

NZELA EBALE

Un écosystème géospatial intelligent pour la navigation fluviale sur le Congo et l'Oubangui — observation satellitaire des bancs de sable, alerte embarquée sans réseau, et maillage radio **Meshtastic LoRa** entre les bateaux, de Kinshasa à Kisangani et de Brazzaville à Bangui.



2 334

KM DE VOIE COUVERTE

3

PAYS RIVERAINS

12

TRONÇONS SUIVIS

786

BANCS CARTOGRAPHIÉS

OBJET

Prévention ·
Information · Aide
à la navigation

ZONE

RDC · Congo · RCA

ÉTAT

Prototype en
service

DATE

3 septembre 2026



ILLUSTRATION · MONTAGE D'IMAGES LIBRES

Trois satellites, un fleuve, ceux qui y naviguent

Montage réalisé pour ce dossier à partir de photographies libres de droits : il ne représente **aucune prise de vue réelle** — à l'altitude d'un satellite, une pirogue ne se distingue pas. Il dit ce que le système articule, et rien de plus : une constellation radar au-dessus, une voie d'eau semée de bancs au milieu, des gens qui naviguent en bas. Ce que Sentinel-1 voit **vraiment** commence au chapitre de l'observation satellitaire.

De haut en bas — maquette Sentinel-1 : Rama, Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.0 FR · bassin du Congo vu de l'espace : Agence spatiale européenne, CC BY-SA 3.0 IGO · baleinière sur le fleuve Congo : VALENTIN NVJ, CC BY 4.0 · pirogues sur le fleuve Congo : Julien Harneis, CC BY-SA 2.0.

Le montage lui-même est placé sous CC BY-SA 4.0, comme l'exigent les licences dont il dérive.

Ce que contient ce dossier

Trente et une pages. Les premières posent le problème et la réponse ; les pages 16 à 21 traitent du maillage radio, qui est l'objet principal de la demande de financement ; les dernières donnent la feuille de route, le budget et les risques.

PARTIE	PAGE	PARTIE	PAGE
Résumé exécutif	4	Couche 5 — diffusion publique	25–26
Le problème — un fleuve sans carte à jour	5	Preuves : ce qui tourne aujourd'hui	27
Périmètre géographique et découpage	6	Données, vie privée, souveraineté	28
Architecture générale en cinq couches	7	Feuille de route en quatre lots	29
Couche 1 — observation satellitaire	8–9	Budget indicatif	30
Inventaire satellitaire complet	10–13	Indicateurs, risques, gouvernance	31
Couche 2 — l'application du batelier	14–15		
Couche 3 — maillage Meshtastic LoRa	16–21		
Couche 4 — le centre d'exploitation	22–24		

Convention de lecture

- EN SERVICE** le code existe, tourne, et a été éprouvé.
- AMORCÉ** la structure est en place, la fonction n'est pas complète.
- À CONSTRUIRE** rien n'est écrit ; c'est l'objet de la demande.

Une règle de méthode, tenue dans tout le projet

Le système ne publie jamais une donnée qu'il ne peut pas justifier. Quand la chaîne satellitaire n'arrive pas à séparer l'eau du sable de manière sûre, elle **ne publie rien** et conserve le relevé précédent — plutôt qu'une carte fausse. Le même principe s'applique à ce dossier : ce qui n'existe pas est marqué comme n'existant pas.

LES CHIFFRES DE CE DOSSIER, ET OÙ LES VÉRIFIER

GRANDEUR	VALEUR	SOURCE, VÉRIFIABLE
Bancs de sable publiés	786	/data/etat.json
Surface de sable mesurée	588,4 km ²	/data/bancs-reels.geojson
Tronçons déclarés / publiés	12 / 6	/data/zones.json
Seuils radar retenus par tronçon	19,7 – 21,9 dB	/data/histogramme.json
Délai de remontée le plus long observé	5 h 03	Base du centre, table des signalements
Version de l'application embarquée	1.4.0	/data/version-app.json
Nœuds du maillage radio en service	0	Passerelle de bord, route /etat

Ce dossier et son manuel, en ligne

- Ce dossier** <https://nzela.ebale.fivesar.l.com/telechargements/nzela-ebale-dossier.pdf>
PDF · 31 pages
- Manuel d'utilisation** <https://nzela.ebale.fivesar.l.com/telechargements/nzela-ebale-manuel.pdf>
PDF · 105 pages · 50 chapitres
- Le manuel sous Word** <https://nzela.ebale.fivesar.l.com/telechargements/nzela-ebale-manuel.docx>
.docx modifiable

Ces adresses ne changent pas : elles servent toujours la dernière version. Un exemplaire daté du dossier est figé à .../nzela-ebale-dossier-2026-09.pdf. Le manuel couvre les quatre usages du système — le batelier, le public, le centre et l'administration — et donne un scénario situé pour chaque cas.

01 Résumé exécutif

Ce que fait le système, pourquoi il est nécessaire, et ce que le financement doit permettre.

LE CONSTAT

Le fleuve Congo est la principale route de marchandises et de personnes du bassin. Sur **1 734 km** entre Kinshasa et Kisangani, et **600 km** entre Liranga et Bangui, la voie navigable n'est balisée que par endroits, et le chenal **se déplace à chaque saison**. Les bancs de sable apparaissent et disparaissent. Les cartes disponibles ont, dans le meilleur des cas, plusieurs décennies. Les échouements, les avaries et les naufrages qui en découlent frappent d'abord les embarcations artisanales, qui n'ont ni sondeur, ni carte, ni radio.

LA RÉPONSE

Nzela Ebaie assemble trois choses qui existaient séparément et qui ne se parlaient pas :

1. **Le satellite voit le sable.** Le radar Sentinel-1 de l'Agence spatiale européenne traverse les nuages et distingue l'eau lisse du sable rugueux. La chaîne de traitement extrait chaque nuit les bancs émergés, tronçon par tronçon, sans intervention humaine.
2. **Le téléphone alerte à bord, sans réseau.** L'application embarquée garde la carte des dangers en mémoire et prévient le capitaine par un son dont la cadence monte à mesure que le danger approche — calculée à partir du **temps avant impact**, pas de la distance.
3. **La radio relie ce que le GSM ne relie pas.** C'est l'objet principal de cette demande : un maillage **Meshtastic LoRa** entre les bateaux et les escales, pour faire remonter les appels de détresse et les signalements de danger là où il n'y a aucune couverture cellulaire — c'est-à-dire sur la plus grande partie du parcours.

786

BANCS PUBLIÉS

588,4

KM² DE SABLE MESURÉS

~2 s

POUR UN SOS PAR RADIO

0 €

COÛT RÉSEAU À BORD

CE QUE LE FINANCEMENT DOIT PERMETTRE

Le maillage radio

Écrire le protocole de relais, équiper une flotte pilote et une chaîne d'escales en nœuds Meshtastic, mesurer la portée réelle sur l'eau, et obtenir l'autorisation d'usage du spectre auprès des trois régulateurs nationaux.

Le passage à l'échelle

Étendre la couverture satellitaire des 6 tronçons publiés aux 12 déclarés, ouvrir une porte d'entrée pour les appels de détresse anonymes, et former les premiers utilisateurs — bateliers, armateurs, autorités fluviales.

Un point à ne pas masquer

Le maillage entre bateaux **n'est pas encore écrit**. La passerelle de bord existe, elle expose déjà son état radio et sa file de messages, mais elle répond aujourd'hui **voisins : 0**. Le protocole de relais — qui répète quoi, combien de fois, comment on évite la tempête de messages — reste à concevoir et à éprouver sur l'eau. C'est le cœur de ce que ce dossier demande de financer.

02 Un fleuve sans carte à jour

Le problème n'est pas l'absence de fleuve navigable. C'est l'absence d'information fraîche sur l'endroit où il est navigable **aujourd'hui**.

CE QUI REND LA NAVIGATION DANGEREUSE

Le chenal se déplace. Le Congo transporte des quantités de sable considérables. Entre la saison sèche et la saison des pluies, le niveau varie de plusieurs mètres et les bancs se recomposent. Un passage sûr en janvier peut être un échouement en août.

Le balisage est incomplet. Là où il existe, il est ancien, parfois déplacé, souvent non entretenu. Beaucoup de biefs ne portent aucune marque.

Le pilotage repose sur la mémoire. Les capitaines expérimentés lisent la couleur de l'eau et les remous. Ce savoir est réel, précieux — et il ne se transmet ni ne se partage à l'échelle du bassin.

Il n'y a pas de réseau. Passé quelques dizaines de kilomètres des villes, il n'y a ni GSM, ni internet. Un bateau en difficulté ne peut prévenir personne.

CE QUE CELA COÛTE

Les naufrages sur les voies fluviales du bassin du Congo font régulièrement des dizaines de victimes par événement. Les causes se répètent : surcharge, navigation de nuit, et **échouement sur un banc non signalé** suivi d'un chavirement.

Au-delà du drame humain, chaque échouement immobilise une cargaison, endommage une coque, et renchérit le transport fluvial — le seul mode accessible pour une grande partie des populations riveraines.

Ce que ce projet ne prétend pas faire

Il ne remplace pas le pilote : le système **signale**, il ne **commande** jamais. Aucune manœuvre n'est suggérée.

Il ne mesure pas la profondeur : le radar voit le sable **émergé**, pas le fond sous l'eau.

Il ne remplace pas un service hydrographique. Il apporte une donnée fraîche, répétable et gratuite, là où il n'y en avait aucune.

LES TROIS MANQUES AUXQUELS LE SYSTÈME RÉPOND

MANQUE	CONSÉQUENCE SUR LE FLEUVE	RÉPONSE APPORTÉE
Information	Le capitaine ne sait pas où est le sable cette semaine.	Relevé radar hebdomadaire par tronçon, embarqué dans le téléphone, consultable sans réseau.
Prévention	Le danger n'est perçu qu'au moment de l'impact.	Veille sonore embarquée : alerte à 90 s du danger, dans un cône de 120° devant l'étrave.
Secours	Une avarie hors couverture n'est signalée à personne.	Maillage radio LoRa de bateau à bateau, jusqu'à une escale reliée au centre.

Pourquoi c'est faisable maintenant, et pas il y a cinq ans

Trois choses ont changé : les images radar Sentinel-1 sont devenues **gratuites, ouvertes et répétées tous les six jours** ; les téléphones Android d'entrée de gamme ont un GPS correct et suffisamment de mémoire pour porter une carte hors ligne ; et les modules radio LoRa coûtent aujourd'hui quelques dizaines de dollars pour une portée de plusieurs dizaines de kilomètres au-dessus de l'eau.

03 Périmètre : trois pays, deux axes, douze tronçons

Le fleuve ne connaît pas les frontières : le maillage non plus. La zone couverte englobe la République démocratique du Congo, la République du Congo et la République centrafricaine.

Axe national – Kinshasa → Kisangani

1 734 km de voie principale, entièrement en RDC, rive gauche et rive droite partagées avec la République du Congo sur la partie basse.

Escales couvertes : Kinshasa, Maluku, Bolobo, Mbandaka, Lisala, Bumba, Basoko, Kisangani.

Axe international – Liranga → Bangui

~600 km sur l'Oubangui, frontière entre la République du Congo et la RDC, puis accès à la République centrafricaine.

Escales couvertes : Liranga (confluence), Impfondo, Bétou, Bangui.

