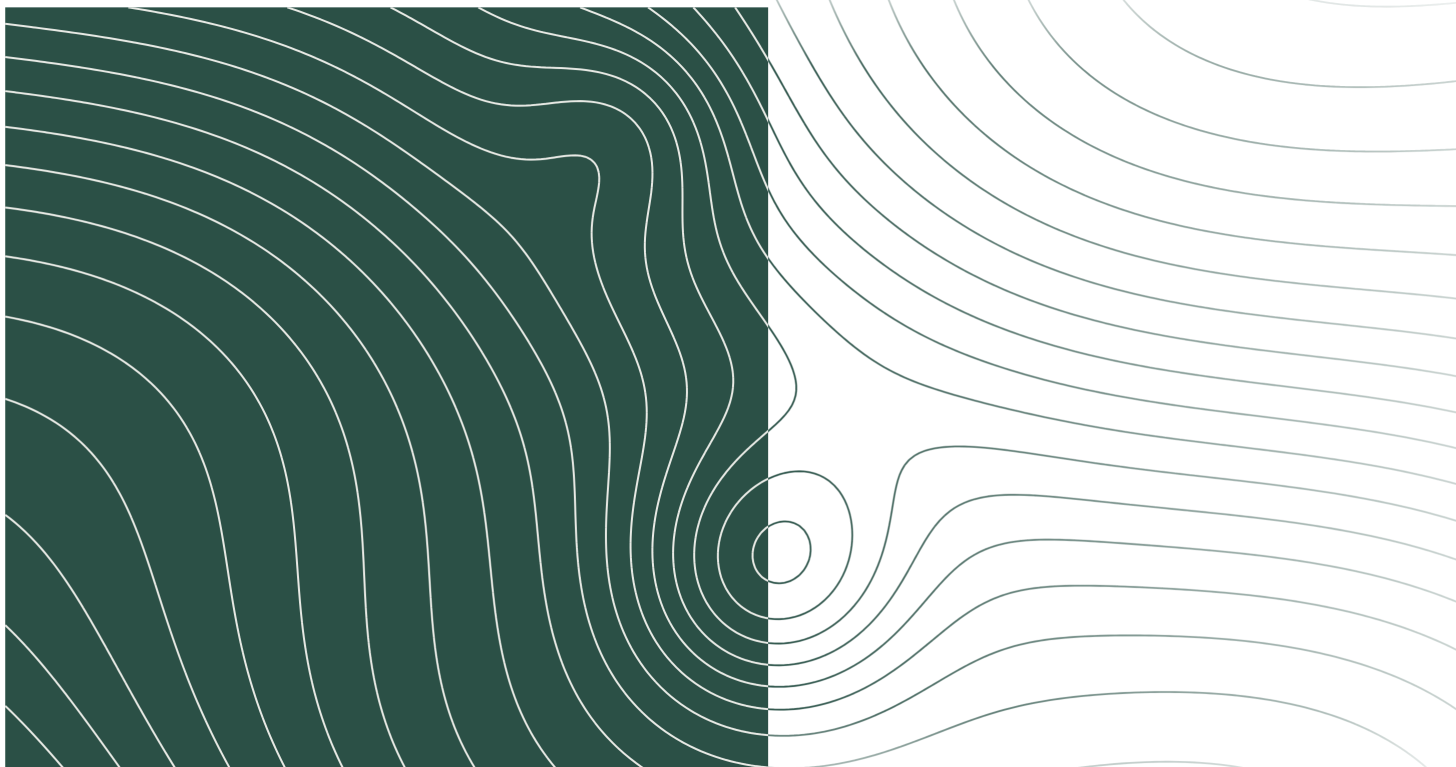




— GIA · ACTIFS D'INFRASTRUCTURE DU GABON

Analytical methods for territorial planning policy

Une plateforme géospatiale d'aide à la décision pour la planification des infrastructures au Gabon, appliquée à l'accès aux soins, avec les limites de ses données posées avant ses résultats.

AUTEURS

Hodologic Research

PUBLIÉ LE

21 septembre 2026

LANGUE

Français

Analytical methods for territorial planning policy

Hodologic Research

21 septembre 2026

Résumé

La planification des infrastructures au Gabon s'appuie sur des données dispersées, hétérogènes et d'une fiabilité inégale. Nous présentons GIA, une plateforme géospatiale d'aide à la décision qui réunit des couches ouvertes (population, bâti, réseaux, environnement, services, chantiers, flux d'événements) sur un socle commun, et en dérive des indicateurs reproductibles pour trois types de décision : le diagnostic, la priorisation et la vigilance. Nous formalisons ses modules analytiques — ventilation dasymétrique de la population du recensement de 2026, accessibilité par le réseau routier, implantation par couverture maximale, fragilité par les ponts du graphe routier, charge des tronçons par centralité d'intermédierité, règles d'alerte — puis nous les appliquons à l'accès aux soins.

L'inventaire employé est le relevé collaboratif d'OpenStreetMap, 253 établissements dont chacun est un bâtiment relevé sur le terrain ou tracé sur imagerie. **Sa couverture est inégale, et nous la posons avant tout résultat** : 218 de ses 253 points sont dans une seule province sur neuf, et une province entière n'en porte aucun. Sur cette base, **90,7 % de la population réside à moins d'une heure d'un centre** et 327 232 personnes sont au-delà ; la moitié d'entre elles tient dans six départements, cinq centres bien placés en couvriraient 46,1 %, et 45,7 % de la population dépend d'un lien routier unique.

Le premier emplacement que le modèle désigne tombe dans la province que l'inventaire laisse vide. Nous le publions en le nommant comme tel, parce qu'un artefact déclaré reste utilisable et qu'un artefact tu ne l'est pas. C'est le résultat de méthode que ce travail défend : un indicateur géographique mesure d'abord la carte qui le porte, et une plateforme d'aide à la décision doit rendre cette mesure-là visible avant celle qu'on lui demande.

Nous en tirons trois apports transférables : *la chaîne d'incertitude de position* (§ 3.9), qui décrit comment une propriété connue du seul producteur d'un inventaire se propage ou se perd jusqu'à l'écran ; *une mesure de la charge du réseau routier* par centralité d'intermédierité (§ 3.10, § 4.5), où un pour cent des kilomètres porte 39 % des trajets ; et *un protocole de validation externe des positions* (§ 5.3), qui convertirait des adjectifs en kilomètres.

Mots-clés : aide à la décision spatiale, système d'information géographique, infrastructures, accessibilité aux soins, couverture maximale, incertitude de position, provenance des données, données ouvertes, Gabon.

1 Introduction

1.1 Contexte

Décider où construire une route, un centre de santé ou une ligne électrique, quels tronçons entretenir en priorité et quels chantiers surveiller suppose de croiser des informations de nature très différente : où vivent les habitants, par où ils se déplacent, quels services existent, quels projets sont en cours et quels événements les menacent. Au Gabon, ces informations existent souvent, mais elles sont dispersées entre recensement, cartographie contributive, bases internationales, flux satellitaires et suivi administratif des projets, avec des dates, des précisions et des

couvertures inégales. Les résultats du recensement général de la population et des logements (RGPL) de 2026, publiés à l'échelle des provinces, renouvellent la base démographique sans fournir la répartition fine.

Les indicateurs géographiques, comme le temps de trajet au centre de santé le plus proche, sont aujourd'hui produits jusqu'à l'échelle mondiale [8]. Les systèmes d'aide à la décision spatiale [2] répondent à ce besoin en associant données géographiques, modèles analytiques et interfaces destinées aux décideurs. Leur valeur ne tient pas seulement à la qualité des modèles : un indicateur exact mais calculé sur une donnée incomplète, ou présenté sans ses hypothèses, peut orienter une décision vers un artefact de la carte. La plateforme GIA a été conçue pour le Gabon avec cette contrainte au centre.

1.2 Questions

Q1. Intégration. Quel socle commun de données et de modèles permet de répondre à des questions de décision différentes avec les mêmes briques ?

Q2. Traduction en décisions. Quels indicateurs la plateforme produit-elle pour le diagnostic, la priorisation et la vigilance, et que disent-ils sur un cas concret ?

Q3. Fiabilité. À quelles conditions ces indicateurs peuvent-ils fonder une décision, et comment la plateforme rend-elle visibles leurs limites ?

1.3 Contributions

Une architecture d'aide à la décision qui sépare sources, socle commun, modules analytiques et alertes, et qui associe à chaque indicateur ses sources et ses hypothèses (§ 2).

Des modules génériques formalisés : ventilation dasymétrique, accessibilité, implantation exacte par exploration bornée, fragilité sans double compte, charge des tronçons par centralité d'intermédiarité (§ 3.10) et règles d'alerte (§ 3). Ils ne dépendent du service étudié que par son inventaire.

La chaîne d'incertitude de position (§ 3.9) : comment une propriété déclarée par le producteur d'un inventaire se propage, ou se perd, jusqu'à l'écran.

Une étude de cas complète qui relie chaque indicateur à une décision (§ 4), et qui publie l'artefact que sa propre couverture produit au lieu de le dissimuler.

Un protocole de validation externe des positions (§ 5.3) et une feuille de route des fonctionnalités à développer (§ 6).

