat 30 m (1975-2005) / Sentinel-2 10 m (2020-2030) — Auteurs : GAINA Mihai & TAJDER Ali, M1 G2M Paris 8



TAUX ANNUEL DE CROISSANCE

1975 → 1990 **+1,16 %/an**

1990 → 2005 **+1,17 %/an**

2005 → 2020 **+0,46 %/an**

2020 → 2030 **+0,12 %/an**

RALENTISSEMENT × 10

En 20 ans, le rythme d'expansion spatiale est divisé par dix. Jakarta a atteint sa limite : la ville densifie son bâti existant.

0 5 000 10 000 m

Projection : EPSG:4326 (WGS 84) — QGIS 3.40 Bratislava — Avril 2026



Pourquoi le bracketing saisonnier ?

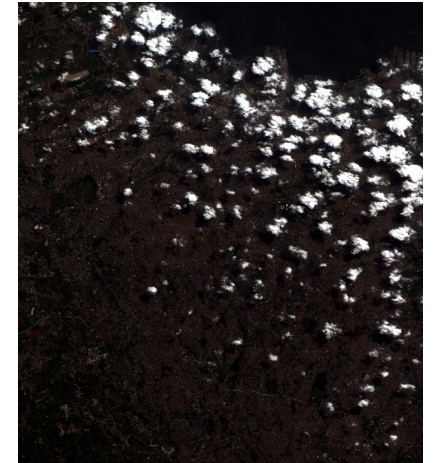
Partie 2 - Méthode

- Objectif : cartographier l'impact des inondations de mars 2025
- Contrainte : Sentinel-2 = optique, pas de vision sous nuages
- Dates événement (fevr-mars 2025) : > 50 % nuages — inexploitable
- Solution : bracketing saisonnier
 - AVANT → 25 oct 2024 (saison sèche, < 10 % nuages)
 - APRES → 28 mai 2025 (post-événement, < 10 % nuages)
- Capture la vulnérabilité chronique plutôt que l'évènement direct

AVANT - 25/10/2024



APRES - 28/05/2025



Compositions vraie couleur (B4-B3-B2)
stretch cumulatif 2-98%

Pipeline en 7 étapes

Méthodologie calée sur le TD Burkina Faso (Mme Dupays)

- 1 Reechantillonnage B11 (20m → 10m)
- 2 Concatenation B2-B3-B4-B8-B11 (5 bandes)
- 3 Découpe ROI (40 km centre Jakarta — 1 600km²)
- 4 Compositions colorees (RGB / IRC / IRC_agri)
- 5 Calcul indices (NDVI, NDWI, SAVI + MNDWI, NDBI)
- 6 Differences temporelles (Δ MNDWI, Δ NDBI)
- 7 Classification supervisee OTB

Pipeline automatisé via script Python (jakarta_pipeline.py) - reproductible avec tout jeu de données

Indices spectraux

3 indices vus en cours + 2 autres pour traiter des eaux urbaines et du bâti

FORMULES

NDVI $(NIR - R) / (NIR + R)$ → vegetation

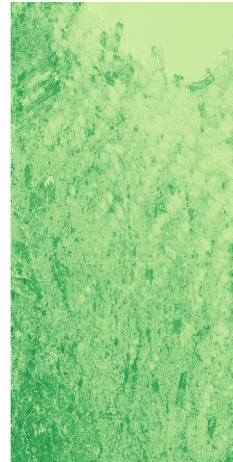
NDWI $(G - NIR) / (G + NIR)$ → eau (Gao)

SAVI $1.5 \times (NIR - R) / (NIR + R + 0.5)$ → vegetation/sols

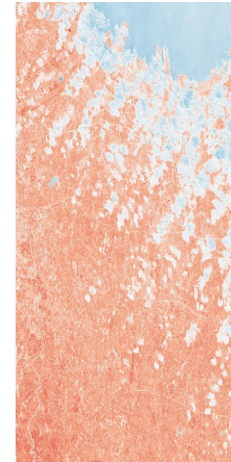
MNDWI $(G - SWIR) / (G + SWIR)$ → eau urbaine ★

