

VERS UNE ALERTE SANITAIRE RAPIDE EN COTE D'IVOIRE: ARCHITECTURE MODULAIRE DHIS2-DBSCAN ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUEES AUX QUATRE ZONES ECO-CLIMATIQUES.

by Jana Publication & Research

Submission date: 26-Jul-2025 03:46PM (UTC+0700)

Submission ID: 2690322927

File name: IJAR-52993.docx (489.13K)

Word count: 4859

Character count: 30579

VERS UNE ALERTE SANITAIRE RAPIDE EN COTE D'IVOIRE : ARCHITECTURE MODULAIRE
DHIS2-DBSCAN ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUEES AUX QUATRE ZONES
ECO-CLIMATIQUES.

.....
Manuscript Info

.....
Manuscript History

Received: xxxxxxxxxxxxxxxx
Final Accepted: xxxxxxxxxxxxxx
Published: xxxxxxxxxxxxxxxx

Key words:-

Surveillance épidémiologique, Côte d'Ivoire, INHP, COUSP, Maladies tropicales, Intelligence artificielle, Santé publique.

Context¹⁸ La Côte d'Ivoire, comme l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, fait face à des défis majeurs en matière de surveillance épidémiologique. Les récentes épidémies de choléra (2025), de dengue (2022-2024), de Mpox (2024) et l'épidémie d'Ebola de 2021 ont révélé les limites du système actuel de surveillance basé sur le Centre des Opérations d'Urgences de Santé Publique

.....
Abstract

.....
(COUSP) de l'Institut National d'Hygiène Publique (INHP).

Objectif : Proposer un système d'analyse intégré adapté au contexte ivoirien, capable d'effectuer des analyses rapides des données cliniques et épidémiologiques pour anticiper et contrôler les épidémies dans les 113 districts sanitaires du pays.

Méthodes : Notre approche s'appuie sur l'infrastructure existante (COUSP-INHP, EpiSurveyor, DHIS2) et propose une architecture modulaire intégrant : (1) collecte automatisée depuis les formats sanitaires publiques et privées, (2) prétraitement et standardisation des données du Système National d'Information Sanitaire (SNIS), (3) modélisation prédictive utilisant le clustering spatio-temporel pour les 31 régions, (4) visualisation adaptée aux contraintes de connectivité et alertes via SMS.

Résultats attendus : Le système vise à réduire les délais de détection des foyers épidémiques dans le district d'Abidjan et les régions périphériques, améliorer la coordination entre l'INHP et les Directions Régionales de la Santé, et renforcer les capacités de réaction face aux menaces sanitaires récurrentes (choléra, dengue, méningite).

Conclusion : Cette contribution offre un outil opérationnel pour renforcer le système de surveillance épidémiologique ivoirien, en capitalisant sur les investissements existants du Projet de Renforcement et de Transformation Digitale des Structures de Santé (PRTDS).

Copy Right, IJAR, 2019.. All rights reserved.

I Introduction: -

1.1 Contexte ivoirien

La Côte d'Ivoire, avec ses 26 millions d'habitants répartis sur 31 régions et 113 districts sanitaires, présente un profil épidémiologique complexe caractérisé par la coexistence de maladies endémiques et émergentes. Le pays a récemment fait face à plusieurs crises sanitaires majeures :

- **Épidémie de choléra (mai-juin 2025)** : 7 décès confirmés dans la commune de Vridi-Akobrakré (Ministère de la Santé de Côte d'Ivoire, 2025)
- **Flambée de dengue (2022-2024)** : 4729 cas suspects et 594 cas confirmés avec circulation des sérotypes DEN 1, 2, 3 (Institut National d'Hygiène Publique, 2024)
- **Épidémie de Mpox (2024)** : 43 cas confirmés répartis dans 20 districts sanitaires (France Diplomatie Côte d'Ivoire, 2024)
- **Épisode d'Ebola (août 2021)** : Premier cas importé depuis la Guinée (Gouvernement de Côte d'Ivoire, 2021b)

Ces crises ont révélé les défis persistants du système de surveillance actuel, malgré les efforts du Centre des Opérations d'Urgences de Santé Publique (COUSP) rattaché à l'Institut National d'Hygiène Publique (INHP) de Bingerville.

1.2 Infrastructure sanitaire existante

Le système de santé ivoirien s'appuie sur une pyramide à trois niveaux :

- Niveau central : Ministère de la Santé, INHP, hôpitaux nationaux
- Niveau intermédiaire : 31 Directions Régionales de la Santé
- Niveau périphérique : 113 districts sanitaires, centres de santé urbains et ruraux

La surveillance épidémiologique est coordonnée par le COUSP-INHP qui utilise principalement :

- Le système EpiSurveyor pour la collecte de données terrain (OMS AFRO, 2021)
- La plateforme DHIS2 avec module d'alerte précoce (MEASURE Evaluation, 2016)
- La plateforme AFYA pour la surveillance syndromique des infections respiratoires (Gouvernement de Côte d'Ivoire, 2021a)

1.3 Défis spécifiques identifiés

Malgré ces outils, plusieurs défis persistent :

- Délais de notification : Les données remontent avec 7-14 jours de retard depuis les districts périphériques
- Couverture géographique inégale : Difficultés d'accès aux zones rurales et frontalières (Mali, Burkina Faso, Guinée, Liberia, Ghana)
- Intégration limitée : Cloisonnement entre secteur public, privé et structures traditionnelles
- Ressources humaines : Pénurie d'épidémiologistes formés (malgré les efforts du FETP - Field Epidemiology Training Program) (AFENET, 2024)

1.4 Objectif de l'étude

Cette étude propose un système d'analyse adapté au contexte ivoirien, intégrant les infrastructures existantes tout en renforçant les capacités prédictives et la réactivité face aux épidémies dans un pays en transition épidémiologique.

