



Webinaire « Doctorants en géotechnique »

Zinisom Giovanni KABORÉ

Doctorant CIFRE avec l'entreprise Razel-Bec

Directrice de thèse : Myriam DUC, Chargée de recherche HDR, UGE

Encadrants :

Layella ZIYANI, Maître de conférences, UTC

Mohammed NOUALI, Enseignant-chercheur, ESTP

Omar BOUAYAD, Ingénieur géotechnicien, Razel-Bec

14 janvier 2025



ÉTUDE DU COMPORTEMENT PHYSICO-CHIMIQUE ET MÉCANIQUE DES GRAVELEUX LATÉRITIQUES TRAITÉS À L'ÉMULSION DE BITUME

Début de thèse : 1^e juin 2023

Plan de la présentation

1. Contexte et objectifs
2. État de l'art
3. Démarche expérimentale
4. Quelques résultats
5. Conclusions et perspectives
6. Références bibliographiques

1. Contexte et objectifs



Afrique : réseau routier faiblement développé (2 064 613 km)

► Réseau revêtu : 610 770 km ($\approx 29,73\%$)

► Densité du réseau

2005 : 6,84 km/100 km²

2017 : 7,59 km/100 km²

Routes en terre : $\approx 70\%$ du réseau africain

Matériau : graveleux latéritique



1. Contexte et objectifs

Défis à relever dans le domaine routier en Afrique

Mauvaises caractéristiques mécaniques des latérites



Route Taï-Guiglo, Côte d'Ivoire (Koaci, 2021)



Nyalla, Cameroun (Kaze, 2019)

Surcharge des poids lourds : 51,8 % des camions pesés



(Meyya, 2015)



(Touba, 2009)

Forte sensibilité à l'eau des sols latéritiques

1. Contexte et objectifs

Nécessité d'améliorer les caractéristiques mécaniques des graveleux latéritiques

Stabilisation par ajout de chaux hydraulique



www.gtr-tp.fr

Stabilisation par ajout de ciment



www.acit.geotechnique.com

Développement durable/transition écologique

Solution innovante :
Traitement de la latérite à l'émulsion de bitume

THÈSE : ÉTUDE DU COMPORTEMENT PHYSICO-CHIMIQUE ET
MÉCANIQUE DES GRAVELEUX LATÉRITIQUES TRAITÉS À
L'ÉMULSION DE BITUME

2. État de l'art

Latérite : processus de formation (ferralitisation)



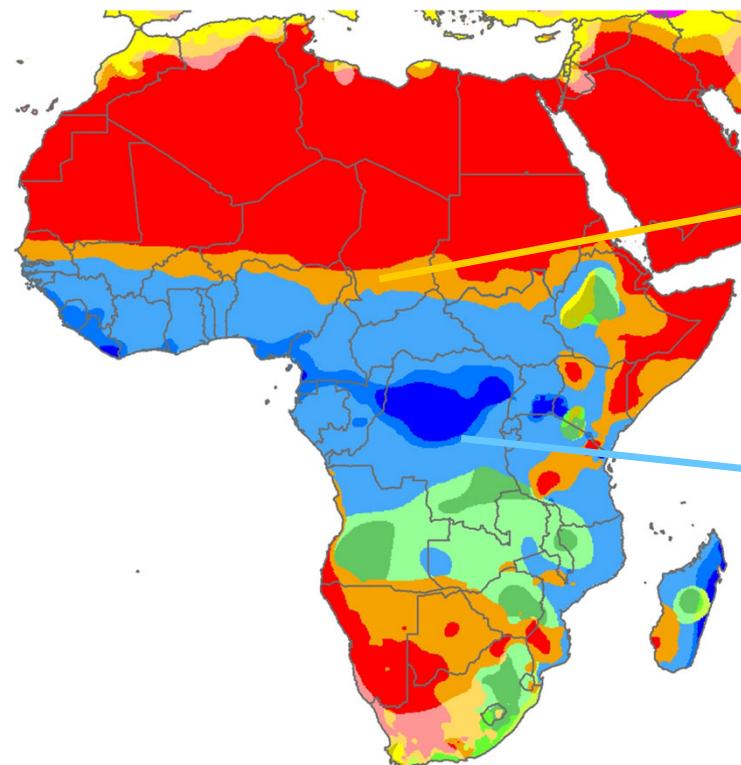
2. État de l'art

Latérite : processus de formation (ferralitisation)