2 La plateforme GIA

2.1 Architecture

GIA est une application web cartographique organisée en quatre niveaux (figure 1). Les sources rassemblent une cinquantaine de couches réparties en dix-sept thèmes (réseaux ferroviaire, routier et électrique, infrastructures, hydrographie, découpage administratif, environnement, risques et extractions, services de proximité, forêt, lieux, zones d'activité, chantiers), ainsi que des flux d'événements (détections d'incendies, trafic aérien, presse). Le socle commun les ramène à quatre objets partagés : une population localisée, un graphe routier, des inventaires de services et un registre des chantiers. Les modules calculent des indicateurs sur ce socle. Les règles d'alerte croisent ces indicateurs avec les chantiers et les événements. L'interface présente les résultats sous forme de dossiers thématiques, d'outils interactifs et de fiches imprimables.

Trois noms, et ils ne se recouvrent pas. *GIA* est la plateforme : l'application, ses couches et ses indicateurs. *Hodologic* est l'organisation qui la met à disposition et en assure l'ex-

exploitation publique. *Hodologic Research* est l'entité qui signe les travaux de méthode, dont le présent document. Les distinguer n'est pas une précaution d'usage : une plateforme, un opérateur et un auteur n'engagent pas les mêmes responsabilités, et la suite de ce texte critique la plateforme sans que l'opérateur ait à s'en défendre.

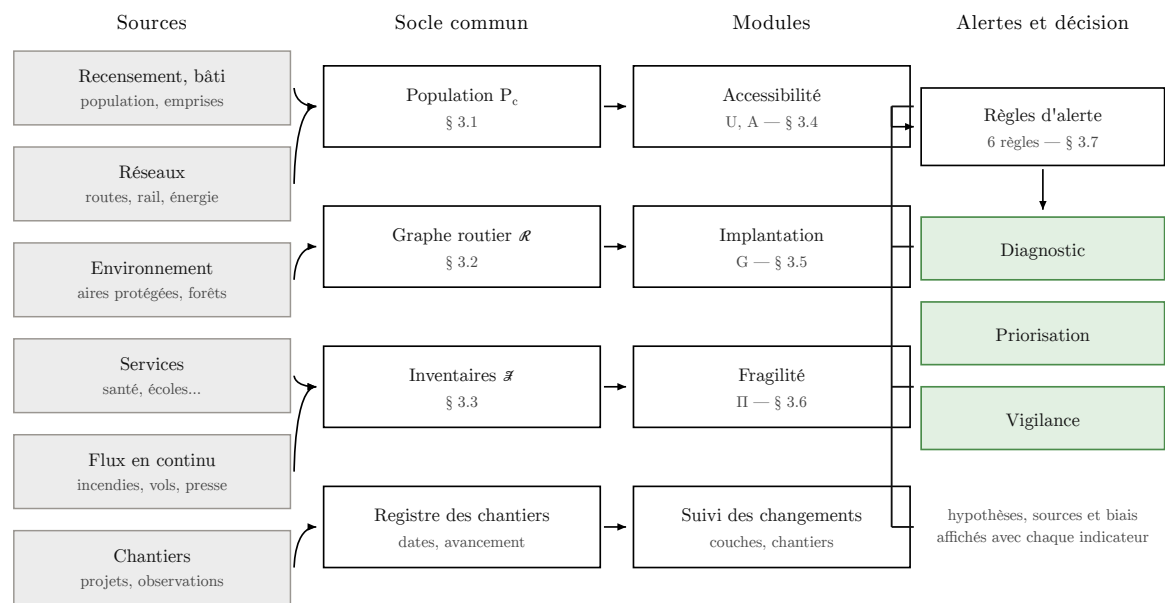


Figure 1. Architecture de la plateforme : sources, socle commun, modules analytiques, règles d'alerte et types de décision servis. Chaque indicateur est affiché avec ses sources et ses hypothèses.

2.2 Fonctionnalités et types de décision

Nous classons les fonctionnalités selon la décision qu'elles servent : le diagnostic (décrire une situation et la localiser), la priorisation (comparer des options d'action) et la vigilance (détecter ce qui demande une attention). Le tableau 1 recense les fonctionnalités de la version actuelle.

Tableau 1. Fonctionnalités de la version actuelle, par type de décision.

Type	Fonctionnalité	Ce que l'utilisateur obtient
Diagnostic	Catalogue de couches	52 couches en 17 thèmes, recherche par nom, pile avec visibilité et opacité
	Dossier « Accès aux soins »	Population à 30, 60 et 120 min d'un centre, par département, avec lecture rédigée
	Lien classement–carte	Survol d'une province dans un classement et mise en évidence sur la carte
Priorisation	Atelier d'implantation	Gain d'un centre placé en un point, plateau de sites équivalents, plan à plusieurs centres
Vigilance	Dossier « Fragilité du réseau »	Liens routiers dont la coupure isolerait des habitants de tout centre
	Dossier « Chantiers »	Liste des projets, échéances et avancement
	Dossier « Signaux »	Alertes issues des règles et signaux de presse
	Observations de terrain	Notes saisies sur un chantier, conservées hors ligne jusqu'à l'envoi
Restitution	Fiches	Fiches imprimables par province

2.3 Principes de conception

Quatre principes encadrent la production des indicateurs. **(i) Provenance** : chaque indicateur porte la source, la date et la licence des données qui l'ont produit. **(ii) Hypothèses déclarées** : les conventions du modèle sont nommées et accompagnées du sens du biais qu'elles induisent. **(iii) Fourchettes** : lorsqu'une convention n'est pas tranchée par la donnée, l'indicateur est donné sous forme d'intervalle. **(iv) Seuils prudents** : un seuil qui sépare deux affirmations est arrondi du côté qui ne rend aucune affirmation fausse, et ce qu'un seuil écarte est listé nommément.

3 Méthodologie

Les distances sont géodésiques (km) et les temps exprimés en heures sauf mention contraire. Les modules de cette section ne dépendent d'un type de service que par l'inventaire $\mathcal{X}$; nous les décrivons pour les établissements de santé.

Le tableau 2 rassemble les notations.

Tableau 2. Notations.

Symbole	Définition	Unité
c, x_c, a_c	Cellule de la maille $0,025^\circ \times 0,025^\circ$, son centre, son aire	—, —, km^2
ϱ_c	Rayon du disque de même aire, $\sqrt{(a_c/\pi)}$	km
b_c	Nombre de bâtiments de la cellule	—
P_p, P_d, P_c	Population d'une province (recensée), d'un département, d'une cellule (estimées)	pers.
$\mathcal{R} = (V, E)$	Graphe routier non orienté	—
d_H, δ	Distance de haversine ; temps du plus court chemin dans $\mathcal{R}$	km, h
v_e, v_w	Vitesse sur le tronçon e ; vitesse de marche (5)	km/h
r_{max}	Portée d'accrochage au réseau (25)	km
$\mathcal{J}, s(f)$	Inventaire des établissements ; nœud d'accrochage de f	—
$T(n), \tau_c$	Temps du nœud n au centre le plus proche ; temps d'accès de la cellule	h, min
A_t, U	Population à au plus t min ; population non couverte	pers.
$\mathcal{U}, G_k$	Cellules non couvertes ; gain de la cellule candidate k	—, pers.
$\mathcal{P}_\varepsilon$	Plateau de tolérance ε	—
π_j, h_j	Population et établissements affectés au carrefour j	pers., —
$S_\pi(v), S_h(v)$	Sommes de π et h sur le sous-arbre de parcours de v	pers., —
Π	Population derrière un lien routier unique	pers.

Définition 1 (couverture). Une cellule est couverte si $\tau_c \leq 60$; elle est injoignable, donc non couverte, si aucun nœud relié à un établissement n'est à moins de r_{max} .

Définition 2 (gain). Le gain G_k est la population des cellules non couvertes qui deviendraient couvertes si un établissement était ajouté dans la cellule k .

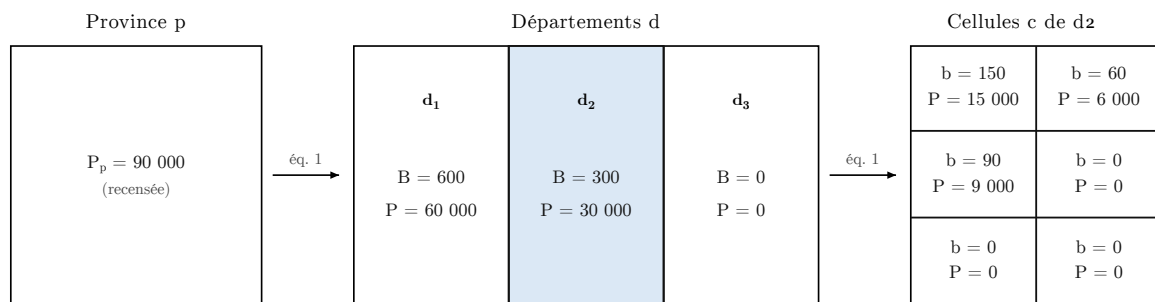
Définition 3 (lien critique). Un tronçon est critique si sa suppression déconnecte le graphe et si la partie détachée ne contient aucun établissement et au moins 25 habitants ; il est maximal si sa partie détachée n'est contenue dans celle d'aucun autre lien critique. Un point faible regroupe les liens maximaux d'un même carreau d'environ un kilomètre.