NDBI $(SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$ → bâti

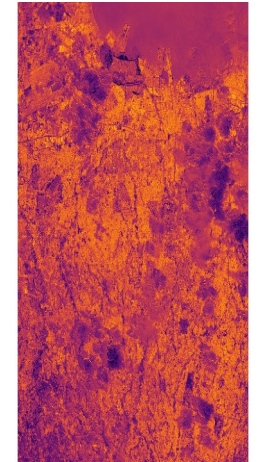
NDVI - vegetation



MNDWI - eau urbaine



NDBI - bâti



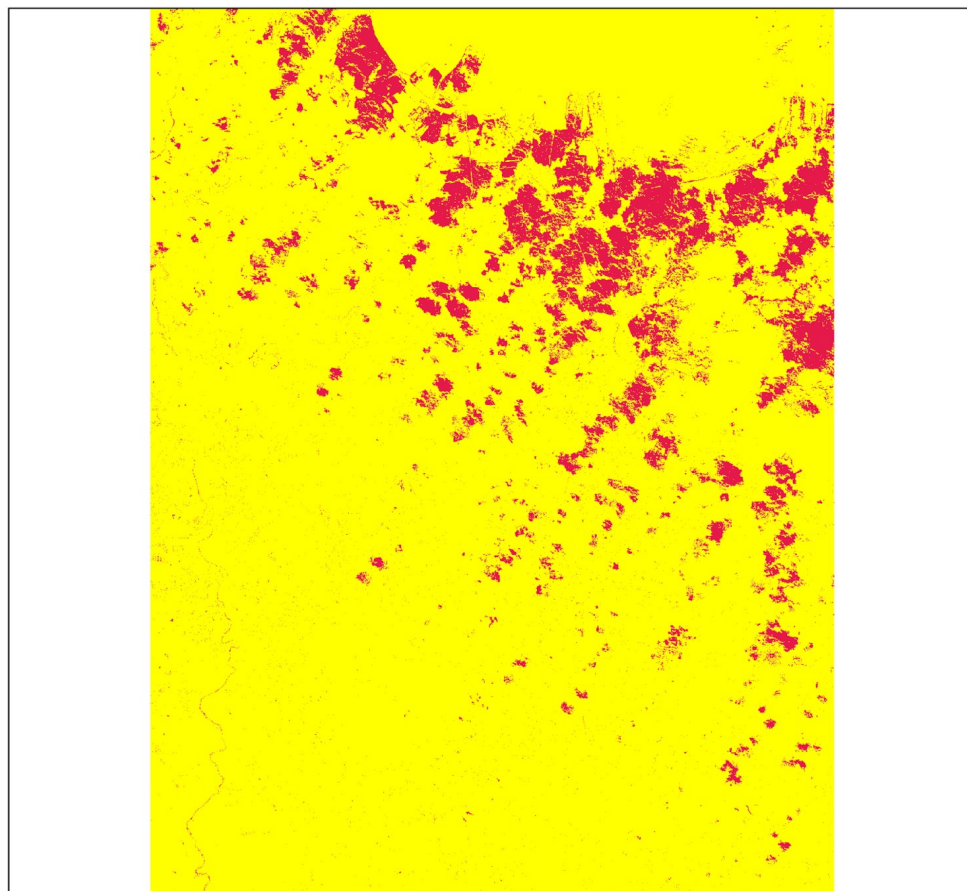
MNDWI = indice central pour eau turbide urbaine (Xu 2006). Seuil 0.0 valide par litterature pour Jakarta tropical.

Carte 1 - Inondation totale

Pixels devenus eau entre oct 2024 et mai 2025

Détection des zones inondées - mars 2025 (persistance en mai)

Source : Sentinel-2 L2A (25/10/2024 vs 28/05/2025) - Mihai GAINA & Ali TAJDER, M1 G2M Paris 8



Légende

- Non inondé
- Inondé (mars 2025, persistant en mai)

Zones inondées

Superficie inondée **120.65 km²**
Pourcentage ROI **10.17 %**
ROI totale 1186 km²

Méthode : seuillage MNDWI > 0,0 (adapté à l'eau turbide de Jakarta) sur mai 2025 et MNDWI < 0,0 sur oct 2024. Les zones encore inondées en mai (2 mois après mars 2025) = **vulnérabilité chronique**.