2. État de l'art

Latérite : composition chimique et minéralogique



Tropical sec : Latérite ferrugineuse

Silice SiO_2	Oxyde Al_2O_3	Oxyde Fe_2O_3	Base Ca; K; Na; Mg
--------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------

Quartz, hématite, goethite, gibbsite, smectite

Tropical humide : Latérite ferralitique

Silice SiO_2	Oxyde Al_2O_3	Oxyde Fe_2O_3
--------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Quartz, hématite, goethite, gibbsite, kaolinite

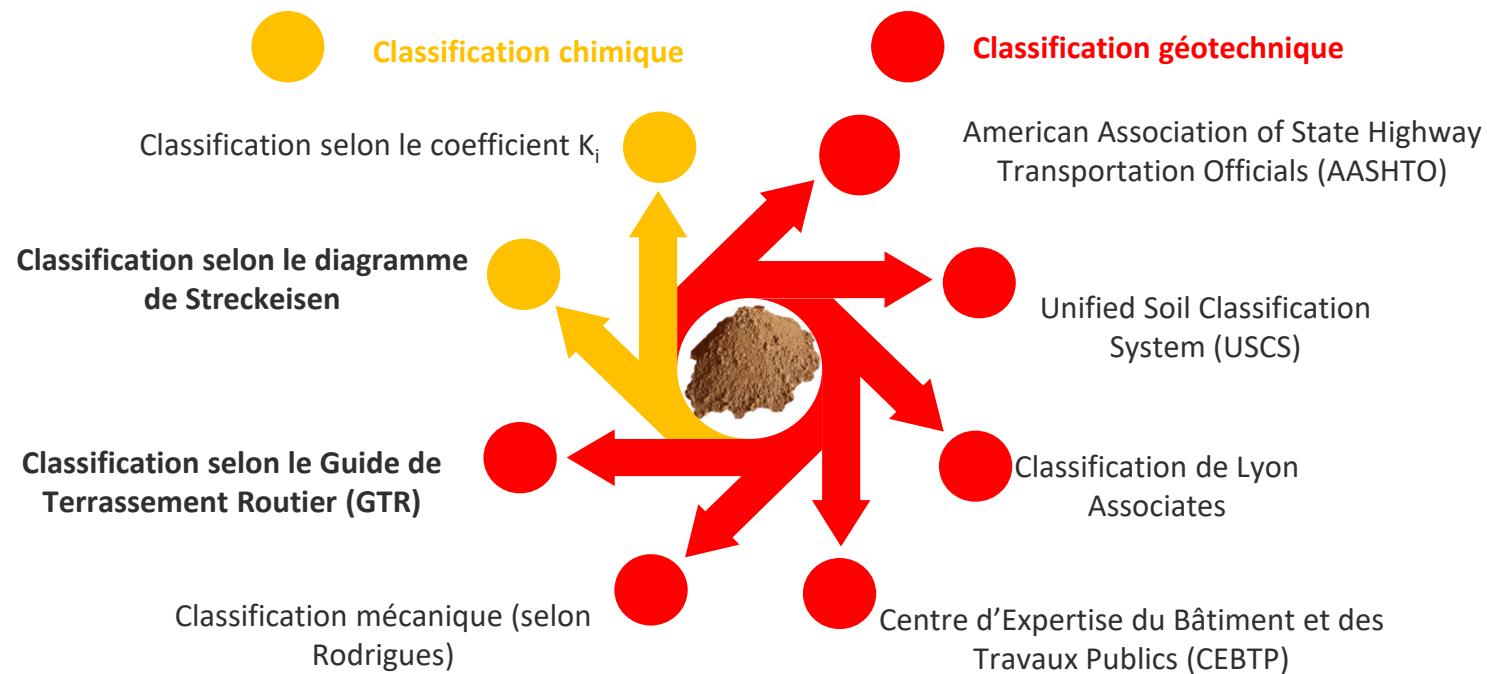


Tropical humide : Ferrisol (en profondeur)