3.1 Population

Les effectifs provinciaux du recensement sont ventilés au prorata du bâti, selon le principe de l'allocation dasymétrique [4] (figure 2) :

$$P_d = P_p \cdot B_d / \sum_{d' \in p} B_{d'}, \quad P_c = P_d \cdot b_c / B_d, \quad B_d = \sum_{c \in d} b_c \quad (1)$$

avec $P_c = 0$ si $B_d = 0$. La maille compte 35 167 cellules d'environ $7,7 \text{ km}^2$. Le bâti réunit les contours OpenStreetMap et les détections d'Open Buildings [6] : des contours qui se chevauchent forment un groupe, compté autant de fois que le plus fin des deux découpages (figure 3), soit 816 791 bâtiments (748 821 si chaque groupe compte pour un).



Valeurs illustratives. La population suit le bâti, à total provincial constant.

Figure 2. Ventilation dasymétrique (éq. 1) : l'effectif provincial est réparti entre départements puis entre cellules au prorata du nombre de bâtiments.

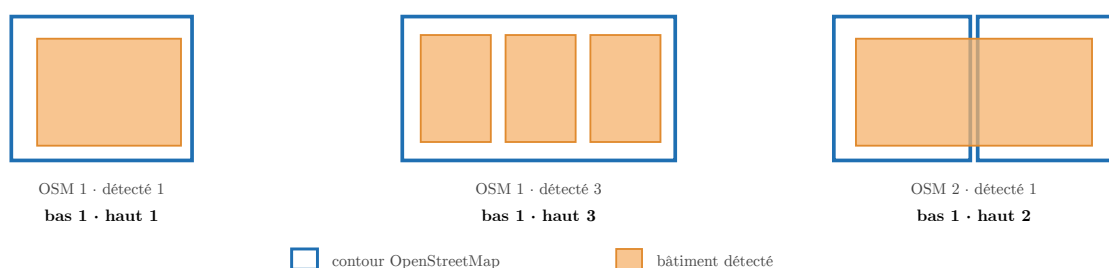


Figure 3. Dénombrement du bâti sur trois groupes de contours qui se chevauchent : un groupe compte pour le plus grand des deux découpages (borne haute 6, borne basse 3).

3.2 Réseau routier

Le réseau est extrait d'OpenStreetMap (886 354 nœuds au 12 septembre 2026). Les coordonnées sont arrondies à 10^{-5} degré pour fusionner les extrémités coïncidentes, et chaque segment devient un tronçon de durée $t_e = d_H(a,b) / v_e$, où d_H est la distance de haversine et v_e dépend de la classe de la voie (30 km/h par défaut).

3.3 Inventaire des établissements

L'inventaire des services provient d'OpenStreetMap, interrogé par l'API Overpass : **253 établissements de santé** — 173 dispensaires, 46 hôpitaux, 26 cabinets médicaux et 6 postes infirmiers. Chaque point y est un bâtiment relevé sur le terrain ou tracé sur imagerie par un contributeur ; la coordonnée désigne donc l'établissement lui-même, et non le lieu habité qui le nomme. Cette propriété ne se déduit pas de la coordonnée : elle tient à la manière dont la donnée a été produite, et c'est ce que la section 3.9 formalise.

Ce que cet inventaire ne couvre pas, et il faut le poser avant tout résultat. La cartographie contributive est épaisse là où les contributeurs sont nombreux et mince ailleurs : **218 des 253 établissements sont dans la seule province de l'Estuaire**, qui réunit 62 % de la population, et **la Nyanga n'en porte aucun**. Les huit autres provinces se partagent 35 points. Un chiffre bas dans un département rural est donc une affirmation plus fragile qu'un chiffre haut, et le manque pousse dans un seul sens : *l'accès réel est meilleur que ce qui est mesuré*. Toutes les sections qui suivent héritent de cette borne, et la section 4 la rappelle à chaque résultat qu'elle en tire.

Les modules de cette section ne dépendent de la nature du service que par l'ensemble $\mathcal{X}$. Un inventaire d'écoles, de points d'eau ou de marchés s'y substitue sans changer une ligne, sous réserve que sa couverture soit documentée comme celle-ci l'est.

3.4 Accessibilité

Chaque établissement est accroché sans coût au nœud le plus proche dans la portée $r_{\max}$. Un algorithme de Dijkstra multi-sources [3] donne le temps de réseau de chaque nœud, et l'habitant marche jusqu'au nœud qui minimise le temps total (figure 4) :

$$T(n) = \min_{f \in \mathcal{F}} \delta(s(f), n), \quad \tau_c = 60 \cdot \min_n : d_H(x_c, n) \leq r_{\max} [T(n) + d_H(x_c, n) / v_w] \quad (2)$$

$$A_t = \sum_c P_c \cdot 1[\tau_c \leq t], \quad U = \sum_c P_c \cdot 1[c \text{ non couverte}] \quad (3)$$

La recherche examine les nœuds par anneaux de 1, 3, 8, 15 et 25 km et s'arrête dès que la marche jusqu'à l'anneau excède le meilleur temps, ce qui rend le minimum exact. L'accrochage gratuit est encadré par une borne haute U^+ , calculée en initialisant chaque source au temps de marche $d_H(f, s(f)) / v_w$.

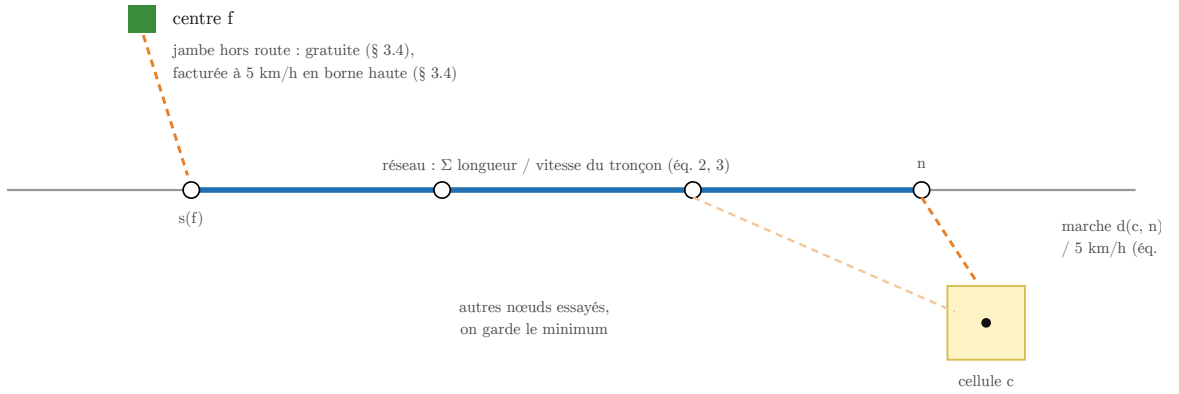


Figure 4. Composantes du temps d'accès d'une cellule (§ 3.4) : accrochage de l'établissement (sans coût, sauf pour la borne haute), temps de réseau, et marche de l'habitant jusqu'au nœud qui minimise le temps total.

3.5 Implantation

Seules les cellules non couvertes contribuent au gain, par des nœuds situés à moins d'une heure de marche. Pour une candidate k accrochée en n_k , avec $D_k(n) = \delta(n_k, n)$ et $w_{c,n} = d_H(x_c, n) / v_w$:

$$G_k = \sum_{c \in \mathcal{U}} P_c \cdot 1[\min_n : w_{c,n} \leq 1 (D_k(n) + w_{c,n}) \leq 1] \quad (4)$$

L'exploration depuis n_k s'arrête en tout nœud où $D_k(n) > 1$ ou $D_k(n) \geq T(n)$.

Proposition 1. La coupe $D_k(n) \geq T(n)$ ne modifie pas G_k .

Preuve. Pour tout nœud m atteint au-delà de n , $T(m) \leq T(n) + \delta(n, m) \leq D_k(n) + \delta(n, m)$: le nouvel établissement n'améliore le temps ni de m ni des cellules qui l'atteignent. ■

Le calcul prend environ 4 ms par candidat, contre 113 s pour une exploration complète, ce qui permet une réponse interactive. Le résultat présenté n'est pas une cellule mais un plateau $\mathcal{P}_\varepsilon = \{k : G_k \geq (1 - \varepsilon/100) \max G\}$ avec $\varepsilon = 5$ (figure 5). Pour plusieurs centres, la méthode gloutonne ajoute à chaque étape la cellule de gain maximal puis recalcule les gains ; la couverture étant sous-modulaire, elle atteint au moins $1 - 1/e$ de l'optimum du problème de couverture maximale [1, 5].