REGLE DE DETECTION

MNDWI (28 mai) > 0.0
ET
MNDWI (25 oct) < 0.0

RESULTAT

120,65 km²

soit 10,17 % de la ROI

0 2 500 5 000 m

Projection : EPSG:32748 UTM 48S - QGIS 3.40 Bratislava - Avril 2026 - MNDWI > 0.0

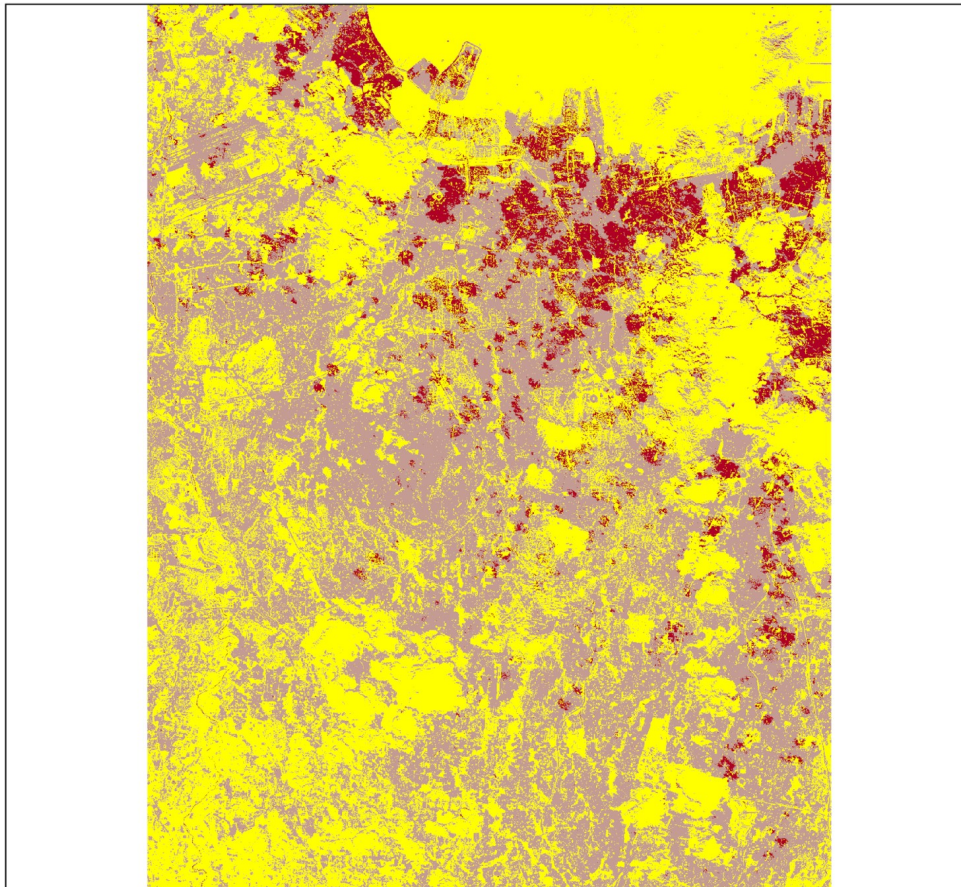


★ Carte 1b - Inondation urbaine filtrée

Filtre flood ∩ bâti pré-événement

Zones urbaines inondées — Jakarta (mars 2025, persistance en mai)

Urbain (NDBI_oct > 0 & NDVI_oct < 0.3) AVANT inondation, intersection avec flood - rizières exclues



Légende

- Autre (non urbain oct 2024)
- Urbain non inondé
- Urbain INONDÉ (mars 2025)

Impact urbain

Urbain (oct 2024)	600.1 km ²
Urbain INONDÉ	87.68 km²
% du bâti touché	14.61 %
Flood total (Carte 1)	120.6 km ²
Dont bâti	72.7 %

Méthode : urbain calculé sur oct 2024 (avant inondation) pour éviter reclassement en "eau" après crue. Intersection avec la flood mask = **87.68 km²** de bâti réellement inondé.

Interprétation : 14.61 % du bâti reste impacté 2 mois après mars 2025. Zones à prioriser pour drainage / aménagement résilient / relocalisation.