LES DOUZE TRONÇONS DE TRAITEMENT

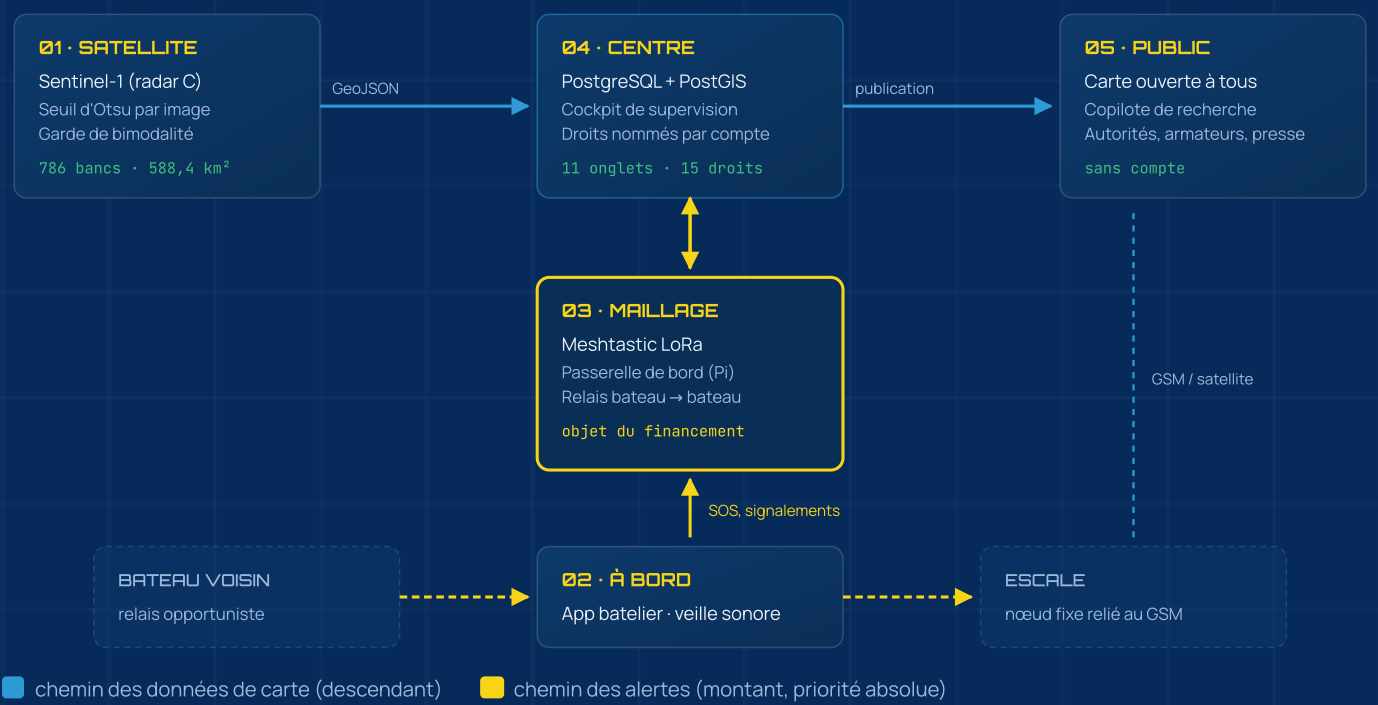
Une image satellite ne couvre pas 2 300 km d'un coup. Le fleuve est découpé en emprises rectangulaires, chacune traitée séparément, avec sa propre image, sa propre date et son propre seuil de séparation eau/sable.

TRONÇON	PAYS	EMPRISE	DERNIER RELEVÉ	BANCS	ÉTAT
Kinshasa-Maluku (Pool Malebo)	RDC / Congo	1 753 km ²	30/08/2026	374	PUBLIÉ
Kwamouth (confluence Kasai)	RDC	743 km ²	30/08/2026	6	PUBLIÉ
Bolobo	RDC	510 km ²	—	—	EN ATTENTE D'IMAGE
Lukolela	RDC / Congo	1 096 km ²	—	—	EN ATTENTE D'IMAGE
Mbandaka (confluence Ruki)	RDC	1 007 km ²	—	—	EN ATTENTE D'IMAGE
Lisala	RDC	934 km ²	01/09/2026	80	PUBLIÉ
Bumba	RDC	932 km ²	01/09/2026	98	PUBLIÉ
Basoko (confluence Aruwimi)	RDC	1 003 km ²	27/08/2026	75	PUBLIÉ
Kisangani	RDC	409 km ²	—	—	REJET QUALITÉ
Confluence Liranga	Congo / RDC	1 595 km ²	30/08/2026	153	PUBLIÉ
Impfondo	Congo	709 km ²	—	—	REJET QUALITÉ
Bangui	RCA / RDC	262 km ²	—	—	REJET QUALITÉ
Total		10 953 km ²	6 publiés / 12	786	

« Rejet qualité » ne signifie pas une panne : l'image du jour ne permettait pas de séparer l'eau du sable avec certitude, et le système a préféré ne rien publier. Le mécanisme est détaillé page 8.

04 Cinq couches, une seule chaîne

Chaque couche fonctionne seule. Si l'une tombe, les autres continuent de rendre service – c'est la règle de conception qui gouverne tout le système.



LA RÈGLE QUI GOUVERNE L'ENSEMBLE

Le téléphone décide seul

Toute la sécurité – carte des dangers, calcul d'approche, alerte sonore – vit dans l'application. Sans réseau, sans passerelle, sans serveur, elle continue.

La passerelle ne juge rien

Le boîtier de bord garde une copie et relaie. Il ne calcule pas, n'alerte personne. S'il tombe, rien de vital ne s'arrête.

Le centre n'est pas un péage

La carte publique et les données de danger sont accessibles sans compte. Le compte ne sert qu'à déposer un signalement attribuable.

LE CHEMIN D'UN SIGNALEMENT, DE BOUT EN BOUT

#	ÉTAPE	CE QUI SE PASSE	RÉSEAU REQUIS
1	Appui du capitaine	Catégorie choisie d'un geste, position GPS et heure de l'appareil enregistrées, identifiant unique attribué.	aucun
2	File locale	Le signalement attend dans le téléphone. Il n'est jamais perdu si l'application est fermée.	aucun
3	Premier chemin ouvert	Internet direct, sinon passerelle de bord par wifi, sinon maillage radio.	l'un des trois
4	Relais	De bateau en bateau jusqu'à une escale captant le GSM.	LoRa
5	Enregistrement	Le centre garde les deux heures : celle de la saisie et celle de la réception.	–
6	Retour au fleuve	Le danger rejoint la couche publiée et redescend dans les téléphones des suivants.	internet

05 Le satellite qui voit à travers les nuages

Comment un radar spatial devient une carte des bancs de sable, sans aucun réglage humain et sans jamais publier un résultat douteux.

LA SOURCE

Sentinel-1, constellation radar de l'Agence spatiale européenne, imagerie en bande C, mode IW GRDH, orbite descendante. Deux propriétés en font le bon capteur pour ce problème :

- le radar **traverse la couverture nuageuse** — décisif sous un climat équatorial où l'optique est inutilisable la moitié de l'année ;
- il mesure la **rugosité de la surface** : l'eau lisse renvoie peu de signal, le sable et la végétation en renvoient beaucoup. La séparation ne dépend ni de la couleur ni de la luminosité.

Les images sont gratuites, ouvertes, et repassent sur la même zone tous les six jours en moyenne — parfois moins selon la latitude et les orbites disponibles.

LA MÉTHODE

- Extraction.** Découpe de l'emprise du tronçon dans la scène, en rétrodiffusion linéaire, puis conversion en décibels.
- Lissage.** Filtre médian 5×5 pour atténuer le chatoiement propre au radar, sans effacer les bords de banc.
- Seuil automatique.** Méthode d'Otsu : le seuil retenu est celui qui sépare le mieux les valeurs de l'image en deux groupes. Recalculé **pour chaque image**, d'où des valeurs différentes d'un tronçon à l'autre.
- Morphologie.** Ouverture puis fermeture pour retirer les pixels isolés et refermer les trous ; restriction au lit du fleuve détecté.
- Vectorisation.** Chaque zone sèche devient un polygone fermé, avec sa surface calculée sur l'ellipsoïde WGS-84.

LES SEUILS RÉELLEMENT RETENUS, PAR TRONÇON

TRONÇON	SEUIL (DB)	SÉPARABILITÉ	POLYGONES	SURFACE	PRISE DE VUE
Kinshasa-Maluku	20,464	0,639	374	211,8 km ²	30/08/2026
Confluence Liranga	21,921	—	153	188,1 km ²	30/08/2026
Lisala	20,578	0,934	80	65,1 km ²	01/09/2026
Bumba	21,075	—	98	62,6 km ²	01/09/2026
Basoko	20,534	—	75	60,2 km ²	27/08/2026
Kwamouth	19,681	0,785	6	0,6 km ²	30/08/2026

Pourquoi 211,8 km² à Kinshasa contre 0,6 km² à Kwamouth

Les deux images ont été prises **le même jour** : la saison n'explique rien ici. Les emprises font 1 753 km² contre 743 km², un rapport de 2,4 — la taille n'explique pas non plus un écart de 353. La raison est morphologique : à Kinshasa le fleuve s'étale en un plan d'eau semé de bancs (374 formes distinctes), tandis qu'à Kwamouth il reste un chenal resserré (6 formes). La saison joue, elle, sur l'évolution d'un **même tronçon** d'un mois à l'autre.

06 La garde qui refuse de publier

Le dispositif dont nous sommes le plus fiers n'ajoute aucune donnée : il en retire. C'est ce qui rend le reste crédible.

Un seuil automatique produit toujours **un** résultat, même sur une image inexploitable — crue qui submerge tous les bancs, image bruitée, angle d'incidence défavorable. Publier ce résultat reviendrait à dessiner des bancs qui n'existent pas, sur une carte que des capitaines utilisent pour décider d'un passage. La chaîne applique donc **quatre conditions cumulatives** avant toute publication.

#	CONDITION	CE QU'ELLE VÉRIFIE	SEUIL
1	Nombre de modes	La répartition des valeurs de l'image doit présenter au moins deux bosses distinctes — l'eau d'un côté, le sable de l'autre. Les bosses faisant moins de 15 % de la plus haute ne sont pas comptées.	≥ 2
2	Une bosse sous le seuil	Il doit exister une population d'eau identifiable. Sans elle, l'image ne montre que du sec.	≥ 1
3	Une bosse au-dessus	Il doit exister une population de sable identifiable.	≥ 1
4	Séparabilité	Part des écarts de valeurs de l'image expliquée par la coupure eau/sable — variance inter-classes divisée par variance totale.	$\geq 0,55$

Si une seule condition manque, le tronçon est marqué `rejet_bimodalite`, **rien n'est publié**, et le relevé précédent reste en place sur la carte. Une nouvelle tentative a lieu la nuit suivante. En pratique, sur l'historique récent, trois tronçons sur douze ont été écartés de cette façon — Kisangani, Impfondo et Bangui.

Un piège de lecture que le système signale lui-même

Un journal de rejet affiche par exemple :

`separabilite 0.818 (minimum 0.55), 1 modes dont 0 sous le seuil`

La séparabilité de 0,818 **dépasse largement** le minimum de 0,55 : cette condition-là était remplie. Le rejet vient de la première condition — une seule bosse trouvée, et aucune du côté de l'eau. Une note élevée n'est donc pas une garantie de qualité, et l'ancienne rédaction du message, qui citait la séparabilité en tête même quand elle passait, se lisait à tort comme la cause. L'interface d'exploitation explique désormais ce point d'un simple clic sur le mot.

DEUX CONTRÔLES SUPPLÉMENTAIRES AVANT PUBLICATION

Vraisemblance

Le résultat est comparé au relevé précédent du même tronçon : écart de surface, facteur du nombre de polygones, seuil dans la plage observée. Trop d'écart $\Rightarrow$ statut `suspect_a_valider`, mise de côté pour contrôle humain plutôt que publication.

Ressources machine

Avant de télécharger une scène de plusieurs centaines de mégaoctets, la chaîne vérifie le disque libre, la mémoire disponible et la charge du serveur. En deçà des seuils, statut `abandon_machine` : aucune image n'est téléchargée, la nuit suivante reprendra.

La flotte : quels satellites, réellement

Le mot « satellite » recouvre ici huit sources distinctes. Trois seulement produisent de la **mesure** ; les autres sont des fonds d'image ou du positionnement. Le tableau les sépare, et dit lesquelles sont raccordées.