(Legros, 2013 ; Bohi, 2010)

2. État de l'art

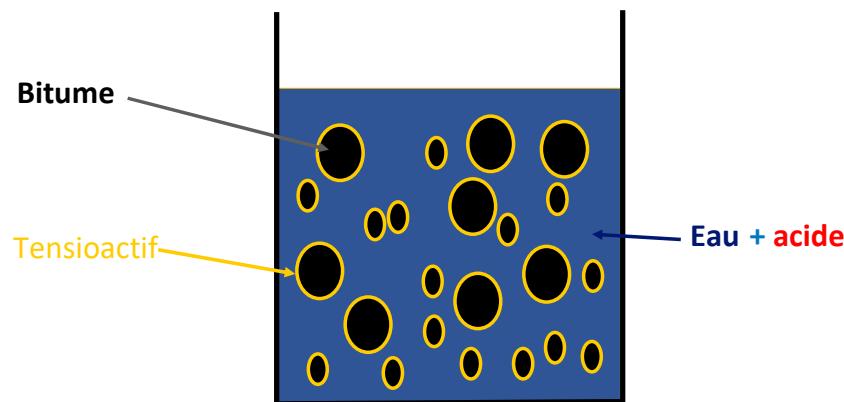
Latérite : Classification chimique et géotechnique



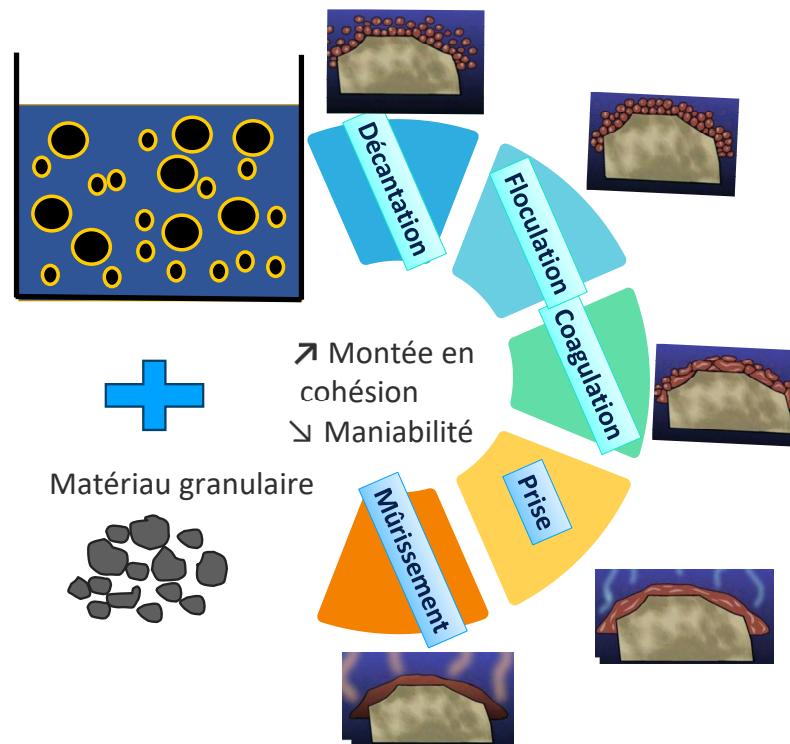
2. État de l'art

Émulsion de bitume : Définition

Dispersion de fines gouttelettes de **bitume** dans une phase **aqueuse** contenant de l'**acide** et un **tensioactif**



Émulsion de bitume : Mécanisme de rupture



Mécanismes de rupture de l'émulsion

1. Rupture par remontée de pH
2. Rupture par adsorption du tensioactif à la surface du minéral
3. Rupture par évaporation de l'eau