METHODE

flood (Carte 1)

∩

NDBI (oct 2024) > 0

ET NDVI (oct 2024) < 0.3

Nuance critique :

utiliser le NDBI d'octobre et non celui de mai (l'eau écraserait le bâti)

RESULTAT CLE

87,68 km²

= 14,61 % du bâti

72,7 % du flood en urbain

0 2 500 5 000 m

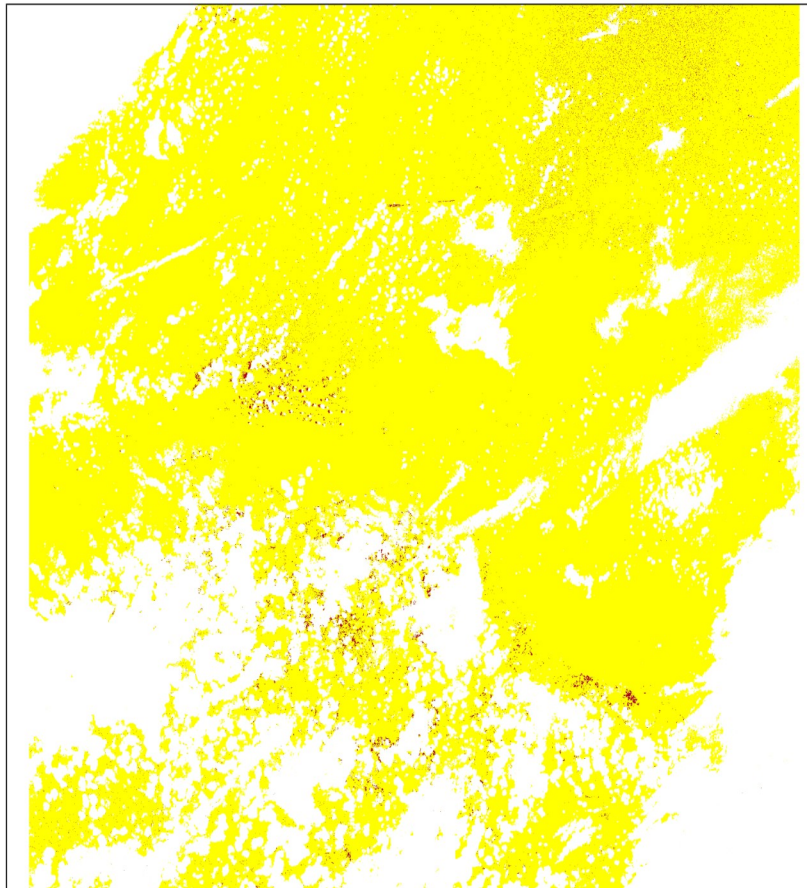


★★ Validation croisée : bracketing vs directe

Pourquoi le bracketing saisonnier est retenu ?

Comparaison méthodes - Inondation directe Jakarta (27 fév vs 14 mars 2025)

Change detection MNDWI + masquage SCL nuages - tile T48MYU



Légende

Inondé (14 mars 2025)
Non inondé
Invalide (nuages / ombres)

Méthode directe (cette carte)

Zone analysable 7821 km²
Masquée (nuages) 4235 km² (35.1%)

Inondation détectée 107.05 km²

% zone analysable 1.37%

Méthode bracketing (retenue)

Flood brut (oct→mai) 120,65 km²

Urbain inondé (Carte 1b) 87,68 km²

% bâti Jakarta 14,61 %

Complémentarité des 2 méthodes :

- Directe = événement réel le 14 mars (65 % zone valide)
- Bracketing = vulnérabilité chronique (100 % couverture)
Ordres de grandeur convergents → validation croisée. Bracketing retenu pour couverture complète et pertinence opérationnelle.

DEUX METHODES, DEUX OPTIQUES

DIRECTE - 27/02 vs 14/03/2025

Couverture : 65 % (35 % nuages)

Détection : 107,05 km²

→ évènement instantané

BRACKETING - oct/mai (retenue)

Couverture : 100 %

Détection : 87,68 km² urbain

→ vulnérabilité chronique

VALIDATION CROISEE

107 ≈ 87 km² - ordres de grandeur convergents.
Méthodes complémentaires.

0 10 000 20 000 m

Sentinel-2 L2A T48MYU - 27/02/2025 (S2B) vs 14/03/2025 (S2C) - EPSG:32748 - MNDWI + masque SCL - Mihai GAINA & Ali TAJDER, M1 G2M Paris 8