SOURCE	CAPTEUR	RÉSOLUTION	RÔLE EXACT DANS NZELA EBALE	ÉTAT
Sentinel-1A ESA · Copernicus	SAR bande C 5,405 GHz	20 × 22 m pixel 10 m	Mesure des bancs de sable. Passages descendants sur nos zones — retenus par le filtre d'orbite.	EN SERVICE
Sentinel-1C ESA · Copernicus	SAR bande C 5,405 GHz	20 × 22 m pixel 10 m	Sur la zone pilote, ses dix passages de l'été 2026 sont tous ascendants : le filtre d'orbite les écarte intégralement.	ÉCARTÉ
Sentinel-1D ESA · Copernicus	SAR bande C 5,405 GHz	20 × 22 m pixel 10 m	Fournit aujourd'hui la totalité des scènes réellement traitées en production (10 sur 10, du 20/08 au 01/09/2026).	EN SERVICE
Sentinel-2 mosaïque s2cloudless 2025, EOX	Optique multispectral	≈ 10 m	Fond de carte « Satellite (Sentinel-2 · 2025) ». Mosaïque annuelle sans nuages, libre et sans clef. Aucune mesure n'en est tirée.	EN SERVICE
ESA WorldCover 2021 v200 — dérivé Sentinel-1 + Sentinel-2	Classification 11 classes	10 m	Couche d'occupation du sol, produite localement depuis le COG AWS et servie en image. Kinshasa–Maluku seulement.	EN SERVICE
Esri World Imagery Maxar, Earthstar Geographics	Optique + photo aérienne	z17 partout z19 sur Kinshasa	Fond « Satellite » par défaut du cockpit et de la carte publique, plus deux calques de repères (routes, noms).	EN SERVICE
GNSS GPS · GLONASS · Galileo · BeiDou	Positionnement	cercle de précision affiché	Position du batelier à bord, par le récepteur multi-constellations de l'appareil Android. C'est le seul satellite que l'utilisateur final « utilise » directement.	EN SERVICE
NASA GIBS · FIRMS EONET · POWER via NASA-HUB, service FIVE SARL	VIIRS, MODIS feux, météo	250 m – 1 km	Disponibles sur le serveur pour les autres produits maison. Aucun appel depuis Nzela Ebale : rien dans le code, ni au sol ni à bord.	NON RACCORDÉ

Ce que le catalogue a réellement donné

Interrogation du catalogue le 3 septembre 2026, zone pilote Kinshasa–Maluku, fenêtre du 5 juin au 30 août : **38 scènes** en mode IW.

PLATEFORME	DESCENDANTES	ASCENDANTES
Sentinel-1A	8	0
Sentinel-1C	0	10
Sentinel-1D	16	4
Retenues par le filtre	24	0

Les filtres qui décident, et leur prix

Mode IW — le mode de veille des terres émergées.

Orbite descending — le code ne dit pas pourquoi. La conséquence, elle, se mesure : sur cette zone, ce seul filtre écarte **14 scènes sur 38**, dont tout Sentinel-1C. Le rouvrir aux passages ascendants multiplierait le nombre d'images disponibles par 1,6 — au prix d'une géométrie de prise de vue différente, qu'il faudrait éprouver avant d'y toucher.

Recouvrement ≥ 99 % de la zone : une scène qui coupe le tronçon est rejetée plutôt que complétée.

Bande VV seule. La bande VH est téléchargeable mais n'est pas lue.

Revisite : ce qu'on nous promet, et ce que nous avons compté

Les écarts entre deux passages descendants successifs sur la zone pilote, sur l'été 2026, alternent **7 et 5 jours** (une fois 2 jours, quand deux plateformes se suivent). Le système interroge le catalogue sur une fenêtre glissante de **30 jours** : il voit donc, en principe, cinq occasions par mois. Sur les trois nuits journalisées, 23 passages de zone sur 57 se sont pourtant soldés par un **rien** — aucune scène nouvelle satisfaisant les trois filtres à la fois.

08 Les couches, une par une

Onze couches se superposent sur les cartes du projet. Chacune vient d'ailleurs, monte à un zoom différent et n'existe pas partout. Voici l'ordre d'empilement réel et l'endroit où chacune apparaît.

COUCHE, TELLE QU'AFFICHÉE	NATURE ET ORIGINE	ZOOM NATIF	OÙ	NOTE
Plan (3 pays)	PMTiles vectoriel auto-hébergé, fabriqué depuis OpenStreetMap	z14 données z19 rendu	publique · cockpit	rdc.pmtiles, 690 Mo, servi par nginx. Fond par défaut.
Satellite	Esri World Imagery — Maxar, Earthstar Geographics	z17 · z19	publique · cockpit	Zoom intelligent : z19 dans la boîte Kinshasa-Brazzaville, z17 ailleurs, jamais de case grise.
Satellite (Sentinel-2 · 2025)	Mosaïque EOX s2cloudless, données Copernicus	z14	publique · cockpit	Sans clef ni compte. Au-delà de z14, agrandissement de la dernière tuile nette.
Noms & routes	Deux calques Esri transparents : World_Transportation et World_Boundaries_and_Places	z19	publique · cockpit	Pane dédié, z-index 360, sans interaction : la vue « hybride » sur n'importe quel fond.
WorldCover (sol · 2021)	Image PNG 4 073 × 5 046 produite ici, reprojetée en Web Mercator	emprise fixe	publique · cockpit	Pane z-index 350, opacité 0,5. Kinshasa-Maluku seulement. Rééchantillonnage au plus proche voisin : jamais de classe inventée entre deux.
Bancs de sable	GeoJSON issu de Sentinel-1	vecteur	publique · cockpit · APK	786 polygones, 588,4 km², contours simplifiés à 10 m — le pas du pixel.
Axe du chenal	GeoJSON, squelette du masque d'eau	vecteur	publique · cockpit · APK	Un fichier par tronçon : jusqu'à 701 polygones pour la confluence de Liranga.
Axe national · international · zone pilote	Polylignes écrites dans le code	vecteur	publique · cockpit	Tracés de référence, pas des mesures.
Courant (sens du fleuve)	Animation CSS sur les deux axes	vecteur	publique · cockpit	Le sens n'est pas décoratif : le motif descend, comme l'eau.
Courant des rivières	Second calque protomaps lu dans le même PMTiles	z14	publique · cockpit	Canvas séparé — la CSS n'entre pas dans le canvas de protomaps.
Ecales et passerelles	12 points écrits dans le code	vecteur	publique · cockpit	Villes du corridor et leur rôle.

À bord, aucune couche satellite

L'application du batelier n'embarque **ni Esri, ni Sentinel-2, ni WorldCover** : ce sont des tuiles distantes, et à bord il n'y a pas de réseau. Elle porte un seul fond, vectoriel et hors ligne — `corridor.pmtiles`, 23,9 Mo, un ruban d'environ ± 28 km autour des deux axes, découpé au zoom 14. Ce que le satellite apporte au batelier arrive donc sous forme de **vecteurs déjà calculés** : bancs, chenal, traces — jamais sous forme d'image.

L'ordre d'empilement, qui n'est pas un détail

Fond (tuiles) → WorldCover **350** → repères Esri **360** → axes → courant → escales → bancs → position.

Le WorldCover passe **sous** les noms de villes : une couche d'analyse ne doit jamais masquer un repère de navigation. Le courant passe après les axes et avant les escales : les marques coulent sur le tracé, les ronds des villes restent lisibles au-dessus.

09 Bibliothèques et greffons satellitaires

Tout est libre, rien n'est propriétaire, et aucune brique ne demande de compte payant. Les versions ci-dessous sont celles réellement installées sur le serveur, relevées le 3 septembre 2026 — pas celles d'un fichier de dépendances.

AU SOL — CHAÎNE PYTHON /OPT/NZELA/VENV

BRIQUE	VERSION	CE QU'ELLE FAIT ICI
pystac-client	0.9.0	Interroge le catalogue STAC : mode, orbite, fenêtre, emprise.
pystac + 22 extensions	1.15.2	Lit les propriétés normalisées des scènes — dont sar et sat, d'où viennent la polarisation et l'état d'orbite.
planetary-computer	1.0.0	Signe les URL d'assets. Sans elle, le COG distant est inaccessible.
rasterio	1.5.1	Lecture fenêtrée du COG distant et WarpedVRT : on ne télécharge que l'emprise du tronçon, pas la scène de plusieurs centaines de Mo.
scikit-image	0.26.0	Seuil d'Otsu, ouverture et fermeture morphologiques, squelettisation du masque d'eau.
numpy · scipy	2.5.2 · 1.18.1	Conversion en décibels, filtre médian 5 × 5, histogrammes, recherche de modes et prééminence.
shapely · geopandas	2.1.2 · 1.1.4	Vectorisation, simplification à 10 m, surfaces en EPSG : 32733.
pyproj · fiona · pyogrio	3.7.2 · 1.10.1 · 0.13.0	Projections et écriture GeoJSON.
networkx	3.6.1	Graphe navigable construit sur le squelette du chenal.
GeoAlchemy2 · psycopg2	0.20.0 · 2.9.12	Écriture des géométries en PostGIS.
Pillow	12.3.0	Colorisation du PNG WorldCover selon la palette officielle ESA.

Installé mais jamais appelé

xarray 2026.7.0 et netCDF4 1.7.4 sont dans l'environnement — aucun script du pipeline ne les importe. Ils avaient été prévus pour des séries temporelles qui n'ont pas été écrites. Le dire coûte moins cher que de laisser croire à une capacité qui n'existe pas.

À L'ÉCRAN — BIBLIOTHÈQUES JAVASCRIPT

BRIQUE	VERSION	RÔLE
Leaflet	1.9.4	Socle de toutes les cartes du projet — publique, cockpit et embarquée.
protomaps-leaflet	vendorisé	Greffon qui dessine le fond vectoriel PMTiles dans un canvas Leaflet. C'est lui qui rend le mode hors ligne possible.
leaflet.timedimension + iso8601	1.1.1	Curseur de temps : rejouer les relevés d'un tronçon d'une date à l'autre.
leaflet-measure (fr)	vendorisé	Mesure de distance et de surface à la main sur la carte publique.
socket.io	4.8.3	Cockpit : positions et signalements en temps réel.

FABRICATION DU FOND

OUTIL	RÔLE
planetiler	Fabrique les PMTiles depuis OpenStreetMap, zoom max 14. (Java 21)
osmium-tool	Découpe les extraits RDC, Congo et Centrafrique sur le ruban des deux axes, puis les fusionne.

À BORD

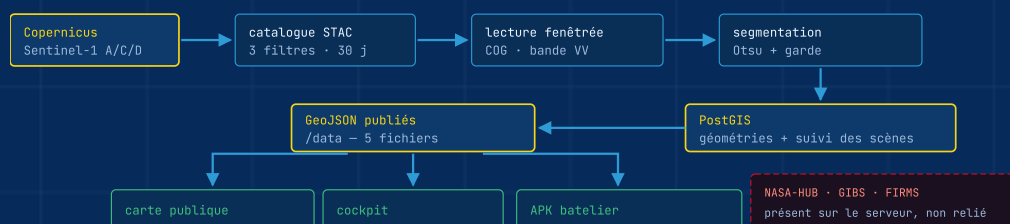
BRIQUE	VERSION	RÔLE
Capacitor core · android · cli	6.2.2	Enveloppe Android de l'application. Greffon CapacitorHttp activé.
navigator.geolocation	natif	Suivi GNSS continu : enableHighAccuracy, âge maximal 1 s, délai 20 s. Permissions ACCESS_FINE_LOCATION et ACCESS_COARSE_LOCATION.

Quatre fichiers présents, aucun chargé

maplibre-gl 4.7.1, leaflet-maplibre-gl, pmtiles.js et turf.min.js (547 Ko) sont dans vendor / mais aucune page ne les appelle — ni la carte publique, ni le cockpit, ni l'application. Ce sont les restes d'une piste de rendu abandonnée. Ils ne pèsent rien sur le chargement puisqu'ils ne sont jamais demandés, mais ils doivent être retirés du dépôt.

10 Ce qui est raccordé, et ce qui ne l'est pas

Le chemin complet d'un pixel radar jusqu'à l'écran d'un capitaine — et la liste, aussi honnête, de ce qui reste débranché.



LES PORTES DE SORTIE

FICHER PUBLIÉ	POIDS	QUI LE LIT
bancs-reels.geojson	1,3 Mo	les trois
traces.geojson	1,4 Mo	les trois
etat.json	1 Ko	les trois
zones.json	2,5 Ko	les trois
histogramme.json	6,5 Ko	cockpit
worldcover.png / .json	2,4 Mo	publique · cockpit

L'application ne parle jamais au catalogue ni à PostGIS : elle recopie ces fichiers quand elle trouve du réseau, puis travaille sur sa copie. C'est ce qui rend le hors-ligne possible sans rien perdre du satellite.