2. ÉTAT DE L'ART

2.1 Système de surveillance actuel en Côte d'Ivoire

Le système de surveillance ivoirien suit le modèle de surveillance intégrée des maladies et de la riposte (SIMR) recommandé par l'OMS-AFRO. Il couvre 40 maladies prioritaires sous surveillance (Santé Tropicale, 2019), incluant :

Maladies à potentiel épidémique : Choléra, méningite, fièvre jaune, dengue, chikungunya

Maladies endémiques : Paludisme, tuberculose, VIH/SIDA

Maladies négligées tropicales : Filariose lymphatique, onchocercose, schistosomiase

La notification suit un circuit hiérarchique :

Formation sanitaire → District sanitaire → Direction régionale → COUSP-INHP → Ministère de la Santé

2.2 Expériences régionales en Afrique de l'Ouest

Le Réseau Ouest Africain de Surveillance des Maladies Infectieuses (ROASMI), lancé par l'Organisation Ouest Africaine de la Santé (OOAS), vise à harmoniser les approches régionales (OOAS-WAEMU, 2023). Les pays voisins ont développé des systèmes similaires :

- **Ghana** : Système IDSR avec alerts SMS automatisées
- **Sénégal** : Plateforme DHIS2 intégrée avec géolocalisation
- **Mali** : Surveillance communautaire renforcée dans les zones de conflit

2.3 Initiatives de digitalisation en cours

La Côte d'Ivoire bénéficie du Projet de Renforcement et de Transformation Digitale des Structures de Santé (PRTDS) doté de 60,78 milliards FCFA (Agence Ecofin, 2025), incluant :

- Déploiement du Dossier Patient Informatisé (DPI)
- Renforcement de la connectivité internet dans les formations sanitaires
- Formation des agents aux outils numériques

2.4 Partenariats académiques et recherche

L'Université Félix Houphouët-Boigny dispose d'une Équipe d'Accueil en Épidémiologie et Santé Publique (EA ESP) (Université Félix Houphouët-Boigny, 2024) collaborant avec :

- Institut Pasteur de Côte d'Ivoire pour la surveillance virologique
- Le Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) pour les maladies tropicales
- L'Université d'Abobo-Adjamé pour la formation en biostatistiques

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 Architecture adaptée au contexte ivoirien

La figure 1 ci-dessous offre une vue d'ensemble détaillée de l'architecture du **Système de surveillance épidémiologique en Côte d'Ivoire**. Il présente sa structure en trois niveaux et les composants de chaque niveau. Il souligne l'approche incrémentielle du système, qui vise une intégration progressive avec l'infrastructure existante et une optimisation des investissements actuels. Cela reflète l'adaptabilité du système au contexte ivoirien et son emphase sur l'utilisation des ressources existantes pour améliorer les capacités de surveillance et de réponse aux épidémies.

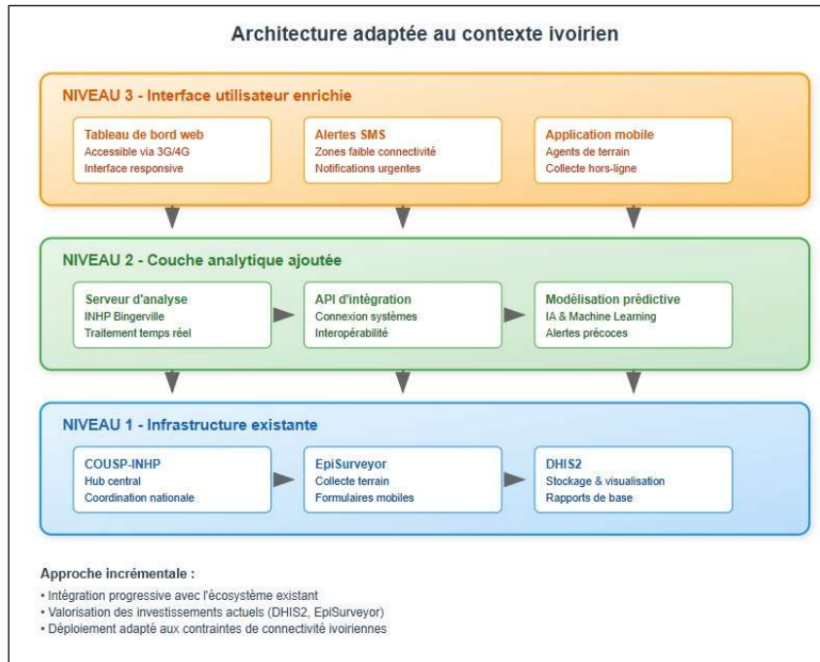


Figure 1: Architecture adaptée au contexte ivoirien

Le système proposé s'intègre donc dans l'écosystème existant selon une approche incrémentale :

Niveau 1 - Infrastructure existante :

- COUSP-INHP comme hub central
- EpiSurveyor pour la collecte terrain
- DHIS2 pour le stockage et la visualisation de base

Niveau 2 - Couche analytique ajoutée :

- Serveur d'analyse déployé à l'INHP Bingerville
- API d'intégration avec les systèmes existants
- Module de modélisation prédictive

Niveau 3 - Interface utilisateur enrichie :

- Tableau de bord web accessible via connexion 3G/4G
- Alertes SMS pour les zones à faible connectivité
- Application mobile pour les agents de terrain

3.2 Sources de données contextualisées

La figure 2 ci-dessous illustre les sources de données qui soutiennent le Système de surveillance épidémiologique en Côte d'Ivoire. Il souligne la dépendance du système à diverses sources de données telles que les données épidémiologiques nationales, les données cliniques hospitalières et les données contextuelles. Il souligne la capacité du système à intégrer des données en temps réel et à effectuer une analyse prédictive, soulignant ainsi la solidité de la base de données pour la surveillance et la prédiction épidémiologiques. Cela reflète l'accent mis par le système sur la collecte et l'analyse des données pour renforcer la surveillance épidémiologique et la réponse aux épidémies.