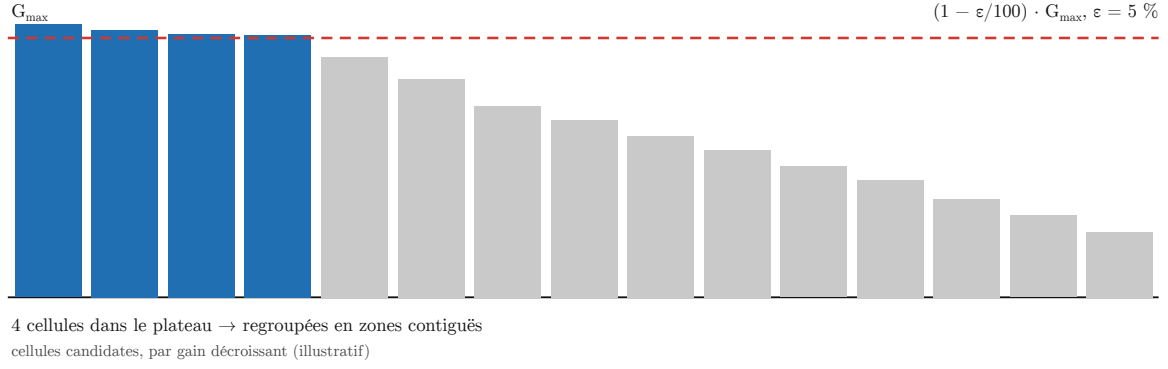


Figure 5. Plateau de tolérance ε (valeurs illustratives) : toutes les cellules dont le gain est à moins de 5 % du meilleur sont retenues et regroupées en zones contiguës.

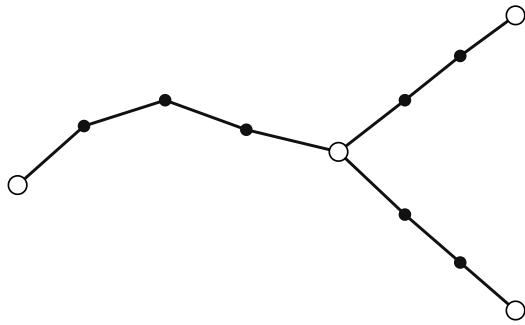
3.6 Fragilité

Les chaînes de nœuds de degré 2 sont contractées en liens entre carrefours (60 340 carrefours, 70 154 liens), la population de chaque cellule est répartie entre les carrefours de son disque équivalent et chaque établissement est affecté à son carrefour (figure 6). Un parcours en profondeur enraciné aux carrefours portant un établissement identifie les ponts [7] :

$$(u,v) \text{ critique} \iff \text{low}(v) > \text{disc}(u) \wedge S_h(v) = 0 \wedge S_\pi(v) \geq 25, \quad \Pi = \Sigma_{(u,v) \text{ maximal}} S_\pi(v) \quad (5)$$

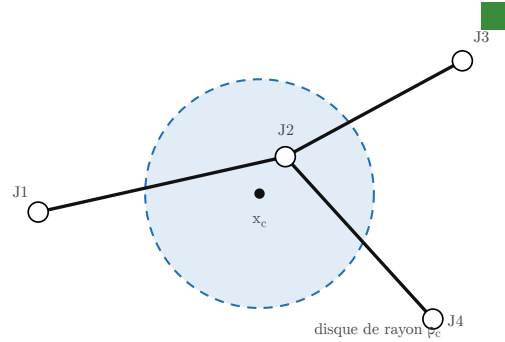
Les parties détachées des liens maximaux étant disjointes, Π compte chaque habitant au plus une fois (figure 7).

Graphe brut



○ carrefour (degré $\neq 2$) · nœud de degré 2

Graphe contracté et affectation



$J = \{J2\} : \pi_{J2} \leftarrow P_c ; h_{J3} = 1$

Figure 6. Contraction des chaînes de degré 2 et affectation (§ 3.6) : la population d'une cellule est répartie entre les carrefours de son disque équivalent, chaque établissement est affecté à son carrefour.

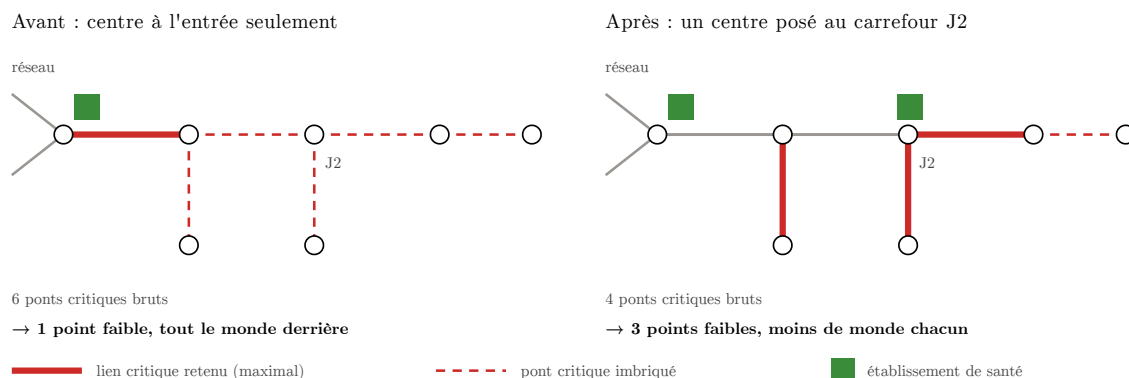


Figure 7. Effet d'un établissement ajouté dans une impasse (éq. 5). Les liens critiques passent de 6 à 4, les liens maximaux de 1 à 3, et la population derrière chaque lien maximal diminue.

3.7 Règles d'alerte

Les alertes sont des fonctions déterministes des indicateurs, des chantiers et des flux d'événements. Pour un département d , un chantier z , avec n_7 le nombre de signaux de presse sur 7 jours et s_7, s_{30} leurs parts négatives sur 7 et 30 jours :

$$\text{MalDesservi}(d) \Leftrightarrow 100 \cdot A_{60}(d)/P_d < 25 \wedge P_d \geq 2\,000 \quad (6)$$

$$\text{ChantierSensible}(z) \Leftrightarrow \exists (u,v) \text{ critique} : d_H(z,(u,v)) \leq 15 \wedge S_\pi(v) \geq 1\,000 \quad (7)$$

$$\text{PicNégatif} \Leftrightarrow n_7 \geq 5 \wedge s_7 \geq 0,5 \wedge s_7 - s_{30} \geq 0,2 \quad (8)$$

S'y ajoutent le chantier en retard, le chantier situé dans une province en pic négatif, et l'incendie détecté à moins de 10 km d'un chantier avec une confiance d'au moins 50. Une règle dont la fenêtre d'observation est vide n'est pas évaluée : elle est déclarée non évaluée, avec la date à laquelle la collecte s'arrête : « n'a pas levé » et « n'a pas été évaluée » ne se rangent pas sous le même mot.

3.8 Hypothèses et paramètres

Tableau 3. Hypothèses et sens du biais (+ surestime, – sous-estime, ? inconnu, . sans effet).

Hypothèse	Accès	Gain	Fragilité
Inventaire des établissements incomplet	–	+	+
Position au lieu habité et non au bâtiment (§ 3.9)	?	?	?
Accrochage des établissements sans coût	+	+	.
Établissements listés ouverts et équivalents	+	?	–
Réseau cartographié complet	–	?	+
Vitesses constantes, sans saison ni relief	+	?	.
Marche rectiligne à vitesse constante	+	+	.
Population proportionnelle au bâti	?	?	?
Composantes sans établissement exclues	.	.	–
Coupure unique et totale	.	.	–
Plan glouton	.	–	.

Les paramètres sont déclarés dans la plateforme : pas de maille $0,025^\circ$, vitesse par défaut 30 km/h, marche 5 km/h, portée d'accrochage 25 km, rayons d'appariement 0,5 et 2 km, seuil de couverture 60 min, tolérance du plateau 5 %, population minimale d'un lien critique 25.

3.9 La chaîne d'incertitude de position

Une coordonnée ne dit pas ce qu'elle désigne. Un même point peut valoir au bâtiment, au lieu habité qui le nomme, ou au centroïde d'une unité administrative : la différence se compte en kilomètres, et elle n'est pas dérivable de la coordonnée. Seul le producteur de l'inventaire la connaît. Elle se propage ensuite dans tout le calcul, en changeant de nature à chaque étape (figure 4), et peut se perdre à chacune.

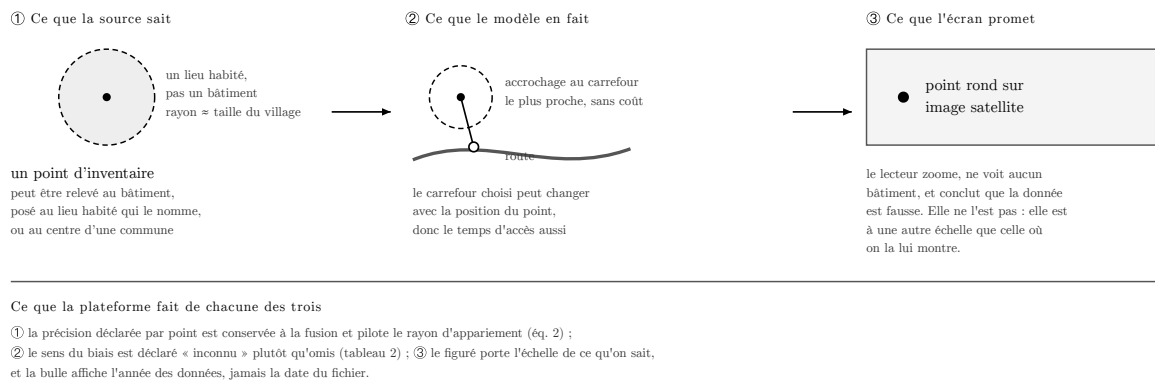


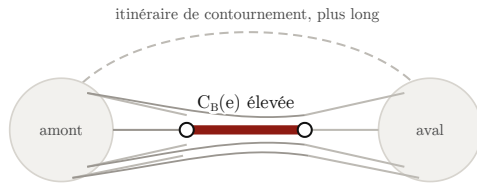
Figure 8. La chaîne d'incertitude de position, de la source à l'écran. À chaque étape, l'information « cette position vaut au village » peut se perdre : en recopiant d'une base à l'autre, en accrochant au réseau, ou en dessinant. Perdue, elle ne réapparaît jamais en aval, mais l'écran, lui, continue d'affirmer.