2. Quelles sont les questions auxquelles la thèse doit répondre ?

Traitement des graveleux latéritiques à l'émulsion de bitume



Traitement des chaussées en Afrique du Sud via l'émulsion

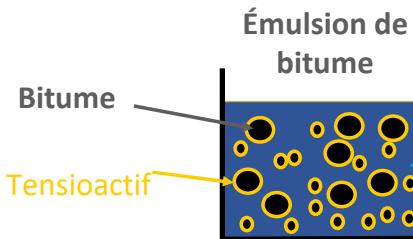
Réalisation de chantiers au Mali et en Côte d'Ivoire



RKF, Côte d'Ivoire

Bonnes performances

Graveleux latéritiques



Eau + acide



2. Quelles sont les questions auxquelles la thèse doit répondre ?

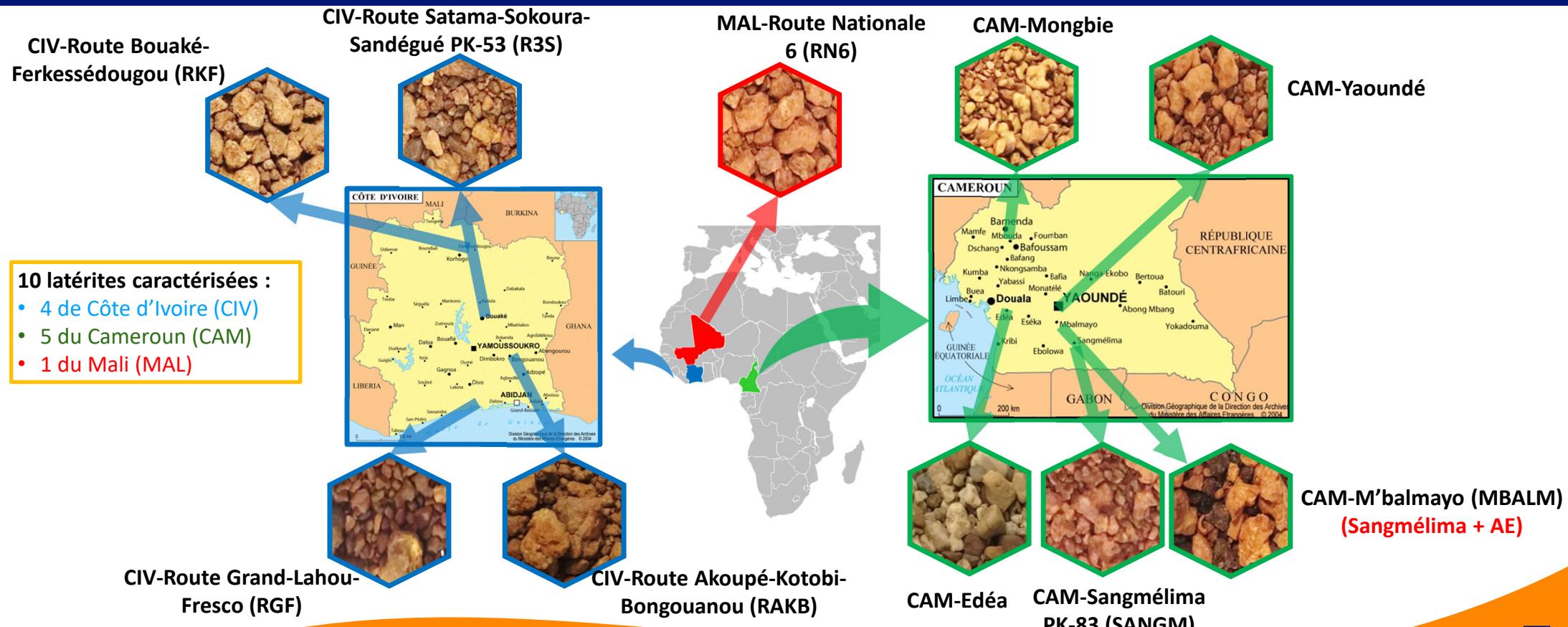
Verrous scientifiques :