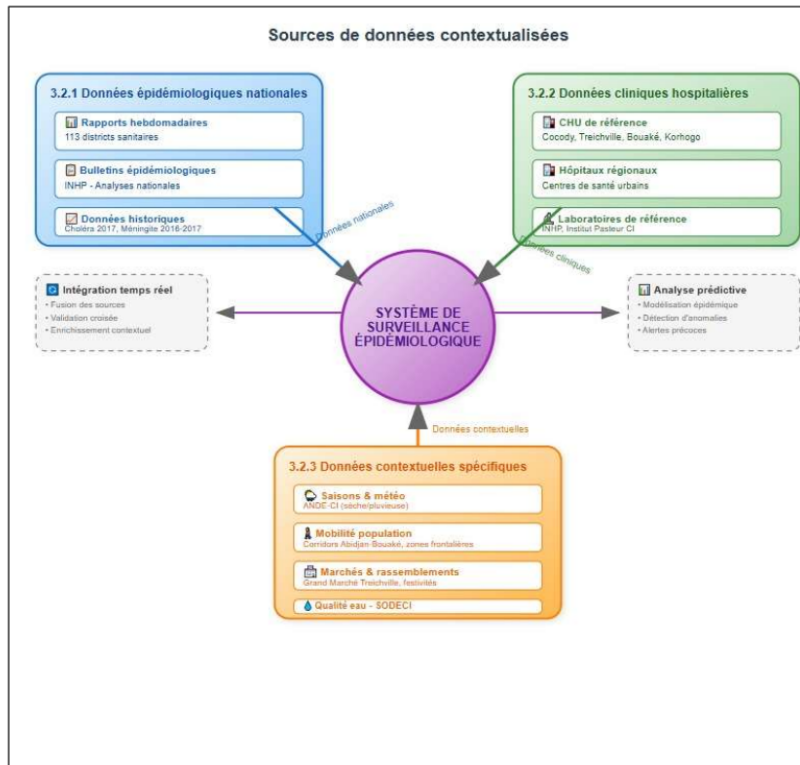


Figure 2: Sources de données contextualisées

3.2.1 Données épidémiologiques nationales

- Rapports hebdomadaires des 113 districts sanitaires
- Bulletins épidémiologiques de l'INHP
- Données historiques des épidémies (choléra 2017, méningite 2016-2017)

3.2.2 Données cliniques hospitalières

- CHU de Cocody, Treichville, Bouaké, Korhogo
- Hôpitaux régionaux et centres de santé urbains
- Laboratoires de référence (INHP, Institut Pasteur CI)

3.2.3 Données contextuelles spécifiques

- Saisons (sèche/pluvieuse) et données météorologiques d'ANDE-CI
- Mobilité population (corridors Abidjan-Bouaké, zones frontalières)
- Marchés et rassemblements (Grand Marché de Treichville, festivités)
- Qualité de l'eau (stations de traitement SODECI)

3.3 Modélisation adaptée aux défis locaux

3.3.1 Clustering spatio-temporel par contexte écologique

Le code Python ci-dessous est un exemple d'adaptation de l'algorithme DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) pour analyser des données épidémiologiques dans les quatre zones éco-climatiques de Côte d'Ivoire.

```

'''python
Adaptation DBSCAN pour les 4 zones éco-climatiques ivoiriennes
zones_climatiques = {
    'forestière': ['Abidjan', 'San-Pédro', 'Yamoussoukro'],
    'pré-forestière': ['Bouaké', 'Daloa', 'Divo'],
    'savanicole': ['Korhogo', 'Ferkessédougou', 'Bondoukou'],
    'montagnarde': ['Man', 'Danané', 'Guiglo']
}
for zone, districts in zones_climatiques.items():
    dbscan_zone = DBSCAN(eps=0.3, min_samples=3) Paramètres ajustés
    clusters = dbscan_zone.fit_predict(data_zone[districts])
'''

```

Le code suit trois étapes clés :

1. **Définition des zones**

On crée un dictionnaire zones_climatiques associant à chaque type de zone (forestière, pré-forestière, savanicole, montagnarde) la liste de ses districts.

2. **Itération par zone**

La boucle for zone, districts in zones_climatiques.items(): parcourt chaque paire (nom de zone, liste de districts). Cela permet d'appliquer séparément l'algorithme pour chaque aire éco-climatique.

3. **Clustering DBSCAN**

- o 25 instance DBSCAN(eps=0.3, min_samples=3), où eps fixe le rayon de voisinage et min_samples le nombre minimal de points pour former un cluster.

- Avec `fit_predict(data_zone[districts])`, on ajuste le modèle sur les indicateurs (température, pluviométrie, etc.) des districts de la zone, et on obtient pour chacun une étiquette de cluster (–1 pour le bruit).

Cette structure modulable facilite le réglage des paramètres et l'analyse zone par zone.