Trois exigences en découlent, et chacune correspond à un défaut que nous avons trouvé dans la plateforme elle-même. **(i) La précision se conserve** : le champ qui déclare, pour chaque point, si la position vaut au bâtiment ou au lieu habité doit survivre à la fusion et être lu par l'écran, faute de quoi le producteur a documenté une propriété que personne n'utilise. **(ii) La date est celle de la donnée** : la date de dépôt d'un fichier n'est pas la date d'un relevé, et prendre la plus récente des dates de plusieurs sources revient à dater l'ensemble par sa moitié la plus flatteuse. **(iii) Le figuré porte l'échelle** : un point de rayon fixe, superposé à une image satellite, promet une précision métrique quelle que soit la donnée derrière.

3.10 Axes de passage : la charge d'un tronçon

La fragilité (§ 3.6) répond à « quelle coupure isolerait des habitants ». Elle ne dit rien de la *charge* : un tronçon peut n'isoler personne (parce qu'un autre chemin existe) et porter néanmoins l'essentiel des trajets du pays. Les deux questions sont indépendantes (figure 9), et la seconde relève d'une mesure classique de la théorie des graphes, la centralité d'intermédiarité [9].

Charge : combien de trajets passent ici

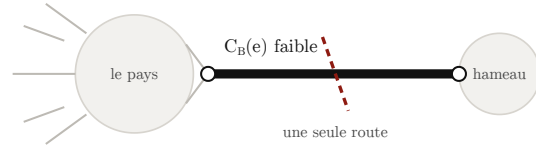


Tous les plus courts chemins de l'amont vers l'aval empruntent ce tronçon : sa *charge* est forte.

Le couper ne coupe personne. Les deux côtés restent reliés par le contournement : c'est un *détour*, pas un isolement.

→ entretien, saturation, priorité de renforcement

Criticité : qui se retrouve sans route



Peu de trajets l'empruntent : il ne dessert qu'un hameau. Sa charge est donc *basse*.

Le couper isole tout le monde derrière. C'est un *pont* du graphe, et la population qu'il dessert se compte.

→ alerte, vérification de terrain, désenclavement

Les deux mesures sont indépendantes. Un tronçon peut être fortement chargé sans être critique, puisqu'il est doublé, et critique sans être chargé, s'il ne dessert que peu de monde. Les confondre fait entretenir ce qui est fréquenté plutôt que ce qui est irremplaçable.

Figure 9. Charge et criticité sont deux propriétés indépendantes du même tronçon. À gauche, un axe que tous les plus courts chemins empruntent : le couper impose un détour, il n'isole personne. À droite, une desserte unique : peu de trajets l'empruntent, et sa coupure isole tout ce qui est derrière. Les confondre ferait entretenir en priorité ce qui est fréquenté plutôt que ce qui est irremplaçable.

Pour un tronçon e du graphe routier $\mathcal{R}$, en notant $\sigma(s, t)$ le nombre de plus courts chemins de s à t et $\sigma(s, t|e)$ ceux qui empruntent e :

$$C_B(e) = \sum_{s \neq t} \sigma(s, t|e) / \sigma(s, t) \quad (9)$$

La couche publiée porte une variante **non normalisée et entière** de cette quantité : un compte de plus courts chemins traversant le tronçon, sur un ensemble de couples origine–destination. Sur les 34 134 tronçons et 63 091 km du réseau, la distribution est extrêmement asymétrique : **la moitié des tronçons portent la valeur 1**, la médiane vaut 1, le décile supérieur commence à 27 et le maximum atteint 7 111. Le centile supérieur, soit 1 769 km, est composé surtout de routes primaires, secondaires et de voies rapides : *la mesure retrouve la hiérarchie routière sans la connaître*, ce qui est le premier contrôle qu'on puisse lui demander.

L'écran ne peint pas cette valeur telle quelle. Une échelle linéaire écraserait 99 % du réseau contre zéro ; la couche est donc colorée en **log₁₀ borné à 4**, ce qui répartit les quatre ordres de grandeur sur la rampe. C'est un choix d'affichage, déclaré comme tel : il ne change pas la mesure, il la rend lisible.

Trois réserves, dont deux touchent ce que le chiffre autorise à dire

- (i) **La couche n'est pas recalculée par la chaîne actuelle.** Les valeurs proviennent d'un extrait de mars 2023 et aucun script du dépôt ne les reproduit ; les autres modules routent, eux, sur le réseau de septembre 2026. *Un indicateur qu'on ne sait pas refaire est un indicateur qu'on ne peut pas dater*, et il vieillit sans que rien ne le signale. C'est la même famille que la date des inventaires (§ 5.4), sur un objet que nous produisons nous-mêmes.
- (ii) **Le poids d'un tronçon vient de son étiquette, pas d'une mesure.** La vitesse est déduite de la classe déclarée dans OpenStreetMap : six valeurs, de 30 à 100 km/h. Une largeur relevée par télédétection existe et n'est pas employée : la médiane des largeurs détectées est de 11,9 m, et 4,5 % des segments dépassent 20 m. *Une route de trente mètres n'est pas une route de neuf, quoi qu'en dise son étiquette.*
- (iii) **Une intermédierité forte n'est pas une criticité.** Un axe très chargé doublé par un autre itinéraire ne figure dans aucune de nos alertes ; un tronçon d'intermédierité faible mais unique y figure. Confondre les deux ferait entretenir en priorité ce qui est fréquenté plutôt que ce qui est irremplaçable, et l'in-

verse est tout aussi faux. **La plateforme publie les deux couches côte à côte et nomme la question de chacune.**

4 Étude de cas : l'accès aux soins

Les sections 4.1 à 4.4 sont calculées avec le **relevé collaboratif seul, 253 établissements** (figure 12), sur le réseau et la population du 17 septembre 2026, pour le motif posé au § 3.3. **Chaque chiffre de cette section porte donc un inventaire dans son énoncé** ; aucun n'est une mesure du pays.

4.1 Diagnostic

À l'échelle nationale, **90,7 % de la population réside à moins d'une heure** d'un établissement, 85,6 % à moins de trente minutes et 97,1 % à moins de deux heures. La population au-delà d'une heure est de **327 232 personnes (9,3 %)**, dont 0,7 % sans aucun accès routier à un établissement. Elle est concentrée (figure 10, tableau 4) : six départements en regroupent 46 %.

Le premier d'entre eux n'est pas un résultat de terrain, et la plateforme le dit d'elle-même. Mougoutsi, en Nyanga, compte 44 921 habitants au-delà d'une heure, soit *la totalité* de sa population — parce que la Nyanga ne porte aucun établissement dans le relevé collaboratif. L'artefact publié inscrit cette absence en toutes lettres (« Aucun centre cartographié en : Nyanga »), et c'est la seule raison pour laquelle le chiffre est lisible : *un département à 100 % éloigné est une affirmation sur la carte, pas sur le pays.*

Part de la population à plus d'une heure d'un centre de santé
par département · 253 établissements · 9,3 % du pays au-delà d'une heure