- Manque de connaissances sur les phénomènes physico-chimiques régissant l'interface entre la latérite et l'émulsion
- Latérites ≠ granulats routiers => méthodes de formulation avec l'émulsion à adapter
- Latérites non répertoriées dans les catalogues de dimensionnement

Objectifs de la thèse :

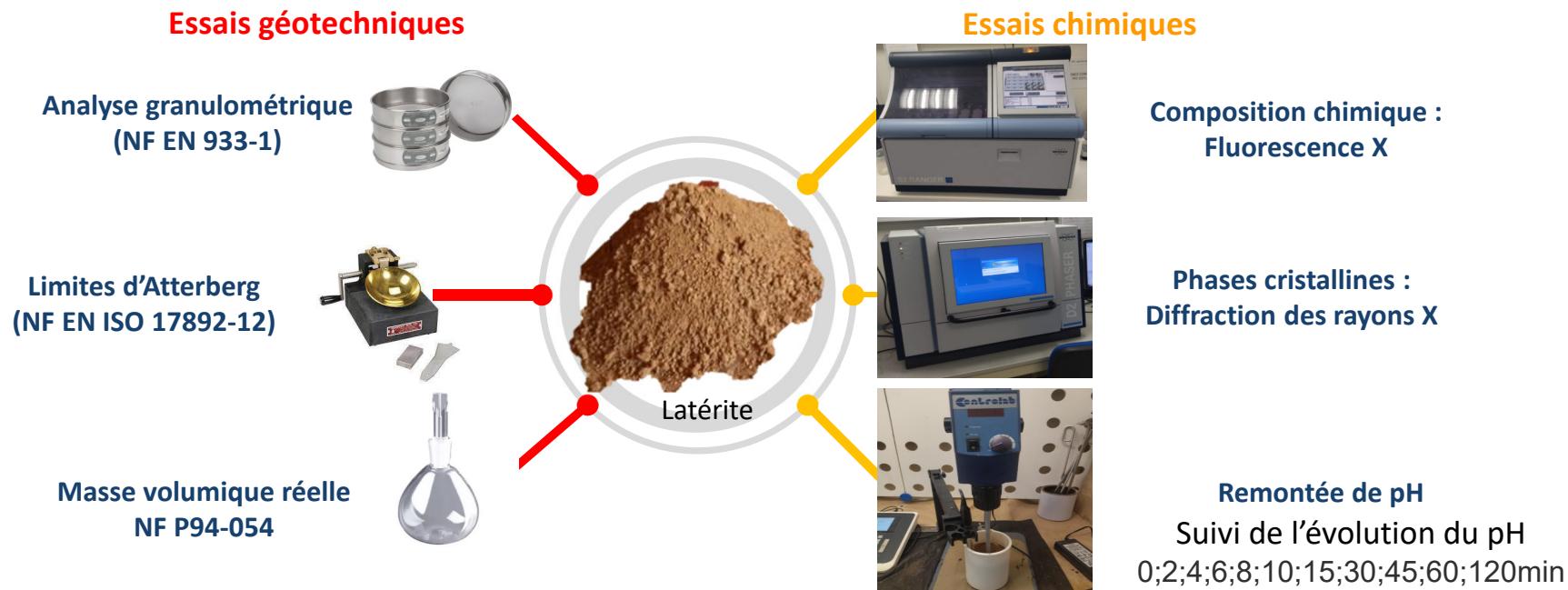
1. Évaluer les propriétés des graveleux latéritiques des chantiers africains de Razel-Bec
2. Réaliser des formulations de latérites traitées à l'émulsion de bitume
3. Caractériser mécaniquement (court/long terme) les graveleux latéritiques traités à l'émulsion
4. Analyser et interpréter les résultats et par la suite proposer des règles de dimensionnement des chaussées latéritiques traitées à l'émulsion
5. Réaliser un chantier en grandeur réelle traité à l'émulsion de bitume