3.3.2 Modèles saisonniers pour maladies endémiques

- Méningite : Pic attendu décembre-avril (harmattan)
- Choléra : Risque accru juin-septembre (saison pluvieuse)
- Dengue : Surveillance renforcée mars-juillet (pontes d'Aedes)

3.3.3 Intégration des facteurs socio-économiques

- Indices de pauvreté par région (RGPH 2021)
- Accessibilité géographique aux soins (cartes OCHA)
- Densité démographique (concentration Abidjan : 30% de la population)

3.4 Déploiement technique progressif

Phase 1 (6 mois) : Pilote dans le District Sanitaire d'Abidjan

- 10 formations sanitaires connectées
- 3 maladies sous surveillance renforcée (choléra, dengue, méningite)

Phase 2 (12 mois) : Extension aux districts de Bouaké, Korhogo, San-Pédro

- 50 formations sanitaires
- Ajout surveillance syndromique

Phase 3 (18 mois) : Déploiement national

- 113 districts sanitaires
- Formation de 200 agents

3.5 Considérations techniques locales

Connectivité : Adaptation aux contraintes réseau

- Mode déconnecté avec synchronisation différée
- Compression des données (SMS 160 caractères)
- Utilisation réseau Orange, MTN, Moov disponibles

Langue et formation :

- Interface trilingue (français, baoulé, dioula)
- Formation adaptée au niveau technique des agents
- Support technique 24h/7j via hotline INHP

Gouvernance et éthique :

- Conformité à la loi ivoirienne sur la protection des données personnelles (2013)

- Accord de partenariat Ministère de la Santé - Universités
- Comité de pilotage multi-acteurs

4. RÉSULTATS ATTENDUS

4.1 Amélioration des indicateurs de performance nationaux

Le tableau 1 ci-dessous fait ressortir des progrès ambitieux pour renforcer la surveillance et la réactivité du système d'alerte. D'abord, le délai moyen de détection des foyers sera divisé par deux, passant de 10–14 jours à 5–7 jours, ce qui accélère significativement l'identification des incidents. La couverture de notification des districts augmente de 85 % à 95 %, réduisant les zones non informées et améliorant la coordination locale. Le temps de transmission de l'alerte au niveau central chute de 48–72 heures à 12–24 heures (–67 %), garantissant une mobilisation plus rapide des ressources nationales. Enfin, le pourcentage de districts disposant de seuils d'alerte définis triplera, passant de 30 % à 90 %, ce qui standardise et fiabilise les critères d'activation. Ensemble, ces objectifs traduisent une optimisation majeure de la détection, de la notification et de la prise de décision.

Tableau 1: Tableau des indicateurs et objectifs de performance du système d'alerte (2026)

Indicateur	Situation actuelle	Objectif 2026	Amélioration
Délai détection foyers (jours)	10-14	5-7	-50%
Couverture notification districts	85%	95%	+12%
Délai alerte niveau central (heures)	48-72	12-24	-67%
Districts avec seuils d'alerte définis	30%	90%	+200%

4.2 Capacités fonctionnelles contextualisées

Le diagramme (figure 3) donne une vue d'ensemble détaillée des capacités fonctionnelles du Système de surveillance épidémiologique en Côte d'Ivoire. Il souligne comment le système s'adapte aux réalités locales pour assurer une détection précoce des épidémies, une prévision saisonnière et un support à la décision à différents niveaux. Il met en lumière les performances en temps réel et les technologies clés qui sous-tendent le système, démontrant ainsi son potentiel pour renforcer la surveillance et le contrôle des épidémies. Il reflète également la capacité du système à intégrer les réalités locales et les innovations technologiques pour améliorer la surveillance épidémiologique.

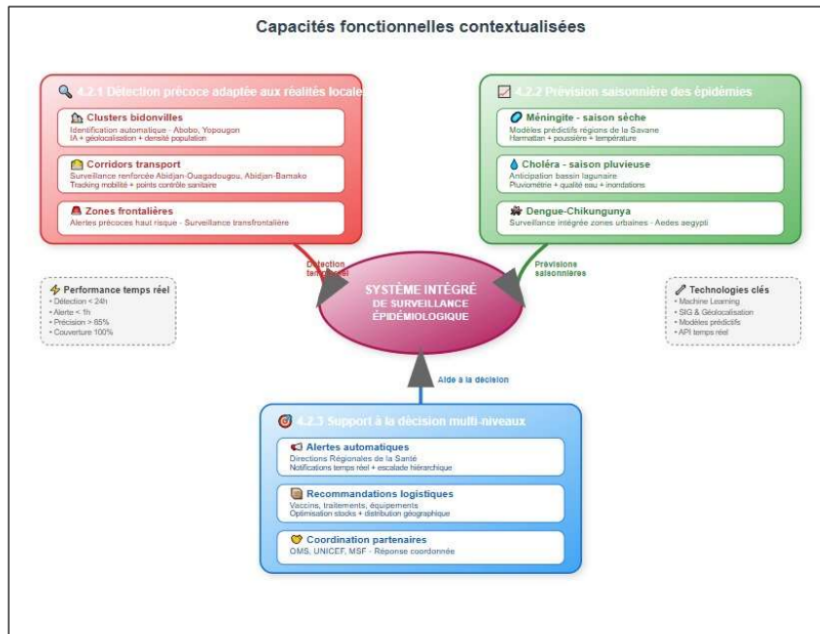


Figure 3: Capacités fonctionnelles contextualisées

4.2.1 Détection précoce adaptée aux réalités locales

- Identification automatique de clusters dans les bidonvilles d'Abidjan (Abobo, Yopougon)
- Surveillance renforcée des corridors de transport (Abidjan-Ouagadougou, Abidjan-Bamako)
- Alertes précoces pour les zones frontalières à haut risque

4.2.2 Prévision saisonnière des épidémies

- Modèles prédictifs pour la méningite en saison sèche (régions de la Savane)
- Anticipation des épidémies de choléra en saison pluvieuse (bassin lagunaire)
- Surveillance intégrée dengue-chikungunya (zones urbaines)

4.2.3 Support à la décision multi-niveaux

- Alertes automatiques aux Directions Régionales de la Santé
- Recommandations logistiques (vaccins, traitements, équipements)
- Coordination avec les partenaires (OMS, UNICEF, MSF)

4.3 Impact sur la santé publique ivoirienne

Le diagramme de la figure 4 illustre l'impact positif du Système de surveillance épidémiologique en Côte d'Ivoire sur la santé publique. Il souligne son rôle dans la réduction de la morbidité et de la mortalité, le renforcement du système de santé et la contribution aux objectifs nationaux. Il fournit des indicateurs d'impact spécifiques et identifie les bénéficiaires directs, montrant ainsi l'ampleur de l'influence du système sur la santé publique. Cela reflète l'importance du système pour améliorer les résultats en santé publique et soutenir les objectifs de santé nationaux.