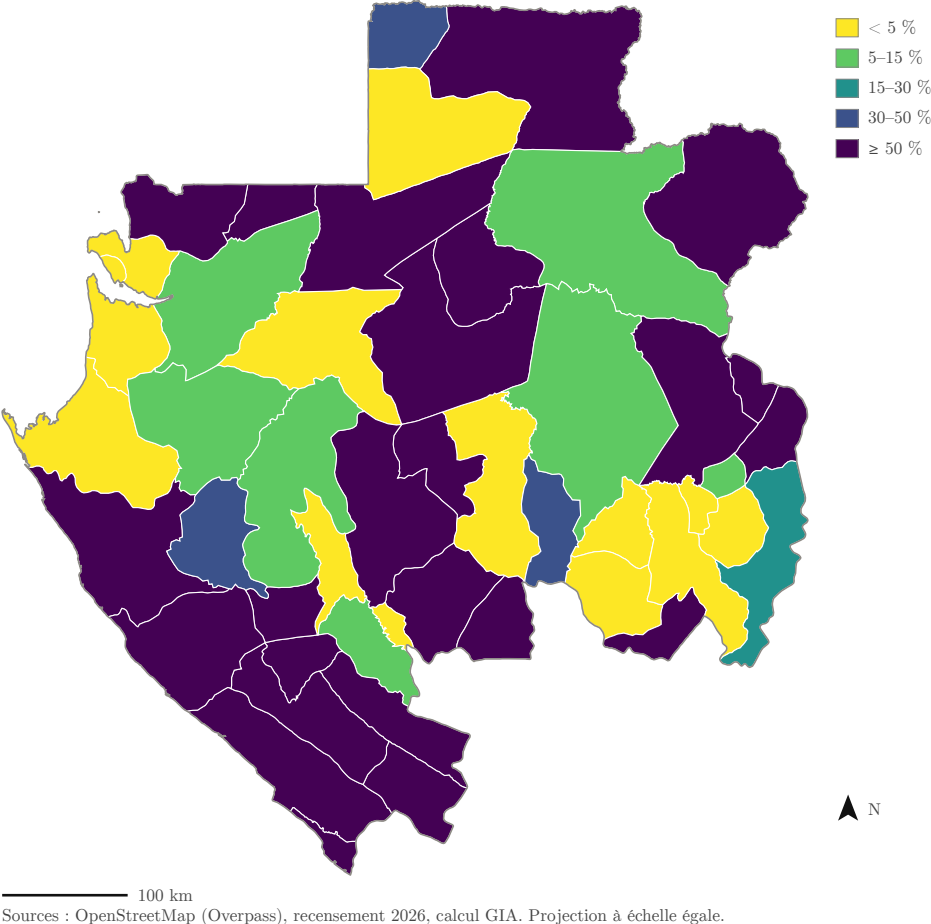


Figure 10. Part de la population à plus d'une heure d'un centre de santé, par département. Les départements en violet foncé ne sont pas sans soins : ce sont ceux que l'inventaire ne couvre pas, et la Nyanga entière en fait partie (§ 3.3).

Tableau 4. Départements comptant le plus d'habitants à plus d'une heure d'un établissement (relevé collaboratif, 253 établissements, 17 septembre 2026). La colonne « > 1 h » rapportée à 100 % signale une province sans aucun établissement cartographié, non un département sans soins.

Département	Province	Population	> 1 h	Personnes
Mougoutsi	Nyanga	44 921	100,0 %	44 921
Ntem	Woleu-Ntem	61 124	44,4 %	27 139
Okano	Woleu-Ntem	21 262	98,6 %	20 964
Zadie	Ogooué-Ivindo	21 119	95,8 %	20 232
Sébé-Brikolo	Haut-Ogooué	21 987	90,9 %	19 986
Haut-Ntem	Woleu-Ntem	21 009	89,0 %	18 698

Par province, le Woleu-Ntem compte le plus d'habitants éloignés (74 393, 30,7 %), devant la Nyanga (68 215, 100 %) et l'Ogooué-Ivindo (45 981, 49,2 %) ; l'Estuaire, qui réunit 62 % de la population, n'en compte que 1,1 %. **Ce classement mesure deux choses à la fois, et elles ne se séparent pas dans le chiffre** : l'éloignement réel des habitants, et l'épaisseur inégale de la cartographie collaborative, qui place 218 de ses 253 points dans le seul Estuaire. Un dé-

partement rural à 90 % éloigné dit « nous n'avons rien cartographié ici » aussi fort qu'il dit « il n'y a rien ici ». Le diagnostic reste néanmoins utilisable pour ce qu'il est : une *liste de vérification*, ordonnée par le nombre d'habitants concernés, de ce qu'il faut aller regarder sur le terrain.

4.2 Priorisation

Un premier centre bien placé couvrirait **52 221 personnes**, soit 16,0 % de la population au-delà d'une heure ; cinq centres en couvriraient **150 811, soit 46,1 %** (tableau 5). Le plateau de tolérance à 5 % de la première étape compte 124 cellules réparties en quatre zones distinctes, soit environ 950 km² : le modèle désigne des *régions*, pas un point. Le rendement décroît, mais lentement — 52 221, 35 338, 22 142, 21 628 puis 19 483 personnes — parce que l'éloignement porte ici sur des zones rurales larges et non sur quelques poches résiduelles. Le recouvrement entre centres est nul aux cinq étapes, si bien que le plan peut être engagé dans n'importe quel ordre sans perte.

Et la première étape tombe en Nyanga. Basse-Banio, près de Milolo, est désigné parce que la province ne porte aucun établissement dans l'inventaire. *Ce n'est pas une recommandation d'implantation, c'est une désignation de zone à vérifier*, et c'est ainsi que la plateforme la présente. Les quatre étapes suivantes — Ntem, Okano, Sébé-Brikolo, Zadie — portent sur des départements ruraux dont l'éloignement n'est contredit par aucune autre source, et elles sont, elles, directement exploitables.

Tableau 5. Plan glouton à cinq centres sur le **relevé collaboratif** (253 établissements, réseau et population du 17 septembre 2026). Les parts sont rapportées à U = 327 232 personnes. La première étape est à lire avec le § 3.3 : la Nyanga ne porte aucun établissement dans cet inventaire.

Étape	Département et emplacement	Gain	Cumul	Part cumulée
1	Basse-Banio, Nyanga — Milolo à 1,7 km	52 221	52 221	16.0 %
2	Ntem, Woleu-Ntem — Méloh à 5,6 km	35 338	87 559	26.8 %
3	Okano, Woleu-Ntem — Essong-Ville à 3 km	22 142	109 700	33.5 %
4	Sébé-Brikolo, Haut-Ogooué — Makatamangoye II à 4,3 km	21 628	131 328	40.1 %
5	Zadie, Ogooué-Ivindo — Mékambo à 1,7 km	19 483	150 811	46.1 %

4.3 Vigilance

La population derrière un lien routier unique atteint **II = 1 606 766 personnes (45,7 %)**, réparties en 1 375 points faibles issus de 7 075 liens critiques (figure 10). Le premier point isole **27 542 personnes** sur une route secondaire de l'Estuaire, le deuxième 26 640 sur une voie rapide du même ressort. En milieu urbain, une rue qui paraît irremplaçable signale souvent une connexion absente de la carte, ce qui appelle une vérification avant toute décision d'entretien.

Le nombre de points faibles et la population derrière eux ne varient pas ensemble, et c'est la raison pour laquelle la plateforme publie la seconde et non le premier : un établissement ajouté dans une impasse découpe la partie détachée en branches indépendantes, si bien que les points se multiplient pendant que la population isolée diminue. Un tableau de

bord qui compterait les points lirait une dégradation là où la situation s'améliore — c'est le défaut décrit au § 5.1.

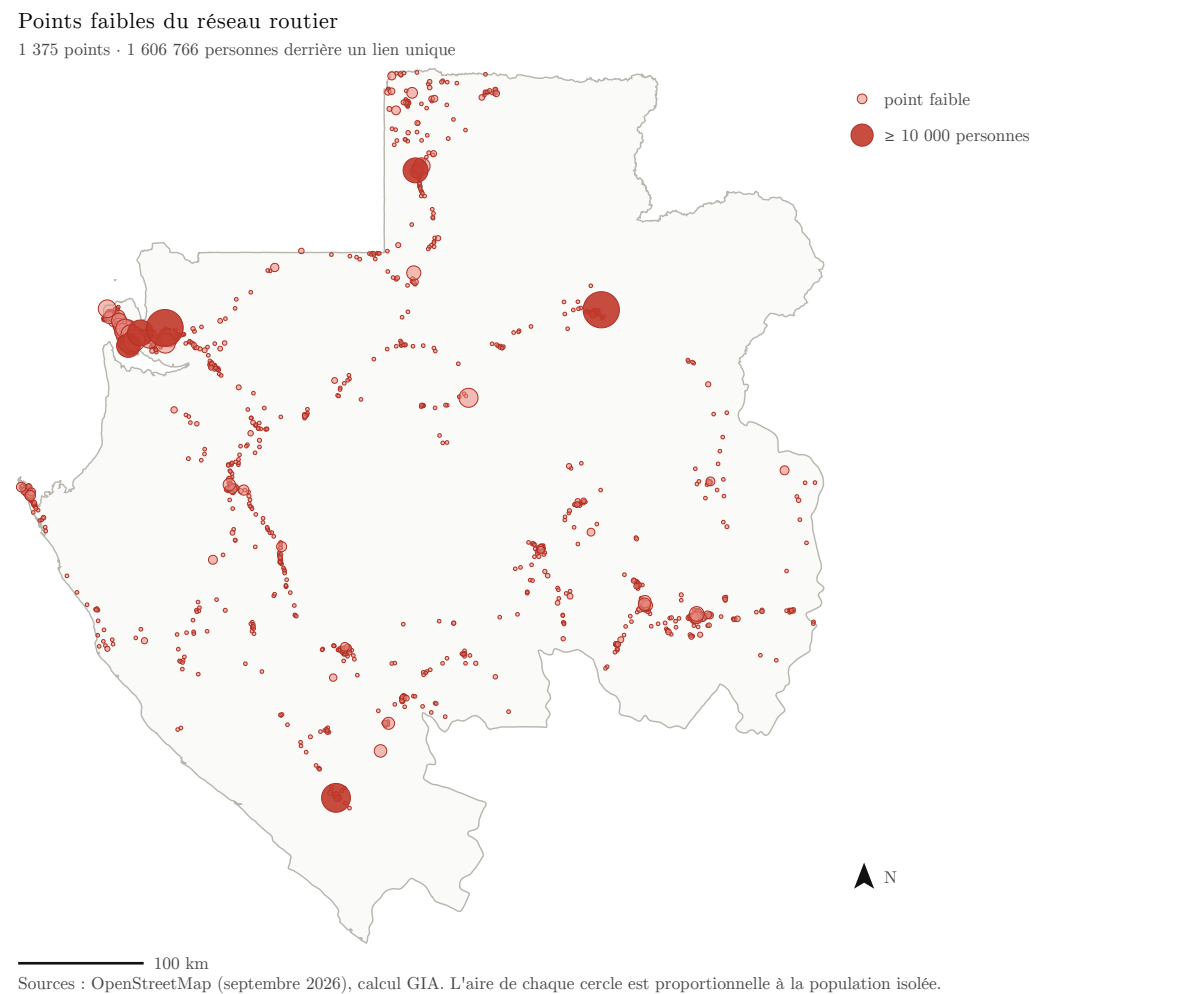


Figure 11. Points faibles du réseau routier. L'aire de chaque cercle est proportionnelle à la population qui perdrait l'accès routier à tout établissement si le lien était coupé.