LES ATTRIBUTIONS QUE LE CODE PORTE

SOURCE	MENTION AFFICHÉE À L'ÉCRAN
Fond vectoriel	© OpenStreetMap · fond 3 pays auto-hébergé (PMTiles)
Esri	Imagerie © Esri, Maxar, Earthstar Geographics
EOX	Sentinel-2 cloudless 2025 par EOX · Copernicus
WorldCover	© ESA WorldCover project 2021 / Contains modified Copernicus Sentinel data

CE QUI N'EST PAS RACCORDÉ — ET POURQUOI LE DIRE

NASA-HUB

Le serveur héberge déjà un fédérateur NASA (feux FIRMS, événements EONET, météo POWER, tuiles GIBS jour et nuit) qui alimente d'autres produits de la maison. **Nzela Eba** n'y fait aucun appel. Le raccorder donnerait la détection de feux de berge et une imagerie de nuit ; c'est un chantier, pas une fonction.

Sentinel-1C

Dix scènes disponibles cet été sur la zone pilote, zéro utilisée : le filtre d'orbite les écarte. Le gisement est réel et gratuit.

Sentinel-2 et WorldCover

Affichés, jamais mesurés. Aucune décision de navigation ne s'appuie sur eux — ils servent à reconnaître un lieu, pas à le juger.

Trois points à trancher avant une mise en service payante

1. L'usage commercial de la mosaïque EOX et des tuiles Esri sans clef n'a pas été vérifié : ces fonds sont des commodités d'affichage, pas des dépendances.
2. Le catalogue de Microsoft est gratuit aujourd'hui. S'il cessait de l'être, la même requête vaut sur celui de l'ESA — un changement d'adresse, pas de méthode.
3. Les données Copernicus, elles, sont ouvertes : la mesure qui fonde tout le système ne dépend d'aucun fournisseur privé.

Le journal, sur les trois nuits enregistrées

57 passages de zone : **15 succès**, **17 rejets** pour défaut de bimodalité, **2 abandons** faute de ressources machine, **23 « rien »** — aucune scène nouvelle. Une nuit sur trois ne produit rien de nouveau : c'est le fonctionnement attendu, la revisite d'un satellite ne se négocie pas.

11 L'application du batelier

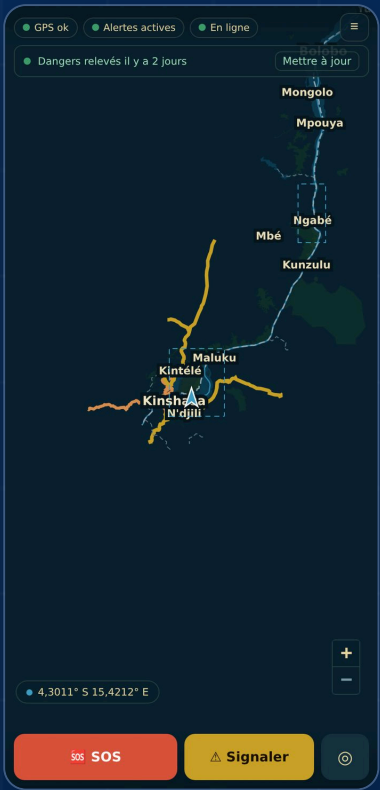
Une application Android qui fonctionne entièrement sans réseau, conçue pour être utilisable d'une main, au soleil, sur un bateau qui bouge.

CE QU'ELLE EMBARQUE

- **La carte des dangers** — 786 bancs, mise en mémoire une fois puis consultable indéfiniment hors ligne ;
- **Un fond cartographique hors ligne** — tuiles vectorielles auto-hébergées, pas de dépendance à un service tiers ;
- **La veille de proximité** — le calcul d'alerte, entièrement local ;
- **Un carnet de bord** et une file d'envoi qui garde les signalements tant que le réseau n'est pas revenu ;
- **Sa propre mise à jour** — depuis la version 1.4.0, l'application se met à jour d'un seul appui, sans navigateur ni désinstallation.

LES CINQ CATÉGORIES DE DANGER

Choisies d'un seul geste, sans texte à taper : banc de sable ou chenal déplacé, obstacle immergé, épave, échouement, avarie. Le signalement est enregistré à la position GPS du moment, horodaté par l'appareil, et transmis dès que le réseau revient.



Écran principal. Trois voyants en haut : GPS, alertes sonores, réseau. Le bandeau annonce l'âge des données détenues. En bas, deux boutons pleine largeur : SOS et Signaler.

LA VEILLE DE PROXIMITÉ – SIGNALER, JAMAIS COMMANDER

À chaque point GPS, l'application cherche le danger le plus urgent **devant** l'embarcation et exprime l'urgence non pas en distance mais en **temps avant impact** — car un banc à 800 m n'a pas le même sens à 4 nœuds qu'à 12. La cadence de répétition, la hauteur et le volume montent ensemble ; le timbre, lui, reste celui du type de danger, pour que le capitaine sache **quoi** sans regarder l'écran.

PARAMÈTRE	VALEUR	RAISON
Cône de détection	120°	±60° autour du cap : au-delà, le danger est derrière, il ne concerne plus.
Vitesse minimale	0,7 m/s	~2,5 km/h. En deçà, le bateau est à quai : aucune alerte.
Première alerte	90 s	Temps avant impact laissant une marge de décision confortable.
Proximité	40 s	Répétition toutes les 10 s.
Imminence	15 s	Répétition toutes les 3 s.
Continu	5 s	Son continu — dernier avertissement.
Portée maximale	4 000 m	Au-delà, le danger est ignoré : économie de calcul embarqué.
Réarmement	1 200 m	Un danger dépassé ne sonne pas deux fois dans le même passage.

12 Signaler un danger en trois secondes

L'ergonomie a été dessinée pour un usage debout, à une main, sur un pont qui bouge. Aucun formulaire, aucune saisie de texte obligatoire.



Feuille de signalement. Cinq cibles tactiles pleine largeur, chacune avec son pictogramme et une précision en petit. « Enregistré à ta position actuelle, transmis dès que le réseau revient » : la promesse est écrite, l'utilisateur n'a pas à se demander si son geste a été perdu.

CE QUI SE PASSE APRÈS L'APPUI

Immédiatement, hors ligne. Le signalement reçoit un identifiant unique, la position GPS du moment, l'heure de l'appareil. Il entre dans la file locale.

Dès qu'un chemin s'ouvre. L'application essaie, dans l'ordre : internet direct, puis la passerelle de bord si elle est configurée, puis — c'est l'objet de ce financement — le maillage radio.

À l'arrivée au centre. Le serveur enregistre **deux** heures distinctes : celle de la saisie, prise sur l'appareil au moment du geste, et celle de la réception. L'écart mesure le temps passé hors couverture.

Un écart réel observé

5 h 03. C'est le délai le plus long constaté entre la saisie d'un signalement sur le fleuve et son arrivée au centre, sur les données réelles actuelles. Ce n'est pas un défaut : c'est exactement la durée pendant laquelle un danger connu d'un capitaine était inconnu de tous les autres. **C'est ce trou que le maillage radio doit combler.**

LE MODE ESSAI

L'application permet de simuler un trajet pour entendre la progression des alertes et régler les seuils avec un capitaine, sans être sur l'eau. Toute donnée déposée dans ce mode porte une marque en base et s'affiche comme « essai » : elle n'est jamais confondue avec un vrai signalement ni avec un vrai appel au secours.

LE SOS : UN CHEMIN DISTINCT, UNE PRIORITÉ DISTINCTE

1 · Appui long

Deux secondes d'appui pour éviter le déclenchement accidentel. Confirmation sonore immédiate.

2 · Émission

Position, heure, identifiant. Vingt-quatre octets — la plus petite trame du système, la plus prioritaire.

3 · Relais

Le SOS préempte la file de tous les nœuds qui l'entendent et se propage sur cinq sauts au lieu de trois.

4 · Console

Le centre affiche le délai de maillage, l'embarcation relayeuse, et l'état : actif, pris en charge, résolu.

Le centre exige aujourd'hui un compte pour accepter un envoi : un SOS émis par un batelier non inscrit serait refusé. L'ouverture d'une porte d'entrée dédiée aux appels de détresse anonymes est inscrite au lot 2 — c'est une condition de crédibilité du dispositif, pas une option.

13 Le maillage Meshtastic LoRa

Relier ce que le réseau cellulaire ne relie pas : quelques dizaines d'octets, à quelques dizaines de kilomètres, sans abonnement, sans infrastructure d'opérateur.

LE BESOIN, EN UNE PHRASE

Un capitaine en difficulté à 300 km de la première antenne GSM doit pouvoir prévenir quelqu'un. Aujourd'hui il ne le peut pas.

POURQUOI LORA

- **Portée.** La modulation à étalement de spectre encasse un rapport signal/bruit négatif : le récepteur décode un signal enfoui sous le bruit thermique. Sur l'eau, sans obstacle et avec une antenne surélevée, plusieurs dizaines de kilomètres sont accessibles.
- **Consommation.** Un nœud en veille consomme quelques milliampères. Un petit panneau solaire et une batterie 18650 suffisent à le tenir indéfiniment.
- **Coût.** Un module complet — radio, microcontrôleur, écran, batterie — coûte quelques dizaines de dollars. Pas de carte SIM, pas d'abonnement, pas de facture mensuelle.
- **Bandes libres.** Fonctionne dans les bandes ISM sans licence individuelle, sous réserve du respect des règles nationales — voir page 15.

POURQUOI MESHTASTIC PLUTÔT QU'UN PROTOCOLE MAISON

- Le **routage maillé** avec limitation du nombre de sauts, détection de doublons et temporisation aléatoire avant réémission est déjà écrit et éprouvé par une large communauté ;
- le **chiffrement AES-256 par canal** est natif ;
- le matériel est **disponible et interchangeable** — plusieurs fabricants, un même micrologiciel ;
- l'**appairage Bluetooth avec le téléphone** évite d'avoir à concevoir une électronique propriétaire.

Ce que le LoRa ne fera jamais

Transporter la carte. Le fichier des dangers pèse aujourd'hui 1,33 Mo. À la portée maximale du LoRa, une trame utile transporte environ 40 octets en 2 secondes d'antenne.

Fichier des bancs	1 326 993 o
Trames nécessaires	≈ 33 175
Temps d'antenne pur	≈ 18 h
À 1 % de cycle utile	≈ 77 jours

La carte descend donc par internet, quand il y en a, et se stocke dans le téléphone. Le maillage ne transporte que ce qui est **court et urgent** : appels de détresse et signalements de danger.

CE QUE LE MAILLAGE TRANSPORTE

MESSAGE	TAILLE UTILE	PRIORITÉ
SOS (position, heure, identifiant)	~24 o	ABSOLUE
Signalement de danger (type, position, heure)	~28 o	HAUTE
Position périodique	~16 o	BASSE
Message texte court	≤ 200 o	BASSE
Balise de nœud (identité, batterie)	~12 o	TRÈS BASSE

Le modèle de données est déjà prêt

La base du centre anticipe le maillage depuis sa conception : la table des messages porte un champ `nb_sauts` et un identifiant de nœud, les alertes de détresse portent un champ `relaye_par_embarcation_id`, et l'origine d'un signalement peut déjà valoir `message_Lora`. Il ne manque que la radio et le protocole.

14 Portée, débit, cycle utile : les contraintes réelles

Un maillage se conçoit sur des chiffres, pas sur des intentions. Voici ceux qui encadrent le dimensionnement — et ceux qu’il faut aller mesurer sur l’eau.

LE COMPROMIS FONDAMENTAL : PORTÉE CONTRE DÉBIT

Le facteur d'étalement (**spreading factor**) règle tout. Plus il est élevé, plus le signal résiste au bruit — donc plus la portée est grande — mais plus la trame occupe l’antenne longtemps. Valeurs calculées pour une charge utile de 40 octets, bande de 125 kHz, code correcteur 4/5.