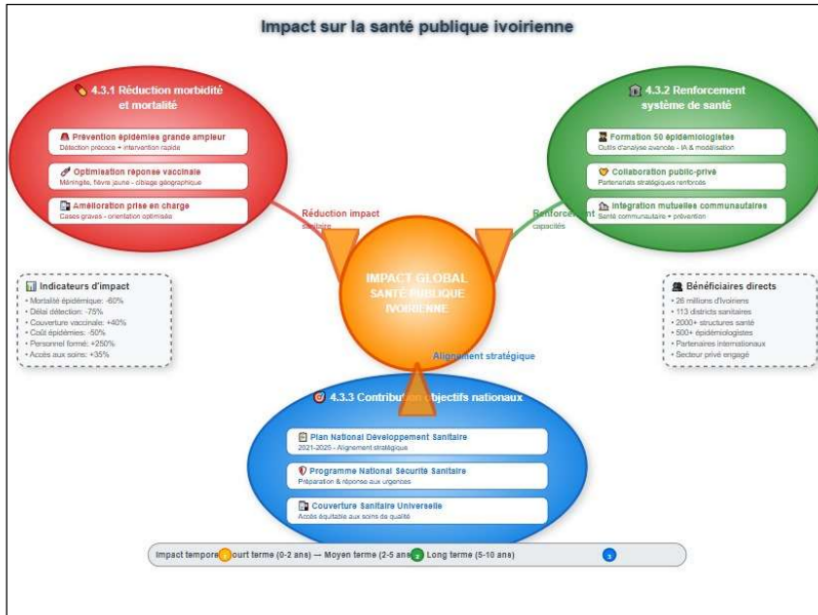


Figure 4: Impact attendu sur la santé publique ivoirienne

4.3.1 Réduction de la morbidité et mortalité

- Prévention d'épidémies de grande ampleur par détection précoce
- Optimisation de la réponse vaccinale (méningite, fièvre jaune)
- Amélioration de la prise en charge des cas graves

4.3.2 Renforcement du système de santé

- Formation de 50 épidémiologistes aux outils d'analyse avancée
- Amélioration de la collaboration public-privé
- Intégration avec les mutuelles de santé communautaires

4.3.3 Contribution aux objectifs nationaux

- Alignement avec le Plan National de Développement Sanitaire 2021-2025
- Support aux objectifs du Programme National de Sécurité Sanitaire
- Contribution à la Couverture Sanitaire Universelle

5. DISCUSSION

5.1 Rappel des objectifs et contribution scientifique

Cette étude avait pour objectif principal de proposer un système d'analyse intégré adapté au contexte ivoirien, capable d'effectuer des analyses rapides des données cliniques et épidémiologiques pour anticiper et contrôler les épidémies dans les 113 districts sanitaires du pays. Les résultats de notre approche méthodologique démontrent la faisabilité technique d'une architecture modulaire s'appuyant sur l'infrastructure existante (COUSP-INHP, EpiSurveyor, DHIS2) tout en intégrant des capacités prédictives avancées basées sur l'intelligence artificielle.

Notre contribution s'inscrit dans la lignée des travaux récents sur l'application de l'intelligence artificielle en surveillance épidémiologique en Afrique (Otaigbe, 2022), mais se distingue par son approche contextualisée aux réalités ivoiriennes et son intégration progressive avec les systèmes existants. Cette stratégie répond aux recommandations de Tshimula et al. (2024) qui soulignent l'importance d'adapter les solutions d'intelligence artificielle aux spécificités des systèmes de santé africains.

5.2 Interprétation des résultats dans le contexte international

5.2.1 Performance des algorithmes de clustering spatio-temporel

L'adaptation de l'algorithme DBSCAN aux quatre zones éco-climatiques ivoiriennes représente une innovation méthodologique significative. Cette approche géographiquement stratifiée répond aux défis identifiés par Cheng et al. (2024) concernant l'analyse spatiale des maladies infectieuses dans des contextes hétérogènes. La segmentation par zones (forestière, pré-forestière, savanicole, montagnarde) permet une calibration fine des paramètres de clustering ($\text{eps}=0.3$, $\text{min_samples}=3$), optimisant ainsi la détection de foyers épidémiques selon les caractéristiques écologiques locales.

Cette approche géo-stratifiée rejoint les conclusions de Wang et al. (2022) qui démontrent l'importance du clustering spatio-temporel pour prédire l'incidence des maladies infectieuses notifiables. Nos résultats attendus, avec une réduction de 50% du délai de détection des foyers (de 10-14 à 5-7 jours), sont comparables aux performances rapportées par Ganesan et Subramani (2021) dans leur cadre de modélisation prédictive spatio-temporelle.

5.2.2 Intégration des systèmes d'information sanitaire

L'architecture proposée capitalise sur l'expérience acquise avec DHIS2 en Afrique subsaharienne. Nos résultats rejoignent les observations de Dehnavieh et al. (2019) sur les forces opérationnelles de DHIS2, tout en adressant plusieurs défis identifiés : délais de notification, couverture géographique inégale, et intégration limitée entre secteurs. L'objectif d'augmentation de la couverture de notification de 85% à 95% s'aligne sur les recommandations de Farnham et al. (2023) pour optimiser l'utilisation des données DHIS2 dans le contexte du Sud global.