4.4 Des indicateurs aux décisions

Tableau 6. Questions de décision, indicateurs et résultats de l'étude de cas.

Type	Question du décideur	Indicateur	Résultat	Action possible
Diagnostic	Quels territoires sont loin des soins ?	$U, A_{60}(d)$	Mougoutsi : 44 921 pers. (100 %)	Vérifier d'abord la carte, puis le terrain
Priorisation	Où un centre servirait-il le plus ?	$G_k, \mathcal{P}_\varepsilon$	Basse-Banio : 52 221 pers.	Étude de faisabilité sur le plateau
Priorisation	Combien de centres pour quel effet ?	plan glouton	5 centres : 46,1 % des non-couverts	Dimensionner un programme
Vigilance	Quelles routes protéger ?	Π , points faibles	27 542 pers. derrière un tronçon	Vérification, entretien prioritaire
Vigilance	Quels chantiers suivre ?	Règles (7) et retard	Chantier près d'un lien critique	Suivi rapproché

4.5 Axes de passage : où se concentre la charge

Le calcul du § 3.10, appliqué aux 34 134 tronçons et 63 091 km du réseau, donne une concentration que le décideur peut employer directement (tableau 7, figure 12). **Un pour cent des kilomètres porte 39 % de la charge, cinq pour cent en portent 78 %**, et la moitié du réseau en porte 98 % : autrement dit, la moitié des kilomètres ne sert quasiment à aucun trajet de transit.

Tableau 7. Concentration de la charge : part des kilomètres les plus chargés et part de la charge totale qu'ils portent. La charge totale est ici la *somme des passages* sur les tronçons, non pondérée par leur longueur ; pondérée par les kilomètres, la concentration est encore plus marquée (5 % des km portent alors 83 % de la charge).

Part du réseau (km)	Kilomètres	Part de la charge portée
1 %	1 769	39 %
5 %	3 155	78 %
10 %	6 309	88 %
25 %	15 773	96 %
50 %	31 546	98 %

Où se concentre la charge du réseau

centralité d'intermédiarité des tronçons : 34 134 tronçons, 63 091 km

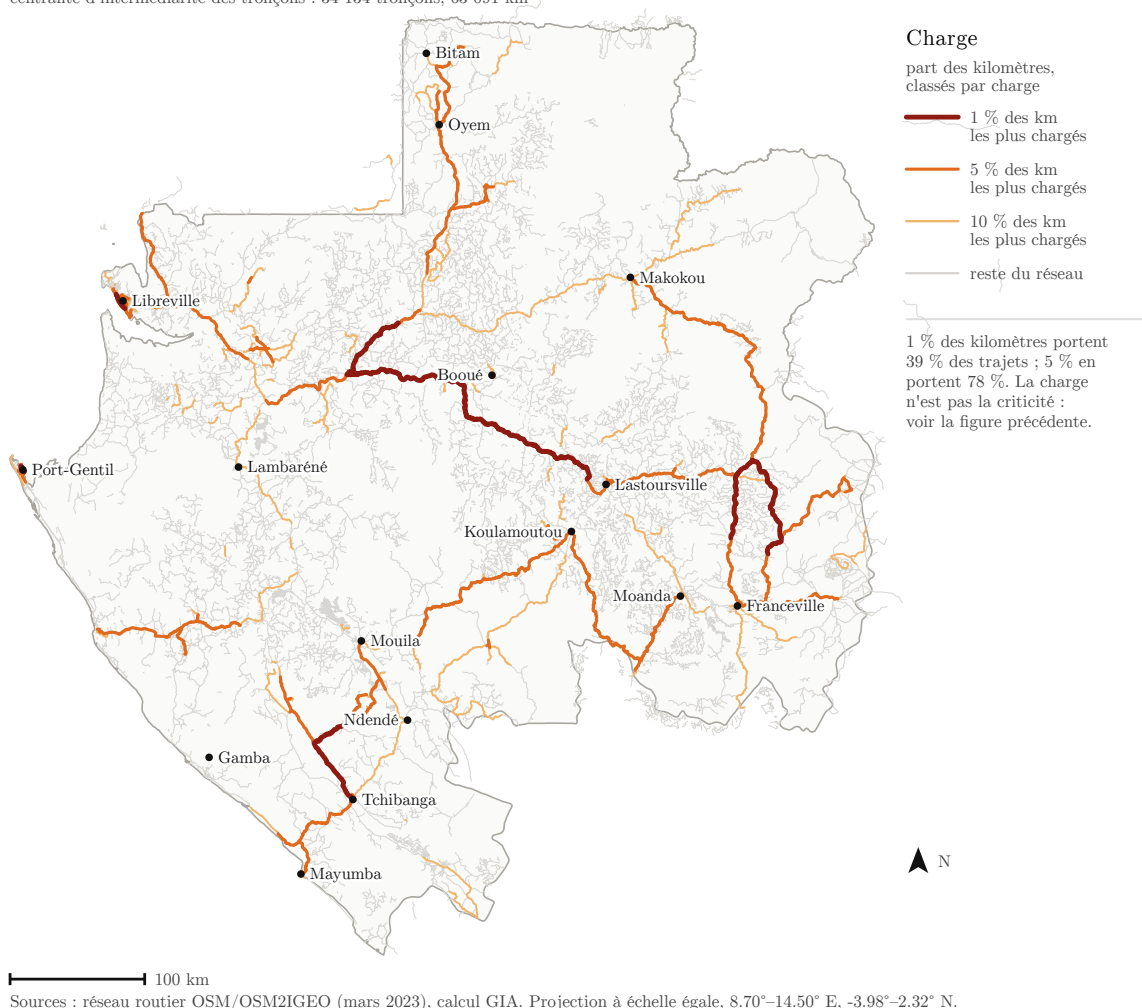


Figure 12. Les axes de passage du réseau gabonais. En rouge sombre, le centile le plus chargé, soit 1 769 km qui portent 39 % de la charge ; en orange les 5 % les plus chargés, en ambre les 10 %, en gris le reste du réseau. Le corridor principal relie l'Estuaire au Haut-Ogooué par Booué et Lastoursville ; il se double d'un axe vers le sud-ouest, de Mouila à Tchibanga. Le fond est le contour *terrestre* du pays, obtenu en annulant les limites partagées des 48 départements : les relations provinciales d'OpenStreetMap portent les eaux territoriales, et donnaient au pays un littoral rectiligne qui n'existe pas. La projection conserve les proportions : une même échelle sur les deux axes.

La mesure retrouve la hiérarchie routière sans en rien savoir : les autoroutes et voies rapides portent des charges médianes de 544 et 224, les routes primaires 162, tandis que les 13 018 chemins carrossables, qui forment pourtant 42 776 km, les deux tiers du réseau, ont une médiane de 2 (tableau 8). **C'est le premier contrôle qu'on puisse demander à un indicateur topologique : retrouver, sans l'information, ce que l'information dit déjà.**

Tableau 8. Charge par classe de voie. La médiane sépare nettement les classes structurantes du reste, alors que le calcul ignore la classe.

Classe déclarée	Tronçons	Kilomètres	Charge médiane	Maximum
Autoroute	12	20	544	700
Voie rapide	309	1 112	224	6 555
Route primaire	441	2 626	162	7 111
Route secondaire	465	1 668	129	3 481
Route tertiaire	680	1 745	29	3 151
Route non classifiée	2 488	8 846	4	4 122
Chemin carrossable	13 018	42 776	2	777
Route résidentielle	11 191	3 110	1	4 396

Ce que ces deux tableaux autorisent, et ce qu'ils n'autorisent pas. Ils permettent de dimensionner un programme d'entretien : 1 769 km, moins d'un vingtième du réseau, concentrent la plus grande part des trajets de transit, et un euro d'entretien y touche plus de trajets qu'ailleurs. Ils ne permettent pas de conclure sur le désenclavement : la colonne « maximum » montre que des classes modestes portent parfois des charges très élevées, parce qu'elles sont les seules à relier deux morceaux du pays, et c'est la fragilité (§ 4.3), non la charge, qui dit qui se retrouverait sans route. *Les deux indicateurs se lisent ensemble, jamais l'un à la place de l'autre.*

5 Fiabilité de l'aide à la décision

5.1 Compter en personnes plutôt qu'en objets

Le nombre de liens critiques maximaux augmente de 7,7 % quand la fragilité diminue. À périmètre constant, les liens critiques baissent (14 550 → 14 072) mais les liens maximaux augmentent (6 999 → 7 417) : un établissement ajouté dans une impasse découpe la partie détachée en branches indépendantes (figure 7), et l'élargissement du champ aux composantes nouvellement pourvues ajoute 118 liens. Un tableau de bord qui afficherait le nombre de liens comme mesure de la fragilité signalerait une dégradation là où la situation s'améliore. La plateforme présente donc la fragilité en population.