RÉGLAGE	DÉBIT BRUT	TEMPS D'ANTENNE (40 O)	SENSIBILITÉ	PORTÉE SUR L'EAU (ESTIMATION)
SF7 / 125 kHz	5 469 b/s	≈ 0,08 s	-123 dBm	3 – 8 km
SF9 / 125 kHz	1 758 b/s	≈ 0,25 s	-129 dBm	8 – 15 km
SF10 / 125 kHz	977 b/s	≈ 0,45 s	-132 dBm	12 – 22 km
SF12 / 125 kHz	293 b/s	≈ 2,0 s	-137 dBm	20 – 40 km

Les temps d’antenne sont calculés ; les sensibilités sont celles annoncées par les fabricants de transceivers SX127x/SX126x ; **les portées sont des estimations à confirmer par mesure**. Elles supposent une antenne à 4 m au-dessus de l’eau de part et d’autre, une ligne de vue dégagée et un dégagement de la première zone de Fresnel — trois hypothèses que seule une campagne de terrain peut valider.

LE BUDGET DE LIAISON, POSTE PAR POSTE

POSTE	VALEUR
Puissance d’émission	+14 dBm
Gain antenne émission	+3 dBi
Pertes câble et connecteurs	-1,5 dB
Gain antenne réception	+3 dBi
Sensibilité récepteur (SF12)	-137 dBm
Marge d’évanouissement retenue	-10 dB
Budget disponible	≈ 145 dB

Un budget de 145 dB correspond, en espace libre à 868 MHz, à une distance théorique de l’ordre de 90 km. La réalité sur l’eau sera très inférieure : réflexion sur la surface, courbure terrestre, végétation des berges, houle et pluie tropicale. **D’où la campagne de mesure inscrite au lot 1.**

LA CONTRAINTE DE CYCLE UTILE

Dans les bandes ISM européennes — référence probable pour la région, à confirmer — un émetteur ne peut occuper l’antenne que **1 % du temps**, soit 36 secondes par heure.

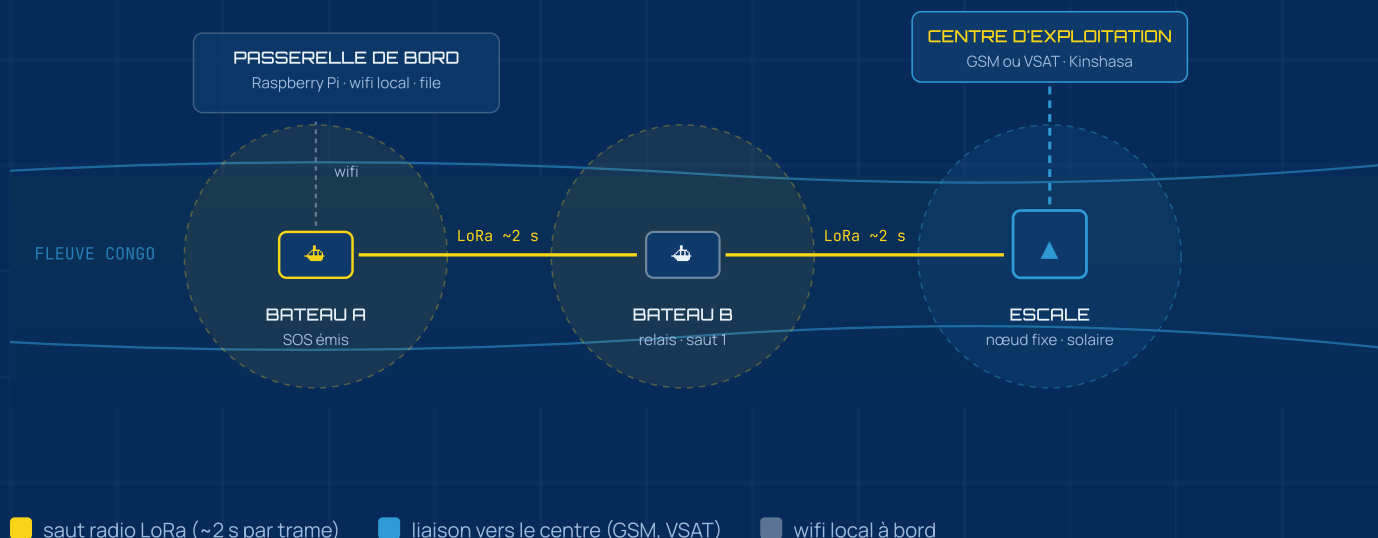
Trame SF12 de 40 octets	2,0 s
Trames émises par heure et par nœud	18
Avec 3 réémissions de maillage	6 messages/h

Conséquence de conception

Six messages originaux par heure et par nœud, c’est peu — et c’est suffisant pour des SOS et des signalements, qui sont rares par nature. Ce n’est **pas** suffisant pour des positions périodiques de flotte : celles-ci devront être limitées à un point toutes les 15 à 30 minutes, ou réservées aux liaisons GSM. Le protocole devra **hiérarchiser** : un SOS passe devant tout le reste et peut préempter la file.

15 Trois types de nœuds, un seul maillage

Le réseau n'a pas de centre. Chaque nœud entend ses voisins, réémet ce qu'il n'a pas déjà vu, et laisse le message trouver son chemin jusqu'à une passerelle reliée au monde.



DEUX STRATÉGIES DE COUVERTURE, À TRANCHER APRÈS LA MESURE

Couverture continue

Une chaîne ininterrompue de nœuds fixes le long du fleuve. Tout point de la voie est joignable. Coût élevé, maintenance de nombreux sites isolés — mais un SOS passe partout, y compris là où aucun autre bateau ne navigue.

Couverture par grappes

Des nœuds fixes concentrés aux escales et sur les zones d'accident récurrentes, les bateaux servant de relais opportunistes entre les grappes. Bien moins cher, mais la livraison dépend du trafic : un fleuve désert est un fleuve muet.

Nœud mobile — à bord

Module Meshtastic appairé en Bluetooth au téléphone du capitaine, ou relié à la passerelle de bord.

Antenne fouet sur le toit de timonerie. Alimentation sur la batterie du bord ou petit panneau solaire.

Nœud fixe — escale

Mât de 8 à 12 m dans un port, une mission, un poste de l'autorité fluviale. Panneau solaire et batterie.

Quand il capte le GSM, il devient **passerelle** : il pousse vers le centre tout ce qu'il a entendu.

Passerelle de bord

Un Raspberry Pi Zero 2 W qui diffuse son propre wifi, garde une copie des dangers et relaie la file.

EN SERVICE — le boîtier existe et expose déjà /etat, /donnees et /file.

16 Ce qu'il reste à écrire, et comment

Le point le plus honnête de ce dossier : la partie « maillage entre bateaux » est déclarée dans l'architecture mais n'est pas écrite. Voici précisément ce qui manque.

État exact au 3 septembre 2026

La passerelle de bord répond aujourd'hui `voisins : 0` et `lora.actif : false`. Le pilote radio est un fichier d'exemple à compléter. Le reste de la chaîne — file d'attente sans doublon, dépôt par identifiant unique, service des données hors ligne — **fonctionne déjà**.

LES SIX QUESTIONS QUE LE PROTOCOLE DOIT TRANCHER

#	QUESTION	ENJEU, ET PISTE RETENUE
1	Qui répète quoi ?	Si tous les nœuds réémettent tout, le canal s'effondre. Piste : réémission uniquement des messages non déjà vus, avec table de hachage des identifiants récents et fenêtre de rétention de 10 minutes.
2	Combien de sauts ?	Un compteur décrémenté à chaque relais. Piste : 3 sauts par défaut pour un signalement, 5 pour un SOS — soit 60 à 200 km de propagation utile selon la portée réelle.
3	Comment éviter la tempête ?	Temporisation aléatoire avant réémission, proportionnelle à la qualité du signal reçu : le nœud qui a le mieux entendu attend le plus longtemps, laissant parler celui qui est le plus loin. Mécanisme natif de Meshtastic, à régler pour la géométrie linéaire d'un fleuve.
4	Comment prioriser ?	Trois files. Un SOS préempte tout, un signalement passe avant une position, une balise de nœud ne part que si le canal est libre. À écrire au-dessus de Meshtastic.
5	Qui est qui ?	Chaque nœud porte un identifiant stable, associé côté centre à une embarcation. Un message relayé conserve l'identité de son émetteur d'origine et enregistre le nœud relayeur — le champ existe déjà en base.
6	Et les détresses anonymes ?	Aujourd'hui le centre exige un compte pour accepter un envoi. Un SOS émis par un batelier non inscrit serait refusé. Il faut une porte d'entrée dédiée aux appels de détresse , sans compte, avec limitation de débit et marquage explicite.

LA MÉTHODE D'ÉPROUVE PROPOSÉE

- Banc d'essai en laboratoire** — quatre nœuds, atténuateurs calibrés, simulation de topologies linéaires à 2, 3 et 5 sauts. Mesure du taux de livraison et du délai de bout en bout.
- Campagne de portée sur le Pool Malebo** — deux embarcations, antennes à hauteurs variables, relevé du RSSI et du SNR tous les 500 m. Production d'une **courbe de portée réelle sur l'eau**, qui conditionne tout le dimensionnement.
- Pilote sur 60 à 80 km** — Kinshasa–Maluku, la zone déjà cartographiée, avec 4 nœuds fixes et 6 embarcations équipées. Mesure du délai réel d'un SOS de bout en bout.
- Extension par bief** — chaque tronçon nouveau n'est déclaré opérationnel qu'après mesure, jamais sur estimation.

Indicateur de succès du lot maillage

Un appel de détresse émis n'importe où sur les 80 km du pilote atteint le centre d'exploitation en **moins de 15 minutes** dans 90 % des cas, sans aucune couverture cellulaire à bord. C'est mesurable, daté, et opposable.

7 Spectre, régulateurs et conformité transfrontalière

Un maillage qui traverse trois frontières nationales doit être légal des trois côtés. C'est une démarche administrative, pas technique — et elle conditionne le déploiement.

République démocratique du Congo

ARPTC — Autorité de régulation de la poste et des télécommunications du Congo.

Démarche : confirmation de la bande ISM utilisable sans licence individuelle, et déclaration d'usage pour un réseau à vocation de sécurité de la navigation.

République du Congo

ARPCE — Agence de régulation des postes et des communications électroniques.

Même démarche, avec la particularité d'un fleuve frontière : les nœuds des deux rives s'entendront mutuellement.

République centrafricaine

ARCEP-RCA — Autorité de régulation des communications électroniques et des postes.

Concerne le tronçon Bétou-Bangui et le terminus de l'axe international.

LE CHOIX DE BANDE, ET POURQUOI IL N'EST PAS ENCORE ARRÊTÉ

Deux options sont ouvertes, avec des conséquences opposées sur le dimensionnement :

BANDE	AVANTAGE	INCONVÉNIENT	CONSÉQUENCE PROJET
433 MHz	Meilleure propagation, diffraction plus favorable derrière la végétation des berges, antennes tolérantes.	Antennes physiquement plus longues ; bande plus encombrée par d'autres usages.	Moins de nœuds fixes pour couvrir la même distance.
868 MHz	Écosystème matériel le plus large, antennes compactes, réglages Meshtastic les mieux documentés.	Portée légèrement inférieure ; contrainte de cycle utile souvent plus stricte.	Matériel moins cher et plus facile à remplacer localement.

Ce que nous ne savons pas encore, et que nous ne prétendons pas savoir

La bande exacte autorisée, la puissance maximale rayonnée et le cycle utile imposé **diffèrent d'un pays à l'autre** et doivent être confirmés par écrit auprès de chacun des trois régulateurs. Toute estimation de portée et tout comptage de nœuds fixes de ce dossier sont donnés **sous réserve de cette confirmation**.

Le jalon correspondant — « demande de fréquence au régulateur » — est actuellement **en cours** et figure comme tel sur la page publique du projet depuis son ouverture.

CHIFFREMENT ET CONFIDENTIALITÉ RADIO

Meshtastic chiffre chaque canal en AES-256. Le projet prévoit trois canaux distincts :

- **Canal public de détresse** — clé connue de tous les nœuds, y compris ceux d'autres organisations. Un SOS doit pouvoir être entendu et relayé par n'importe qui.
- **Canal opérationnel** — signalements et positions, clé distribuée aux embarcations inscrites.
- **Canal d'administration** — supervision des nœuds, clé réservée aux exploitants.

Un principe non négociable

Le canal de détresse n'est **jamais** fermé pour des raisons commerciales ou d'exclusivité. Un appel au secours entendu doit être relayé, quelle que soit l'origine de l'émetteur et qu'il soit ou non client du service. Cette règle est inscrite dans la conception, pas seulement dans les intentions.