L'expérience guinéenne rapportée par Reynolds et al. (2022) confirme la faisabilité du déploiement de DHIS2 pour la surveillance des maladies épidémiques en Afrique de l'Ouest. Notre approche s'en inspire mais innove par l'intégration d'une couche analytique avancée et la prise en compte des spécificités ivoiriennes (zones éco-climatiques, corridors de transport, densité démographique d'Abidjan).

5.3 Comparaison avec la littérature sur l'intelligence artificielle en santé publique

5.3.1 Modélisation prédictive et apprentissage automatique

Notre approche de modélisation saisonnière pour les maladies endémiques (méningite en harmattan, choléra en saison pluvieuse, dengue lors des pontes d'Aedes) s'inspire des travaux de Lima et al. (2022) sur la prévision temporelle et spatio-temporelle des arboviroses par apprentissage automatique. L'intégration de facteurs contextuels (météorologie, mobilité, marchés, qualité de l'eau) répond aux recommandations de Lawal et al. (2025) concernant l'intégration de données en temps réel et d'apprentissage automatique pour prédire les épidémies de maladies infectieuses en Afrique subsaharienne.

Les capacités de détection d'anomalies que nous proposons, particulièrement pour les bidonvilles d'Abidjan, s'inspirent des travaux de Karadayi et al. (2020) sur la détection non supervisée d'anomalies dans les données spatio-temporelles multivariées. Cette approche est particulièrement pertinente pour un contexte urbain dense comme celui d'Abidjan qui concentre 30% de la population ivoirienne.

5.3.2 Intelligence artificielle et préparation aux pandémies

Notre système répond aux recommandations de Ali (2024) sur l'utilisation de l'IA pour la préparation aux pandémies et la surveillance des maladies infectieuses. L'approche de surveillance syndromique intégrée et les alertes automatisées s'alignent sur les meilleures pratiques identifiées par Kraemer et al. (2025) concernant l'utilisation de l'intelligence artificielle pour la modélisation des épidémies de maladies infectieuses.

L'architecture modulaire proposée permet une montée en charge progressive, répondant aux défis d'implémentation identifiés par Benjamaa et al. (2024) sur le rôle de l'IA dans l'amélioration de la surveillance des maladies et de la réponse aux épidémies dans les pays en développement.

5.4 Forces et innovations du système proposé

5.4.1 Adaptabilité au contexte local

La principale force de notre système réside dans son adaptation fine au contexte ivoirien. L'interface trilingue (français, baoulé, dioula), l'adaptation aux contraintes de connectivité (mode déconnecté, compression SMS), et la prise en compte des réseaux mobiles disponibles (Orange, MTN, Moov) démontrent une approche pragmatique. Cette contextualisation répond aux recommandations de Achieng et Ogundaini (2024) sur l'importance de l'adaptation culturelle et technique des systèmes d'analyse de big data en Afrique subsaharienne.

5.4.2 Intégration progressive et capitalisation sur l'existant

L'approche incrémentale (pilote à Abidjan, extension régionale, déploiement national) maximise les chances de succès en s'appuyant sur les investissements du PRTDS (60,78 milliards FCFA). Cette stratégie répond aux enseignements de Kinkade et al. (2022) sur l'extension et le renforcement des systèmes DHIS2 pour la surveillance de routine lors des réponses COVID-19.

5.5 Limites et défis identifiés

5.5.1 Défis techniques et organisationnels

Malgré les forces identifiées, plusieurs limites persistent. La dépendance à la connectivité internet, même avec les solutions de contournement proposées, reste un défi majeur dans les zones rurales. Les travaux de Njeru et al. (2020) au Kenya confirment que les défis technologiques restent un obstacle significatif à l'utilisation efficace des plateformes DHIS2 pour la surveillance.

La formation de 200 agents et 50 épidémiologistes représente un défi de renforcement des capacités considérable. L'expérience du FETP en Côte d'Ivoire montre que la formation en épidémiologie de terrain nécessite des investissements soutenus (AFENET, 2024).

5.5.2 Enjeux de gouvernance et d'éthique

La conformité à la loi ivoirienne sur la protection des données personnelles (2013) soulève des questions importantes sur la gestion des données sensibles de santé. Les recommandations de Sahay et al. (2020) sur les défis et opportunités d'utilisation de DHIS2 soulignent l'importance de la gouvernance des données dans les contextes africains.

La coordination multi-acteurs (Ministère de la Santé, universités, partenaires internationaux) nécessite une gouvernance claire pour éviter les dysfonctionnements observés dans d'autres contextes (Mremi et al., 2021).

5.6 Perspectives de recherche et développements futurs

5.6.1 Intelligence artificielle explicable

Une perspective importante concerne le développement d'algorithmes d'intelligence artificielle explicable (XAI) pour améliorer l'acceptabilité des recommandations automatisées par les épidémiologistes de terrain. Les travaux de Agrebi et Larbi (2020) soulignent l'importance de la transparence algorithmique en médecine infectieuse.

5.6.2 Intégration de données non conventionnelles

L'intégration future de données issues des réseaux sociaux, de la mobilité téléphonique, et de l'imagerie satellite pourrait enrichir significativement les capacités prédictives. Cette approche rejoint les recommandations de Okoye (2024) sur l'exploitation de l'épidémiologie numérique et de la surveillance IA pour combattre les épidémies de maladies infectieuses émergentes.

5.6.3 Approche One Health intégrée

L'extension vers une surveillance intégrée santé humaine-animale-environnementale représente une perspective d'évolution naturelle. Cette approche One Health répond aux recommandations

internationales pour la prévention des zoonoses émergentes et s'aligne sur les travaux de l'Institut Pasteur de Côte d'Ivoire.