5.2 Seuils et tolérances

La règle (7) ne signale qu'Offoué-Onoye, alors que Bayi-Brikolo compte plus du double d'habitants éloignés : avec 32 % de sa population à moins d'une heure, il reste au-dessus du seuil de 25 %. Un seuil exprimé en proportion privilégie les petits territoires très isolés ; un seuil exprimé en effectif privilégierait les territoires peuplés. Ce choix relève du décideur, et la plateforme doit le rendre explicite en listant ce que chaque seuil écarte. De même, le plateau de tolérance de la première étape du plan compte **124 cellules réparties en quatre zones distinctes**, soit environ 950 km² : présenter un site unique donnerait une précision que ni la maille ni les positions des établissements ne portent, d'où la présentation par plateau.

5.3 Protocole de validation externe des positions

Les adjectifs (« au bâtiment », « au village ») ne se soustraient pas d'un chiffre ; des kilomètres, si. Nous proposons le plus petit protocole qui transforme les uns en les autres.

Échantillon. Trente points par méthode de géocodage, soit 150, tirés au hasard dans la méthode entière et non parmi les points suspects : un échantillon tiré sur le critère que l'on veut mesurer le critère, pas la population.

Publication préalable. La graine du tirage et la liste des 150 points sont publiées avant la vérification, de sorte qu'aucun point ne puisse être écarté après coup au vu de son résultat.

Instrument. Imagerie à haute résolution, d'un fournisseur qui n'est aucune des sources de l'inventaire : vérifier une source par une autre source du même inventaire est circulaire.

Sortie. Pour chaque méthode : erreur de position médiane, décile supérieur, maximum ; et le nombre d'établissements introuvables, qui n'est pas un déchet mais un résultat : un établissement absent de l'imagerie récente est peut-être fermé, information dont nous ne disposons aujourd'hui d'aucune façon.

Ce protocole permettrait trois choses impossibles aujourd'hui : publier « n centres dont la position est à tant de kilomètres près » au lieu d'un adjectif ; publier l'indicateur d'accès avec une barre d'erreur obtenue en déplaçant chaque centre de l'erreur de sa classe ; et vérifier la classification elle-même, qui repose pour l'instant sur la description des auteurs et sur une distribution de distances, non sur une mesure.

5.4 Principes qui en découlent

(i) Un indicateur publié est daté par ses données, pas par le fichier qui les transporte, et toute comparaison dans le temps sépare l'évolution de la carte de celle du terrain. (ii) Une propriété que seul le producteur connaît se déclare à côté de la donnée et doit survivre jusqu'à l'écran : la précision d'une position, la cadence d'une couche, la fenêtre d'une règle. (iii) Les indicateurs de dénombrement sont subordonnés aux indicateurs de population. (iv) Les seuils de décision sont explicites, et ce qu'ils écartent est visible. (v) Une absence de mesure se distingue d'une mesure nulle : « non évalué », « non distingué » et « zéro » sont trois états différents, et les confondre fait lire un silence comme un succès.

6 Fonctionnalités à développer

6.1 Fonctionnalités de la version précédente à reprendre

La version précédente de la plateforme offrait des fonctionnalités qui n'ont pas encore été reprises dans la version actuelle. Le tableau 9 les relie à la décision qu'elles servent. Quatre d'entre elles sont en cours de développement.

Tableau 9. Fonctionnalités de la version précédente à reprendre.

Fonctionnalité	Décision servie	État
Population et bâti dans une zone dessinée	Diagnostic local, dimensionnement d'un projet	en cours
Recherche de lieu	Accès à tous les diagnostics	en cours
Acquittement et relance des alertes	Vigilance	en cours
Lien de partage d'une vue	Concertation, arbitrage	en cours
Isochrones depuis un point	Diagnostic d'un site	à reprendre
Comparaison de deux couches par balayage	Diagnostic, avant/après	à reprendre
Couche des changements de la carte	Fiabilité (ce qui a changé dans les sources)	à reprendre
Saisie et modification des chantiers, discussion	Suivi des projets	à reprendre
Incendies actifs, tonalité de la presse, tendances	Vigilance	à reprendre
Routes les plus critiques par centralité, densité par région	Priorisation de l'entretien	à reprendre
Requêtes cartographiques en direct (mines, zones inondables, services)	Diagnostic des risques	à reprendre

La reprise n'est pas une simple copie. La version précédente estimait la population d'une zone dessinée au prorata de la surface du département ; la version actuelle utilisera la population par cellule ventilée selon le bâti (équation 1), et signalera la part de la zone couverte par des cellules partiellement incluses.

6.2 Nouvelles fonctionnalités

L'analyse de fiabilité suggère six développements. **(i) Historique des résultats** : conserver chaque calcul avec la version des données qui l'a produit. **(ii) Propagation de l'incertitude de position** : afficher le figuré à l'échelle de ce que la source sait, et recalculer l'indicateur sous déplacement des positions douteuses une fois le protocole du § 5.6 exécuté. **(iii) Extension à d'autres services** : les modules ne dépendant de l'inventaire que par $\mathcal{A}$, l'accès aux écoles, aux points d'eau ou aux marchés se calcule avec les mêmes outils, sous réserve d'inventaires dont la complétude soit documentée. **(iv) Scénarios** : simuler la coupure d'un tronçon, la fermeture ou l'ouverture d'un établissement. **(v) Abonnement aux alertes par territoire.** **(vi) Fiches de décision exportables**, qui reprennent un résultat avec ses hypothèses, ses sources et sa fourchette.

7 Conclusion

Q1. Intégration. Un socle de quatre objets partagés (population localisée, graphe routier, inventaires de services, registre des chantiers) suffit à alimenter des modules de diagnostic, de priorisation et de vigilance, et ces modules ne dépendent d'un type de service que par son inventaire.

Q2. Traduction en décisions. Sur l'accès aux soins, la plateforme situe les 327 232 personnes à plus d'une heure d'un centre (9,3 %), ordonne les départements par le nombre d'habitants concernés, chiffre ce qu'apporterait un programme de cinq centres — 150 811 personnes couvertes, 46,1 % des non-couverts — et identifie les routes dont dépend 45,7 % de la population.

Q3. Fiabilité. Ces indicateurs ne valent que ce que vaut la couverture de l'inventaire qui les produit, et celle-ci est inégale : 218 des 253 établissements sont dans une seule province, une province entière n'en porte aucun. **Le premier emplacement que le modèle désigne tombe précisément dans cette province**, et c'est un artefact de la carte, non un résultat de terrain. La plateforme répond par la provenance, les hypothèses déclarées avec le sens de leur biais, les fourchettes, les plateaux plutôt que les points, la mesure en personnes plutôt qu'en objets, la conservation de la précision de position jusqu'à l'écran, et l'inscription en toutes lettres de ce que l'inventaire ne couvre pas.

Limites. Le résultat principal dépend d'un inventaire qui couvre mal le pays rural, et aucun de ses chiffres ne doit être lu comme une mesure de l'accès aux soins : c'est une mesure de ce que la carte porte. Les positions n'ont été vérifiées ni sur le terrain ni sur imagerie indépendante : le protocole du § 5.6 n'a pas encore été exécuté, et tant qu'il ne l'est pas, l'incertitude de position reste déclarée mais non chiffrée. Le réseau routier est supposé complet et parcouru à vitesse constante. Les établissements listés sont supposés ouverts et équivalents, alors que le plan national de développement sanitaire indique que plusieurs dispensaires ne sont pas fonctionnels. Enfin, la valeur d'usage de la plateforme auprès des décideurs n'a pas encore été évaluée ; elle fera l'objet d'un travail ultérieur, en même temps que les développements décrits à la section 6.

Références

1. R. Church et C. ReVelle. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32(1) : 101–118, 1974.
2. P. J. Densham. Spatial decision support systems. Dans D. J. Maguire, M. F. Goodchild et D. W. Rhind (dir.), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, vol. 1, p. 403–412. Longman, 1991.
3. E. W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1 : 269–271, 1959.
4. J. Mennis. Generating surface models of population using dasymetric mapping. *The Professional Geographer*, 55(1) : 31–42, 2003.
5. G. L. Nemhauser, L. A. Wolsey et M. L. Fisher. An analysis of approximations for maximizing submodular set functions — I. *Mathematical Programming*, 14 : 265–294, 1978.
6. W. Sirko, S. Kashubin, M. Ritter *et al.* Continental-scale building detection from high resolution satellite imagery. arXiv:2107.12283, 2021.
7. R. E. Tarjan. A note on finding the bridges of a graph. *Information Processing Letters*, 2(6) : 160–161, 1974.
8. D. J. Weiss, A. Nelson, C. A. Vargas-Ruiz *et al.* Global maps of travel time to healthcare facilities. *Nature Medicine*, 26 : 1835–1838, 2020.
9. L. C. Freeman. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1) : 35–41, 1977.