18 Combien de nœuds pour couvrir le fleuve

Trois scénarios, calculés sur trois hypothèses de portée. Les chiffres bougeront après la campagne de mesure : c'est précisément pourquoi elle est le premier poste du budget.

HYPOTHÈSE DE PORTÉE	AXE NATIONAL 1 734 KM	AXE INTERNATIONAL 600 KM	TOTAL NŒUDS FIXES	LECTURE
Pessimiste – 15 km entre nœuds	116	40	156	Couverture continue coûteuse ; à réserver aux biefs les plus fréquentés.
Médiane – 25 km entre nœuds	70	24	94	Hypothèse de travail retenue pour le budget indicatif.
Favorable – 40 km entre nœuds	44	15	59	Atteignable avec des mâts hauts aux escales ; à confirmer.

Ces comptes supposent une couverture **continue**. Une stratégie alternative, moins coûteuse et probablement plus réaliste en première phase, consiste à couvrir en priorité les **zones d'accident récurrentes** et les abords des escales, en acceptant des trous entre elles – les bateaux eux-mêmes servant alors de relais mobiles opportunistes.

LE PILOTE PROPOSÉ : KINSHASA – MALUKU

La zone pilote fait **60 à 80 km** selon le quai retenu. Elle concentre trois avantages : c'est le tronçon **déjà cartographié** avec 374 bancs relevés, c'est celui où le trafic est le plus dense, et il est accessible depuis Kinshasa pour toutes les opérations de maintenance.

ÉLÉMENT	QUANTITÉ
Nœuds fixes (escales, mâts 8-12 m)	4
Nœuds mobiles (embarcations)	6
Passerelles de bord (Raspberry Pi)	6
Nœud de secours et de mesure	2
Total nœuds	12

MATÉRIEL TYPE PAR NŒUD FIXE

- Module LoRa avec microcontrôleur, écran et boîtier étanche IP67 ;
- antenne fibre de verre 3 à 5 dBi, câble faible perte, parafoudre ;
- panneau solaire 20 W, régulateur, batterie 18650 ×4 ;
- mât ou fixation sur bâtiment existant, haubanage ;
- télésurveillance de l'état du nœud par le maillage lui-même.

Maintenance

Un nœud muet est détecté par le centre : les balises d'identité et de batterie cessent d'arriver. Le principe est déjà appliqué ailleurs dans le système – un poste qui ne répond pas sort automatiquement du routage plutôt que d'absorber silencieusement des appels.

19 Le centre d'exploitation

Une interface unique pour l'autorité fluviale : ce que le satellite a vu cette nuit, ce que les bateliers signalent, et qui appelle au secours.

Nzela Ebale

• Relevés à 7 j • 6 zones • 786 bancs

Carte

Statistiques

Signalements

SOS

Messages

Inscriptions

Pipeline

Gestion

Bateliers

Canaux

Comptes

admin

Chercher

Sons

Quitter

Pipeline Sentinel-1

Cette page montre le travail automatique de la nuit : le serveur vérifie s'il existe une nouvelle photo satellite du fleuve et, s'il y en a une, il en extrait les bancs de sable. Une ligne par tronçon et par nuit. Les mots soulignés s'expliquent d'un clic.

Dernier succès : 02/09/2026 23:08:13

ZONE *	DATE SCENE *	STATUT	SEUIL DB *	POLYGONES *	TRAITE LE	MESSAGE
Lisala	2026-09-01	succes *	20.578178	80	02/09/2026 23:08:13	80 entites publiees
Bumba	2026-09-01	succes *	21.075247	98	02/09/2026 23:07:13	98 entites publiees
Kinshasa-Maluku	2026-08-30	succes *	20.464294	374	02/09/2026 23:06:13	374 entites publiees
Bangui	2026-08-30	rejete_bimodalite *	—	—	02/09/2026 23:05:13	separabilite * 0.818 (minimum 0.55), 1 modes * dont 0 sous le seuil
Impfondo	2026-08-30	rejete_bimodalite *	—	—	02/09/2026 23:04:13	separabilite * 0.890 (minimum 0.55), 1 modes * dont 0 sous le seuil
Kwamouth (confluence Kasai)	2026-08-30	succes *	19.6806	6	02/09/2026 23:03:13	6 entites publiees

Onglet Pipeline. Le travail automatique de la nuit, une ligne par tronçon. Chaque terme technique — *rejete_bimodalite*, *separabilite*, *Seuil dB* — s'explique en langage courant d'un clic, sans jamais être renommé : le vocabulaire technique reste intact pour l'ingénieur, l'explication est ajoutée par-dessus pour le décideur.

CE QUE LE CENTRE GÈRE

- **Carte temps réel** — bancs, signalements, SOS, positions des embarcations ;
- **Console SOS** — prise en charge et résolution, avec délai de maillage affiché ;
- **Signalements** — file des dangers remontés du terrain ;
- **Pipeline** — supervision de la chaîne satellitaire ;
- **Statistiques** — indicateurs d'activité et de couverture ;
- **Comptes et droits** — quinze droits nommés, attribués compte par compte.

LE CONTRÔLE D'ACCÈS

Deux étages. Le **rôle** — batelier, armateur, autorité, administrateur — donne un socle de droits. La colonne des **droits nommés** en ajoute par-dessus, jamais n'en retire.

Le rôle et les droits sont **relus en base à chaque requête** : un droit retiré prend effet immédiatement, sans attendre l'expiration de la session. Le masquage d'onglets côté navigateur est cosmétique — chaque route refait le contrôle côté serveur.

Trois verrous mesurés : on ne change pas son propre rôle, on ne désactive pas son propre compte, et le dernier administrateur actif ne peut être ni rétrogradé ni désactivé.

20 Ce que les bateliers font remonter

Chaque danger signalé profite à tous ceux qui passeront après. C'est la boucle qui transforme un savoir de pilote en bien commun.

Nzela Ebale

• Relevés à 7 j • 6 zones • 786 bancs

Carte

Statistiques

Signalements

SOS

Messages

Inscriptions

Pipeline

Gestion

Bateliers

Canaux

Comptes

admin

Chercher

Sons

Quitter

Signalements

Ces signalements viennent des bateliers eux-mêmes, depuis l'application embarquée. Chaque danger signalé profite à tous ceux qui passeront après. Les mots soulignés s'expliquent d'un clic.

TYPE *	SAISIE *	RECU *	POSITION *	ORIGINE *	STATUT *	COMMENTAIRE
changement_chenal *	02/09/2026 20:08:13	03/09/2026 01:08:13 *	-4.3011, 15.4212 *	saisie_app *	nouveau *	banc a bougé, passer rive droite
obstacle *	02/09/2026 23:38:13	Recu	-4.1200, 15.5100 *	message_lora *	nouveau *	tronc immergé
echouement *	02/09/2026 22:08:13	L'heure à laquelle le centre a reçu le signalement.	-3.4400, 16.0200 *	saisie_app *	nouveau *	
epave *	31/08/2026 00:08:13	Les deux dates diffèrent quand le batelier était hors couverture : il a signalé sur le fleuve, et l'information est remontée en arrivant en ville. C'est le fonctionnement voulu, pas un retard du système. Chaque date de cette colonne donne son propre délai d'un clic. Signalé il y a 4 h, reçu 5 h plus tard.	-1.9000, 17.1000 *	sms *	nouveau *	épave signalée par le pilote

Onglet Signalements, infobulle ouverte. Les deux horodatages sont distincts : l'heure de saisie vient de l'appareil du batelier, l'heure de réception est celle du serveur. L'écart — ici « **signalé il y a 4 h, reçu 5 h plus tard** » — mesure le temps passé hors couverture. C'est le fonctionnement voulu, pas un retard du système ; et c'est exactement la grandeur que le maillage radio doit réduire.

LES ORIGINES POSSIBLES D'UN SIGNALEMENT

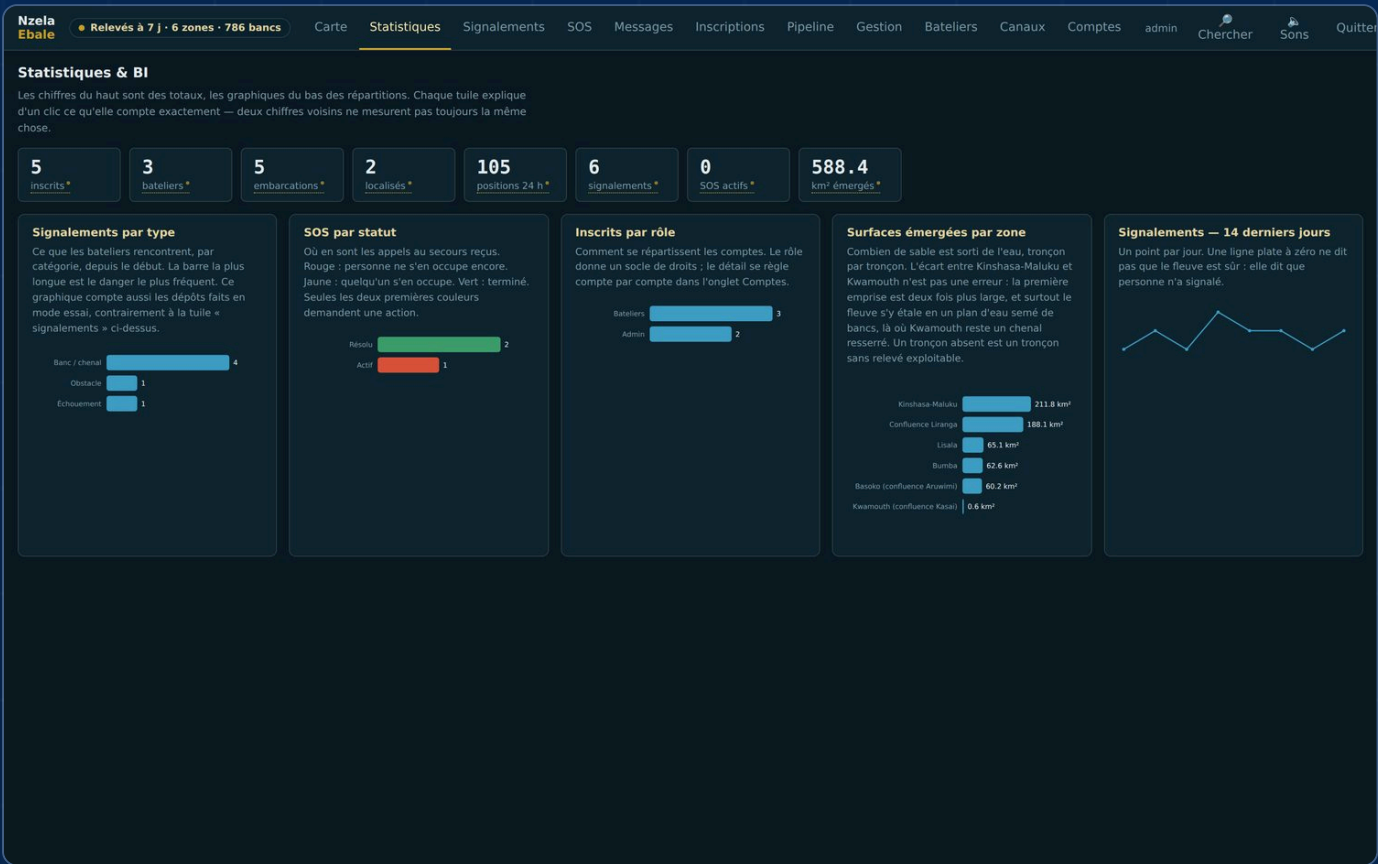
ORIGINE	CHEMIN EMPRUNTÉ	ÉTAT
saisie_app	Tapé par le capitaine dans l'application, rattaché à son compte, part dès que le réseau revient.	EN SERVICE
message_lora	Capté par le maillage radio, relayé de bateau en bateau. L'auteur n'est pas rattaché : c'est le message qui arrive, pas un compte.	À CONSTRUIRE
sms	Reçu par texto, pour les endroits où il y a du réseau téléphonique mais pas d'internet.	AMORCÉ

Le circuit de traitement reste à ouvrir

La base prévoit quatre états pour un signalement — nouveau, confirme, traite, rejete — mais tout signalement entre aujourd'hui en nouveau et **aucun écran ne modifie encore cette valeur**. Le suivi à la main par l'autorité fluviale est un chantier identifié, inscrit au lot 3. Il est mentionné ici plutôt que masqué : un circuit décrit mais inexistant se paie plus cher qu'un manque annoncé.