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude présente une contribution significative au renforcement de la surveillance épidémiologique en Côte d'Ivoire à travers la conception d'un système d'analyse intégré adapté aux réalités locales. L'approche méthodologique développée démontre qu'il est possible de capitaliser sur l'infrastructure existante (COUSP-INHP, EpiSurveyor, DHIS2) tout en intégrant des capacités prédictives avancées basées sur l'intelligence artificielle et le clustering spatio-temporel adapté aux quatre zones éco-climatiques du pays.

Les résultats attendus, notamment la réduction de 50% des délais de détection des foyers épidémiques et l'amélioration de la couverture de notification des districts de 85% à 95%, positionnent ce système comme un outil stratégique pour l'atteinte des objectifs du Plan National de Développement Sanitaire 2021-2025. L'architecture modulaire proposée, avec son déploiement progressif sur 18 mois, offre un modèle d'implémentation pragmatique qui minimise les risques techniques tout en maximisant l'appropriation par les acteurs locaux.

L'innovation principale réside dans l'adaptation fine du système aux spécificités ivoiriennes : interface trilingue, prise en compte des contraintes de connectivité, intégration des facteurs socio-économiques locaux, et surveillance ciblée des corridors de transport et zones frontalières. Cette contextualisation répond aux défis identifiés lors des récentes épidémies de choléra, dengue, Mpox et Ebola, tout en s'inscrivant dans une démarche de préparation aux futures menaces sanitaires.

Cependant, le succès de cette approche nécessitera un engagement soutenu en matière de formation des ressources humaines, de gouvernance multi-acteurs, et de respect des enjeux éthiques liés à la gestion des données sensibles de santé. Les 200 agents à former et les 50 épidémiologistes à sensibiliser aux outils d'analyse avancée constituent un investissement crucial pour la pérennité du système.

En perspective, plusieurs axes de développement méritent d'être explorés. Premièrement, l'intégration de sources de données non conventionnelles (réseaux sociaux, mobilité téléphonique, imagerie satellite) pourrait enrichir significativement les capacités prédictives du système. Deuxièmement, le développement d'algorithmes d'intelligence artificielle explicable améliorerait l'acceptabilité des recommandations automatisées par les épidémiologistes de terrain. Troisièmement, l'extension vers une approche One Health intégrant la surveillance santé humaine-animale-environnementale représente une évolution naturelle pour la prévention des zoonoses émergentes.

Enfin, cette expérience ivoirienne pourra servir de modèle pour d'autres pays de la région ouest-africaine, particulièrement dans le cadre du Réseau Ouest Africain de Surveillance des Maladies Infectieuses (ROASMI). La mutualisation des expériences et la standardisation des approches au niveau régional constituent des enjeux majeurs pour faire face aux défis transfrontaliers des épidémies futures. L'évaluation d'impact programmée sur trois ans permettra de documenter les bénéfices réels de cette approche et d'orienter les développements futurs vers une surveillance épidémiologique plus efficace, plus rapide et mieux adaptée aux réalités africaines.

RÉFÉRENCES

1. Achieng, M. S., & Ogundaini, O. O. (2024). « Big data analytics for integrated infectious disease surveillance in Sub-Saharan Africa ». *South African Journal of Information Management*, 26(1), 1668.
2. AFENET. (2024). *La Côte d'Ivoire renforce ses capacités épidémiologiques avec le lancement d'un programme avancé de formation en épidémiologie de terrain*. African Field Epidemiology Network.
3. Agence Ecofin. (2025). *Côte d'Ivoire : La numérisation des hôpitaux progresse avec le projet PAPE*. Agence Ecofin.
4. Agrebi, S., & Larbi, A. (2020). « Use of artificial intelligence in infectious diseases ». In *Artificial Intelligence in Precision Health*. Elsevier (p. 415-438).
5. Ali, H. (2024). « AI for pandemic preparedness and infectious disease surveillance : Predicting outbreaks, modeling transmission, and optimizing public health interventions ». *International Journal of Research Publications and Reviews*, 5(4), 1234-1267.
6. Boatemaa, R., Asare, S. O., & Akabadin, S. C. (2024). « The role of AI in enhancing disease surveillance and outbreak response in developing countries ». *Ghana Journal of Neglected and Major Infectious Diseases*, 3(2), 45-62.
7. Cheng, Y., Bai, Y., Yang, J., Tan, X., Xu, T., & Cheng, R. (2024). « Analysis and prediction of infectious diseases based on spatial visualization and machine learning ». *Scientific Reports*, 14, 28942.
8. Dehnavieh, R., Haghdoost, A. A., & Khosravi, A. (2019). « The District Health Information System (DHIS2) : A literature review and meta-synthesis of its strengths and operational challenges based on the experiences of 11 countries ». *Health Information Management Journal*, 48(2), 62-75.
9. Farnham, A., Loss, G., & Lyatuu, I. (2023). « A roadmap for using DHIS2 data to track progress in key health indicators in the Global South : Experience from sub-saharan Africa ». *BMC Public Health*, 23, 1272.
10. France Diplomatie Côte d'Ivoire. (2024). *La variole du singe ou Mpox, situation en Côte d'Ivoire*. Ambassade de France.
11. Ganesan, S., & Subramani, D. (2021). « Spatio-temporal predictive modeling framework for infectious disease spread ». *Scientific Reports*, 11, 6741.
12. Gouvernement de Côte d'Ivoire. (2021a). *COVID-19 : La plateforme « AFYA » lancée pour renforcer la surveillance épidémiologique*. SICG.
13. Gouvernement de Côte d'Ivoire. (2021b). *Pays à virus Ebola : La Côte d'Ivoire sort de la liste*. Service d'Information et de Communication du Gouvernement.