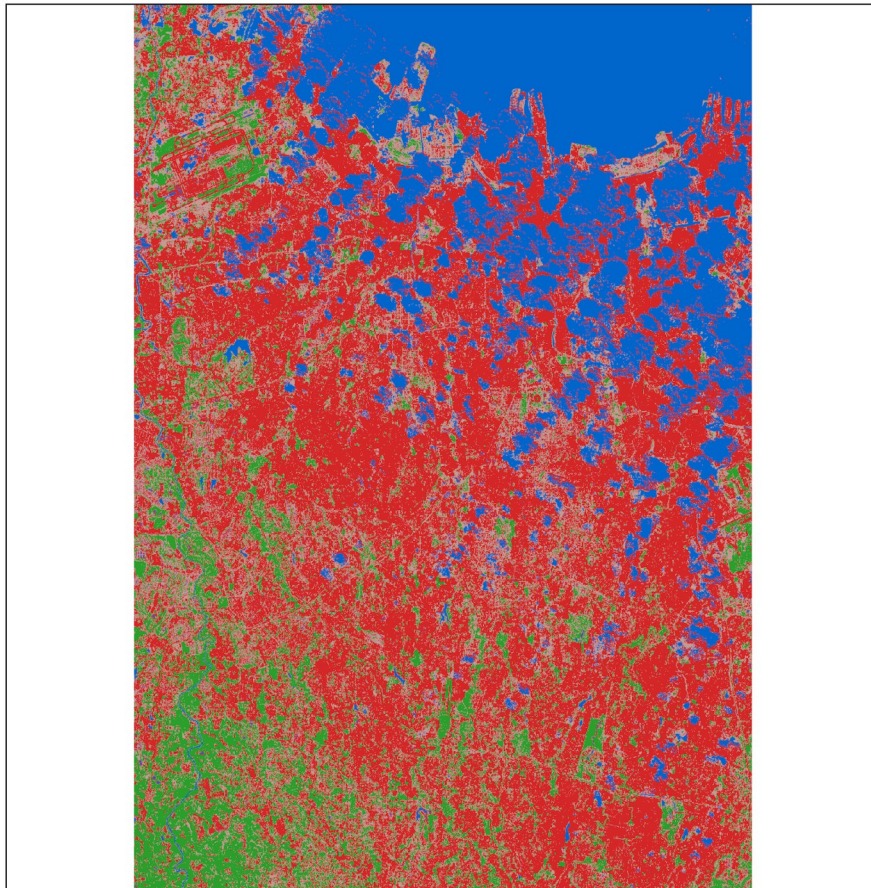


Carte 2 - Occupation du sol

Sur image 28/05/2025

Occupation du sol - Jakarta (28 mai 2025)

Source : Sentinel-2 L2A - Mihai GAINA & Ali TAJDER, M1 G2M Paris 8



Légende
Eau
Végétation
Urbain
Sol nu / Autre

Répartition par classe

Eau	265.9 km ²	22.4%
Végétation	145.1 km ²	12.2%
Urbain	560.5 km ²	47.3%
Sol nu / Autre	214.5 km ²	18.1%

Méthode : cascade de seuillages Sentinel-2 (MNDWI > 0,0 = eau, NDVI > 0,4 = végétation, NDBI > 0 & NDVI < 0,3 = urbain, reste = sol nu/autre). Seuil MNDWI adapté à la turbidité de la baie de Jakarta.

REPARTITION ROI (1 186 km²)

	Eau	265,93 km ²	22,4 %
	Végétation	145,13 km ²	12,2 %
	Urbain	560,48 km ²	47,3 %
	Sol nu / autre	214,50 km ²	18,1 %

47 % d'urbains confirmés : on travaille sur une métropole hyperdense. La mesure de vulnérabilité en % du bâti est donc la plus pertinente.

0 2 500 5 000 m

Projection : EPSG:32748 UTM 48S - QGIS 3.40 Bratislava - Avril 2026 - MNDWI > 0.0



Synthese, limites et perspectives

SYNTHESE

- P1 : Jakarta saturee → densification (×10 ralentissement)
- P2 : 14,61 % du bati inondé mars 2025
- Densification + saturation = vulnérabilité accrue

LIMITES

- Pas de Sentinel-1 radar (events sous nuages)
- Seuil MNDWI = 0 → arbitraire, sensibilité à valider
- ROI 40 km - Jabodetabek pas intégralement couvert

PERSPECTIVES

- Croisement données socio-économique (densité, IMD)
- Suivi annuel post-événement (2026, 2027...)
- Intégration radar Sentinel-1 pour les événements futurs

Merci de votre attention

JAKARTA

Urbanisation contrainte et vulnérabilité face aux inondations

Analyse multi-temporelle Sentinel-2 et GHS Built-up Surface

Mihai GAINA & Ali TADJER

M1 G2M Paris 8 - Cours de Télédétection - Mme Malvina DUPAYS (IGN)

Avril 2026