21 Mesurer pour piloter

Les indicateurs du centre servent au pilotage opérationnel quotidien et alimenteront le rapportage aux bailleurs.



Onglet Statistiques. Chaque chiffre explique d'un clic ce qu'il compte exactement — y compris ses limites. « localisés », par exemple, indique explicitement qu'il ne filtre sur aucune date et renvoie vers « positions 24 h » pour l'activité réelle. Un indicateur dont la définition est ambiguë est un indicateur qui sera mal lu.

Indicateurs de couverture

Surface de sable mesurée par tronçon, âge du relevé le plus ancien, nombre de tronçons publiés sur douze, taux de rejet qualité par tronçon.

Le bandeau annonce toujours le tronçon **le plus ancien** : afficher le plus frais laisserait croire que toute la carte l'est.

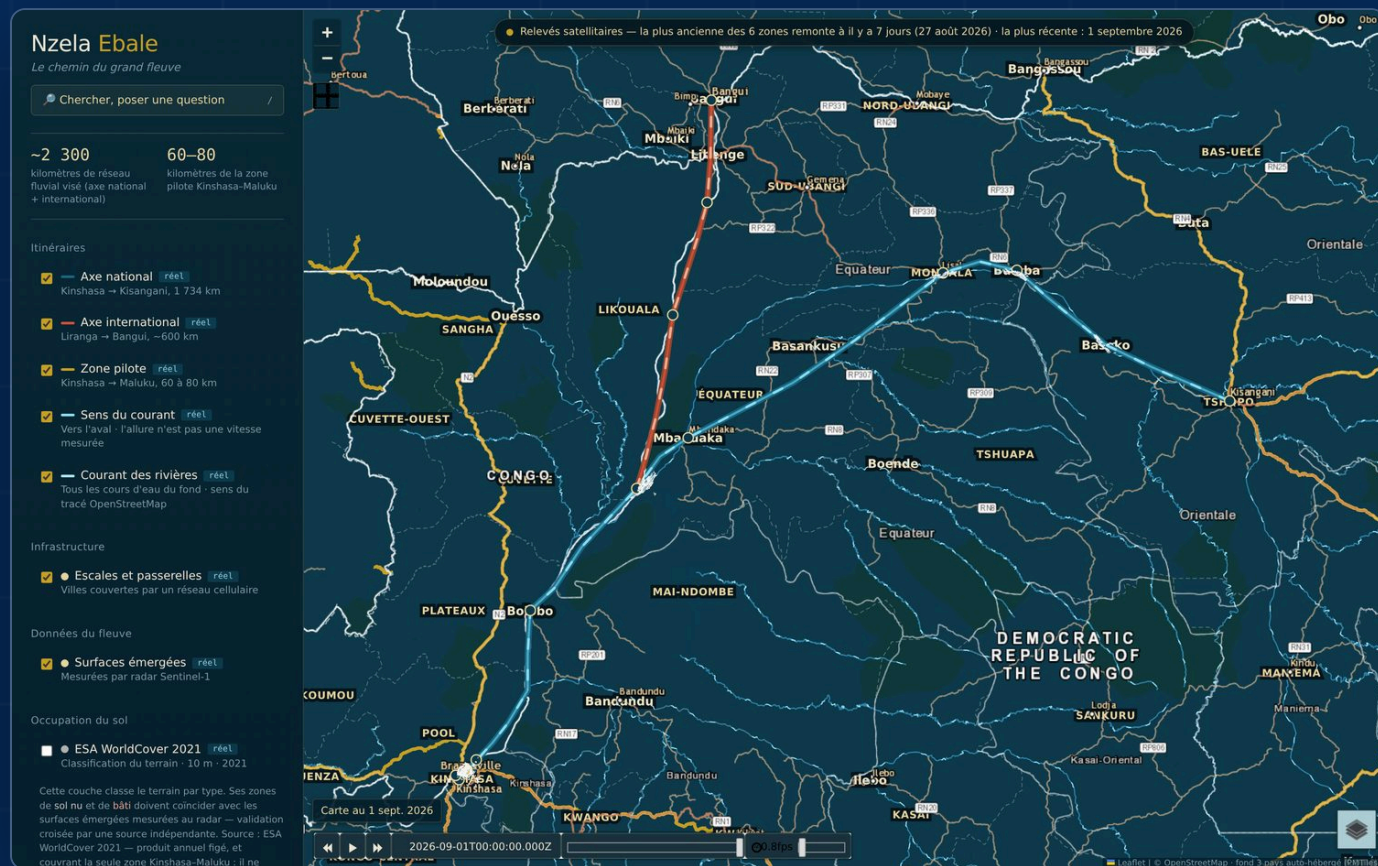
Indicateurs d'usage

Signalements par catégorie et par jour, délai de remontée, SOS actifs, nombre d'embarcations ayant transmis une position dans les 24 heures.

Une ligne plate à zéro sur le graphique des signalements ne dit pas que le fleuve est sûr : elle dit que personne n'a signalé.

22 La carte, ouverte à tous

Sans compte, sans inscription, sans conditions. Une donnée de sécurité de la navigation qui serait payante ne servirait pas ceux qui en ont le plus besoin.



Carte publique. Les deux axes du réseau, les escales, le sens du courant, les surfaces émergées mesurées par radar. Le bandeau supérieur annonce en permanence l'âge du relevé le plus ancien — ici « à 6 jours ». Les histogrammes radar par tronçon sont consultables en bas du panneau : chacun montre pourquoi le seuil retenu a été retenu.

Pour les bateliers

Consultation avant départ, sur n'importe quel téléphone connecté, sans installer d'application.

Pour les autorités

Base factuelle partagée pour le balisage, la sécurité de la navigation et la planification.

Pour les bailleurs

Vérification directe et permanente de ce que le projet produit réellement, sans passer par nous.

23 Un copilote qui ne devine pas

Poser une question en français, obtenir un chiffre réel et sa source. Sans modèle de langage — et c'est un choix, pas un renoncement.

Nzela Ebale
Le chemin du grand fleuve

Chercher, poser une question

~2 300 kilomètres de réseau fluvial vital (axe national + international)
60-80 kilomètres de la zone pilote Kinshasa-Maloubo

Itinéraires

- ☒ **Axe national** (réel)
Kinshasa → Kisangani, 1 734 km
- ☒ **Axe international** (réel)
Ubangi → Bangui, ~600 km
- ☒ **Zone pilote** (réel)
Kinshasa → Maloubo, 60 à 80 km
- ☒ **Sens du courant** (réel)
Vers l'amont / l'aval n'est pas une vitesse mesurée
- ☒ **Courant des rivières** (réel)
Tous les cours d'eau du fond : sens du tracé OpenStreetMap

Infrastructure

- ☒ **Escales et passerelles** (réel)
Villes couvertes par un réseau cellulaire

Données du fleuve

- ☒ **Surfaces émergées** (réel)
Mesurées par radar Sentinel-1

Occupation du sol

- ☒ **ESA WorldCover 2021** (réel)
Classification du terrain : 10 m : 2021

Cette couche classe le terrain par type. Ses zones de sol nu et de bâti doivent coïncider avec les surfaces émergées mesurées au radar — validation croisée par une source indépendante. Source : ESA WorldCover 2021 — produit annuel Rgi, en couvrant la zone Kinshasa-Maloubo, il ne

Relevés satellitaires — la plus ancienne des 6 zones remonte à il y a 7 jours (27 août 2026) - la plus récente : 1 septembre 2026

Cherche un mot, ou pose ta question...

Je réponds sur cet écosystème seulement, avec les chiffres du moment et le vocabulaire des pages. Essaie par exemple :

- combien de bancs de sable ?
- c'est quoi le Seuil dB ?
- où en est Kwamouth ?
- les relevés datent de quand ?
- pourquoi des tronçons sans relevé ?
- Mbandaka

où en est Kwamouth ?

Kwamouth (confluence Kasai)
Dernier relevé satellite du **2026-08-30** — **6** bancs de sable publiés sur la carte.
Seuil radar retenu sur cette image : **19.681 dB**, séparabilité **0.785**. Le seuil est recalculé pour chaque image, sans réglage humain.
[Voir les histogrammes radar](#)
source : data/etat.json, data/histogramme.json

combien de bancs de sable ?

Ce que montre la carte
786 bancs de sable publiés sur la carte, tous tronçons confondus.
Chaque banc est une forme fermée mesurée sur l'image radar, pas une estimation.
[Voir la carte](#)
source : data/etat.json et data/zones.json

Réponses construites à partir des données de la page. Aucun modèle de langage : ce copilote ne devine pas.

Copilote, sur la carte publique. « Où en est Kwamouth ? » renvoie le dernier relevé, le nombre de bancs, le seuil radar retenu et la séparabilité, avec les fichiers sources cités en bas de chaque réponse.

POURQUOI PAS UN MODÈLE DE LANGAGE

Le serveur du projet fait tourner un modèle 8 milliards de paramètres **sur processeur seul** : environ 219 secondes par réponse. Inutilisable dans un centre d'exploitation, et impubliable sur une carte ouverte au public.

Surtout, un modèle de langage **invente quand il ne sait pas**. Sur un outil de sécurité de la navigation, c'est le pire défaut possible. Le copilote rattache la question à une intention connue, va chercher le chiffre à la source, cite cette source — et quand il ne sait pas, il le dit.

Le cloisonnement, éprouvé

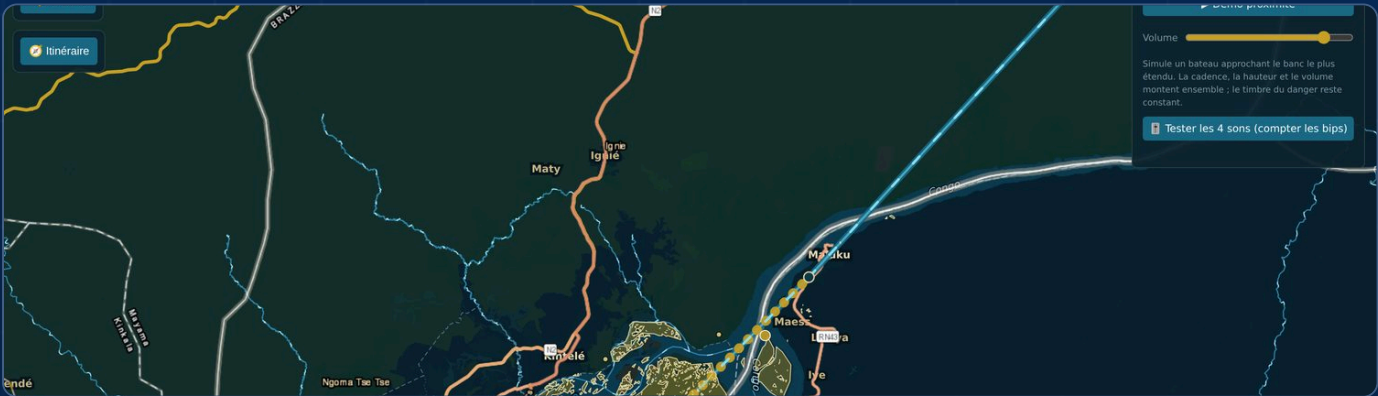
Le même copilote sert les deux faces du système, mais côté public il ne lit que les fichiers déjà ouverts à tous. Une question sur les bateliers, les signalements ou les SOS reçoit un renvoi vers le centre — **jamais un nombre**.

Vérifié par interception réseau : zéro appel aux routes protégées depuis la page publique.

24 Ce qui tourne déjà, vérifiable en ligne

Ce dossier ne décrit pas une intention : la plus grande partie du système est en service et consultable par n'importe qui, dès maintenant.