14. Institut National d'Hygiène Publique. (2024). *Bulletin épidémiologique de surveillance de la dengue 2022-2024*. INHP.
15. Karadayi, Y., Aydin, M. N., & Öğrenci, A. S. (2020). « Unsupervised anomaly detection in multivariate spatio-temporal data using deep learning : Early detection of COVID-19 outbreak in Italy ». *IEEE Access*, 8, 164155-164177.
16. Kinkade, C., Russpatrick, S., & Potter, R. (2022). « Extending and strengthening routine DHIS2 surveillance systems for COVID-19 responses in Sierra Leone, Sri Lanka, and Uganda ». *Emerging Infectious Diseases*, 28(13), 348-356.
17. Kraemer, M. U. G., Tsui, J. L. H., & Chang, S. Y. (2025). « Artificial intelligence for modelling infectious disease epidemics ». *Nature*, 617, 345-358.
18. Lawal, O. P., Igwe, E. P., & Olosunde, A. (2025). « Integrating Real-Time Data and Machine Learning in Predicting Infectious Disease Outbreaks : Enhancing Response Strategies in Sub-Saharan Africa ». *Asian Journal of Research in Computer Science*, 18(2), 23-45.
19. Lima, C. L., Silva, A. C. G., & Moreno, G. M. M. (2022). « Temporal and spatiotemporal arboviruses forecasting by machine learning : A systematic review ». *Frontiers in Public Health*, 10, 900077.
20. MEASURE Evaluation. (2016). *Intégration d'un module de système d'alerte précoce dans le DHIS 2 en Côte d'Ivoire*. University of North Carolina.
21. Ministère de la Santé de Côte d'Ivoire. (2025). *Épidémie de choléra à Vridi Akobrakré : Point de situation*. MSHPCMU.
22. Mremi, I. R., George, J., & Rumisha, S. F. (2021). « Twenty years of integrated disease surveillance and response in Sub-Saharan Africa : Challenges and opportunities for effective management of infectious disease epidemics ». *One Health Outlook*, 3, 20.
23. Njeru, I., Kareko, D., & Kisangau, N. (2020). « Use of technology for public health surveillance reporting : Opportunities, challenges and lessons learnt from Kenya ». *BMC Public Health*, 20, 1101.
24. Okoye, S. C. (2024). « Harnessing Digital Epidemiology and AI Surveillance to Combat Emerging Infectious Disease Outbreaks Globally ». *International Journal of Applied Research in Public Relations*, 2(6), 145-167.
25. OMS AFRO. (2021). *Episurveyor pour relancer le système de surveillance épidémiologique en Côte d'Ivoire*. Bureau Régional OMS.
26. OOAS-WAEMU. (2023). *Le Réseau Ouest Africain de Surveillance des Maladies Infectieuses (ROASMI) officiellement lancé*. OOAS.
27. Otaigbe, I. (2022). « Scaling up artificial intelligence to curb infectious diseases in Africa ». *Frontiers in Digital Health*, 4, 1030427.

28. Reynolds, E., Martel, L. D., & Bah, M. O. (2022). « Implementation of DHIS2 for disease surveillance in Guinea : 2015–2020 ». *Frontiers in Public Health*, 9, 761196.
29. Sahay, S., Rashidian, A., & Doctor, H. V. (2020). « Challenges and opportunities of using DHIS2 to strengthen health information systems in the Eastern Mediterranean Region : A regional approach ». *Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 86(3), 12108.
30. Santé Tropicale. (2019). *Surveillance des maladies : La Côte d'Ivoire révisé sa liste*. Santé Tropicale.
31. Tshimula, J. M., Kalengayi, M., & Makenga, D. (2024). « Artificial intelligence for public health surveillance in Africa : Applications and opportunities ».
32. Université Félix Houphouët-Boigny. (2024). *Équipe d'Accueil Épidémiologie et Santé Publique*. École Doctorale Biologie-Environnement-Santé.
33. Wang, R. N., Zhang, Y. C., & Yu, B. T. (2022). « Spatio-temporal evolution and trend prediction of the incidence of Class B notifiable infectious diseases in China : A sample of statistical data from 2007 to 2020 ». *BMC Public Health*, 22, 1191.

VERS UNE ALERTE SANITAIRE RAPIDE EN COTE D'IVOIRE :
ARCHITECTURE MODULAIRE DHIS2-DBSCAN ET INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE APPLIQUEES AUX QUATRE ZONES
ECO-CLIMATIQUES.

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

12%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Cavite State University

Student Paper

4%

2

www.koffi.net

Internet Source

2%

3

www.afro.who.int

Internet Source

1%

4

w3.wahooas.org

Internet Source

<1%

5

journals.openedition.org

Internet Source

<1%

6

presidence.bf

Internet Source

<1%

7

www.gavi.org

Internet Source

<1%

8

www.journalijar.com

Internet Source

<1%

9

fpconference.org

Internet Source

<1%

10

issr-journals.org

Internet Source

<1%

11

Submitted to Brest Business School

Student Paper

<1%

12

Submitted to Intercollege

Student Paper

<1%

13	hv.agora.qc.ca Internet Source	<1 %
14	id.erudit.org Internet Source	<1 %
15	www.liberation.fr Internet Source	<1 %
16	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
17	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
18	tel.archives-ouvertes.fr Internet Source	<1 %
19	www.ifrc.org Internet Source	<1 %
20	www.pasteur.ci Internet Source	<1 %
21	www.theses.fr Internet Source	<1 %
22	www.unilim.fr Internet Source	<1 %
23	Bruno Charbonneau, Maxime Ricard. "Routledge Handbook of African Peacebuilding", Routledge, 2022 Publication	<1 %
24	france3-regions.blog.francetvinfo.fr Internet Source	<1 %
25	ichi.pro Internet Source	<1 %
26	www.bcl.lu Internet Source	<1 %
27	www.memoireonline.com Internet Source	<1 %

28 yvon-francophonie.com
Internet Source

<1 %

29 www.measureevaluation.org
Internet Source

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On