COMPOSANT	FONCTION	ÉTAT
Chaîne satellitaire	Recherche, téléchargement, seuillage, vectorisation et publication automatiques, chaque nuit, sur 12 tronçons.	EN SERVICE
Garde de qualité	Quatre conditions cumulatives ; refus de publier plutôt que publier faux.	EN SERVICE
Carte publique	Fleuve, axes, escales, bancs, courants, histogrammes radar, itinéraires.	EN SERVICE
Application Android	Version 1.4.0, carte hors ligne, veille sonore, signalement, SOS, mise à jour intégrée.	EN SERVICE
Veille de proximité	Alerte par temps avant impact, cône de 120°, huit paramètres réglables avec un capitaine.	EN SERVICE
Centre d'exploitation	Onze onglets, quinze droits nommés, temps réel, contrôle d'accès relu à chaque requête.	EN SERVICE
Copilote	Recherche et questions en français, sur les deux faces, avec cloisonnement éprouvé.	EN SERVICE
Passerelle de bord	Boîtier Raspberry Pi : wifi local, copie des dangers, file de relais.	AMORCÉ
Pilote radio LoRa	Point d'accroche prévu dans la passerelle ; fichier d'exemple à compléter.	À CONSTRUIRE
Maillage entre bateaux	Protocole de relais, priorités, anti-tempête, identité des nœuds.	À CONSTRUIRE
Détresse anonyme	Porte d'entrée pour un SOS émis sans compte.	À CONSTRUIRE
Circuit de traitement	Suivi des signalements par l'autorité fluviale.	À CONSTRUIRE



Carte du centre d'exploitation. La même donnée que la carte publique, augmentée des positions d'embarcations, des signalements et des appels de détresse — visible uniquement pour les comptes disposant du droit correspondant.

25 Données, vie privée, souveraineté

Un système qui suit des bateaux suit des gens. Les garde-fous sont dans la conception, pas dans une charte annexe.

CE QUE LE SYSTÈME COLLECTE

DONNÉE	FINALITÉ	RÉTENTION
Position d'embarcation	Secours, statistiques de couverture	à définir
Signalement de danger	Sécurité de la navigation	permanente
Appel de détresse	Secours	permanente
Compte utilisateur	Attribution des signalements	jusqu'à retrait

Les positions sont stockées dans une table partitionnée par mois, ce qui rend techniquement simple l'application d'une politique de purge dès qu'elle sera arrêtée avec les autorités et les représentants des bateliers.

CE QU'IL NE FAIT PAS

- Aucune revente de données de position à des tiers ;
- aucun accès des armateurs aux positions d'embarcations qui ne sont pas les leurs ;
- aucun suivi des passagers — l'unité suivie est l'embarcation, pas la personne.

SOUVERAINETÉ TECHNIQUE

- **Hébergement.** Serveur unique, base PostgreSQL avec extension géospatiale PostGIS. Migration vers un hébergement en RDC prévue et sans obstacle technique.
- **Fond cartographique auto-hébergé.** Les tuiles vectorielles sont servies par le projet, pas par un fournisseur étranger : la carte fonctionne même si un service tiers disparaît ou devient payant.
- **Calcul d'itinéraire local.** Un moteur de routage tourne sur le serveur du projet ; les positions ne sortent pas vers un service public externe.
- **Données sources ouvertes.** Sentinel-1 (ESA) et OpenStreetMap, sans licence restrictive ni dépendance commerciale.
- **Sauvegarde nocturne** de l'ensemble des bases, chaque nuit.

Le code et la donnée

Les relevés de bancs sont publiés en GeoJSON ouvert et téléchargeables librement. La question de l'ouverture du code source est posée et sera tranchée avec les partenaires — une ouverture faciliterait la reprise du dispositif par les autorités fluviales des trois pays.

ACCESSIBILITÉ ET COÛT POUR L'UTILISATEUR FINAL

POINT D'ATTENTION	RÉPONSE RETENUE
Coût pour le batelier	Application gratuite, carte publique gratuite, aucun abonnement. Le maillage radio ne consomme pas de forfait : c'est précisément son intérêt là où le crédit téléphonique est rare et cher.
Appareils modestes	L'application vise les téléphones Android d'entrée de gamme ; le fond cartographique est vectoriel et compact, la carte des dangers tient en mémoire.
Illettrisme et langues	Les alertes sont sonores et le choix d'un danger se fait par pictogramme, sans texte à taper. Le portage en lingala et en swahili est un chantier identifié.
Absence d'électricité	La passerelle de bord et les nœuds fixes fonctionnent sur panneau solaire. Le téléphone reste le seul point nécessitant une recharge.
Panne du service central	Le téléphone continue d'alerter avec les données qu'il détient ; l'âge du relevé est annoncé en permanence pour que le capitaine sache ce qu'il tient.

26 Feuille de route en quatre lots

Chaque lot produit un résultat mesurable et utilisable, même si le suivant n'est pas financé. Aucun lot ne dépend d'un pari technologique non éprouvé.

LOT 1 mois 1 – 4	Mesurer avant de déployer Banc d'essai à quatre nœuds ; campagne de portée sur le Pool Malebo avec relevé RSSI/SNR tous les 500 m ; production de la courbe de portée réelle sur l'eau. Dépôt des demandes auprès de l'ARPTC, de l'ARPCE et de l'ARCEP-RCA. Livable : rapport de mesure et dimensionnement consolidé, remplaçant les estimations de ce dossier.
LOT 2 mois 3 – 9	Écrire et éprouver le maillage Pilote radio dans la passerelle de bord ; protocole de relais – sauts, anti-doublon, temporisation, priorités ; porte d'entrée pour les détresses anonymes ; intégration Meshtastic ↔ application ↔ centre. Déploiement de 12 nœuds sur Kinshasa–Maluku. Livable : un SOS émis sans couverture cellulaire atteint le centre en moins de 15 minutes dans 90 % des cas.
LOT 3 mois 6 – 14	Ouvrir le service Circuit de traitement des signalements par l'autorité fluviale ; extension de la couverture satellitaire aux 12 tronçons ; formation des premiers bateliers, armateurs et agents ; convention d'usage avec les autorités des trois pays. Livable : service opérationnel sur l'axe pilote, avec une autorité qui l'exploite réellement.
LOT 4 mois 12 – 24	Étendre par bief Extension du maillage bief par bief, chacun déclaré opérationnel seulement après mesure ; migration de l'hébergement en RDC ; transfert de compétences et modèle d'exploitation pérenne. Livable : couverture continue de l'axe national et de l'axe international.

	M1	M6	M12	M18	M24
LOT 1	mesurer la portée · régulateurs				
LOT 2	protocole · 12 nœuds sur le pilote				
LOT 3	ouvrir le service · former				
LOT 4	étendre par bief				

Ce que le lot 1 change pour les bailleurs

La première tranche ne demande pas de croire à une portée annoncée : elle finance **la mesure de cette portée**. Les tranches suivantes sont dimensionnées sur un résultat de terrain, pas sur une estimation de dossier. C'est un point de contrôle naturel avant tout engagement majeur.

27 Budget indicatif

Ordres de grandeur destinés au cadrage, à consolider par devis. Les coûts matériels reposent sur des prix publics de composants ; les coûts de personnel sont donnés en jours-homme, hors grille salariale.

LOT	POSTE	UNITÉ	QTÉ	COÛT UNITAIRE	SOUS-TOTAL
1	Nœuds de mesure et banc d'essai	nœud	6	120 \$	720 \$
1	Instruments (analyseur, atténuateurs, GPS de référence)	lot	1	3 500 \$	3 500 \$
1	Campagne de mesure sur l'eau (embarcation, carburant, équipe)	jour	12	450 \$	5 400 \$
1	Démarches réglementaires – 3 régulateurs	forfait	3	2 000 \$	6 000 \$
1	Ingénierie radio et rapport de dimensionnement	j-h	45	—	—
2	Nœuds fixes complets (module, antenne, solaire, boîtier, mât)	nœud	4	950 \$	3 800 \$
2	Nœuds mobiles à bord (module, antenne, fixation)	nœud	8	180 \$	1 440 \$
2	Passerelles de bord (Raspberry Pi, alimentation, boîtier)	unité	6	140 \$	840 \$
2	Téléphones Android de dotation pour le pilote	unité	10	130 \$	1 300 \$
2	Développement du protocole de maillage et intégration	j-h	160	—	—
2	Installation, haubanage, mise en service des nœuds fixes	site	4	1 200 \$	4 800 \$
3	Serveur et hébergement (24 mois)	mois	24	180 \$	4 320 \$
3	Formation des bateliers et agents	session	8	600 \$	4 800 \$
3	Développement du circuit de traitement et extension satellitaire	j-h	120	—	—
4	Extension du maillage — hypothèse médiane, 90 nœuds fixes	nœud	90	950 \$	85 500 \$
4	Installation et mise en service (extension)	site	90	1 200 \$	108 000 \$
4	Maintenance annuelle du parc (10 % du matériel)	an	2	9 000 \$	18 000 \$
Sous-total matériel et opérations, lots 1 à 3					36 920 \$
Sous-total lot 4 (extension complète, hypothèse médiane)					211 500 \$
Total matériel et opérations, hors personnel					248 420 \$
Charge de développement, tous lots					325 j-h

Trois réserves sur ce budget

1. Le lot 4 est dimensionné sur l'hypothèse médiane de 25 km entre nœuds. La campagne du lot 1 peut le faire varier de **-37 % à +66 %** selon que la portée réelle est favorable ou pessimiste.
2. Les coûts d'installation des nœuds fixes dépendent fortement de l'accessibilité des sites, très variable le long du fleuve. Ils appellent une reconnaissance terrain préalable.
3. Le personnel n'est pas chiffré ici : la charge est donnée en jours-homme pour être valorisée selon la grille du bailleur ou du partenaire d'exécution.

28 Indicateurs, risques, gouvernance

INDICATEURS DE RÉSULTAT

INDICATEUR	RÉFÉRENCE	CIBLE FIN LOT 2	CIBLE FIN LOT 4
Tronçons avec relevé publié	6 / 12	9 / 12	12 / 12
Âge médian du relevé le plus ancien	6 j	≤ 8 j	≤ 8 j
Délai médian de remontée d'un signalement	5 h 03 (max obs.)	≤ 15 min	≤ 10 min
Kilomètres de fleuve sous couverture radio	0	80	2 334
Embarcations équipées	5	10	300
Signalements terrain reçus par mois	6 (cumul)	≥ 40	≥ 400
Taux de livraison d'un SOS de bout en bout	—	≥ 90 %	≥ 95 %

RISQUES PRINCIPAUX ET PARADES

RISQUE	GRAVITÉ	PARADE
Portée réelle très inférieure aux estimations	élevée	Le lot 1 mesure avant d'engager. En cas de portée faible, repli sur une couverture par zones d'accident plutôt que continue, et bascule vers 433 MHz.
Refus ou lenteur d'un régulateur	élevée	Démarches engagées dès le lot 1, en parallèle des trois pays. Déploiement possible sur un seul pays si un autre bloque : le fleuve reste utile par tronçons.
Vol ou vandalisme des nœuds fixes	moyenne	Installation chez des tiers de confiance — missions, ports, postes d'autorité. Matériel de faible valeur unitaire et détection automatique d'un nœud muet.
Faible adoption par les bateliers	moyenne	Application déjà utilisable seule, sans radio : la valeur d'usage existe avant le maillage. Formation et dotation d'appareils au lot 2.
Images satellite indisponibles sur un tronçon	faible	Garde de qualité déjà en place : le relevé précédent reste affiché et son âge est annoncé, plutôt qu'une donnée fausse.
Dépendance à un fournisseur	faible	Sources ouvertes, fond cartographique auto-hébergé, matériel radio multi-fabricants sous micrologiciel commun.

Gouvernance proposée

Maîtrise d'œuvre technique — FIVE SARL, Kinshasa.

Partenaires institutionnels à associer — autorités en charge des voies navigables des trois pays, services de secours fluviaux, régulateurs des télécommunications.

Bénéficiaires associés — associations de bateliers et d'armateurs, représentées au comité de pilotage et consultées sur le réglage des seuils d'alerte.

Vérifier par vous-même

La carte publique, les relevés et le copilote sont accessibles en permanence, sans compte :

nzela.ebale.fivesarl.com

Les fichiers de relevés sont téléchargeables au format GeoJSON ouvert. Ce dossier ne contient aucun chiffre qui ne puisse être recoupé sur ce site.