3. Démarche expérimentale



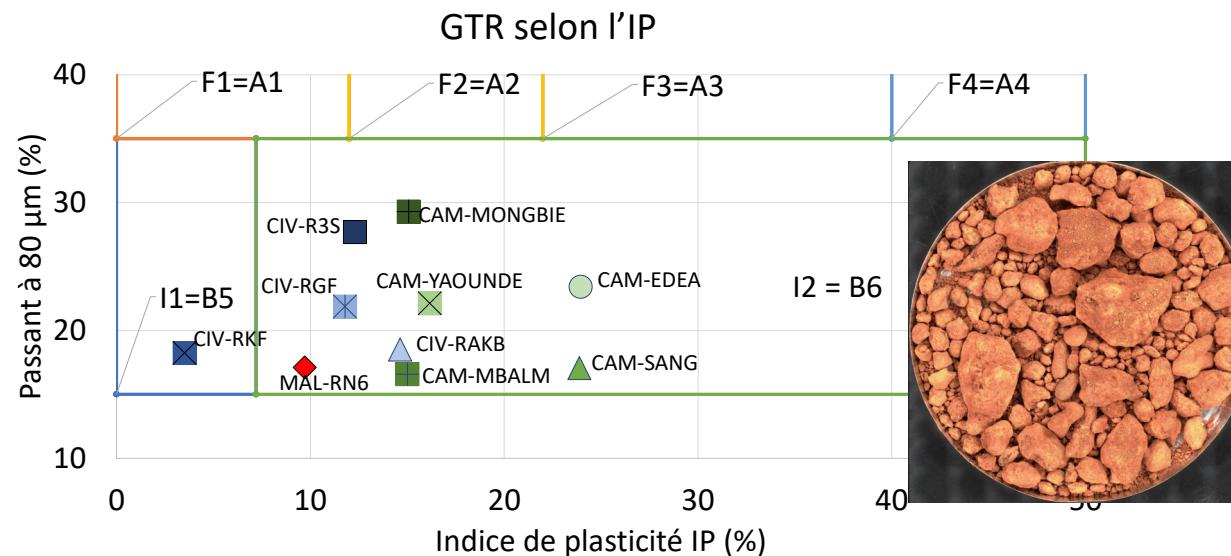
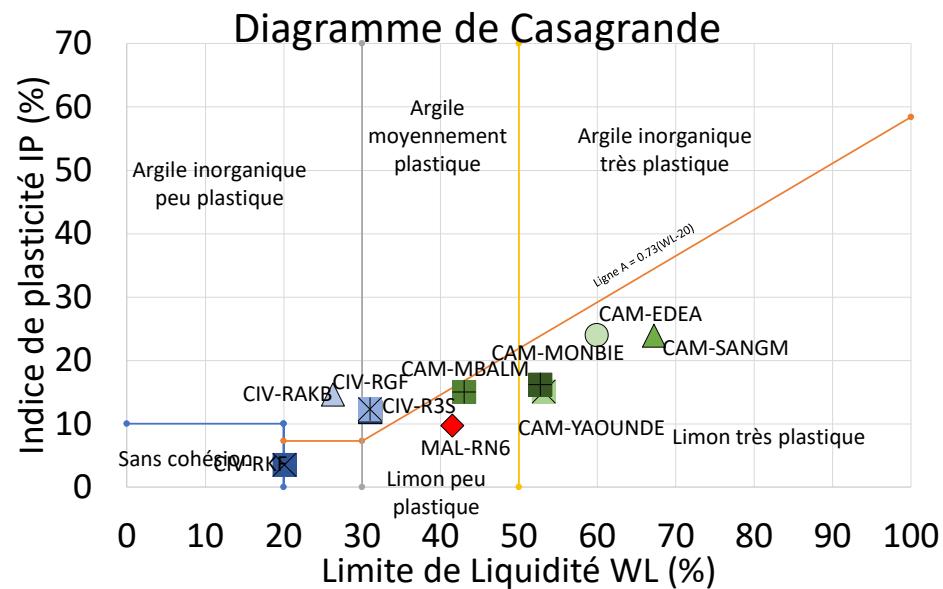
3. Démarche expérimentale

Démarche expérimentale de caractérisation



4. Quelques résultats

Classification des latérites à partir des caractéristiques géotechniques : guide de terrassement routier (GTR)

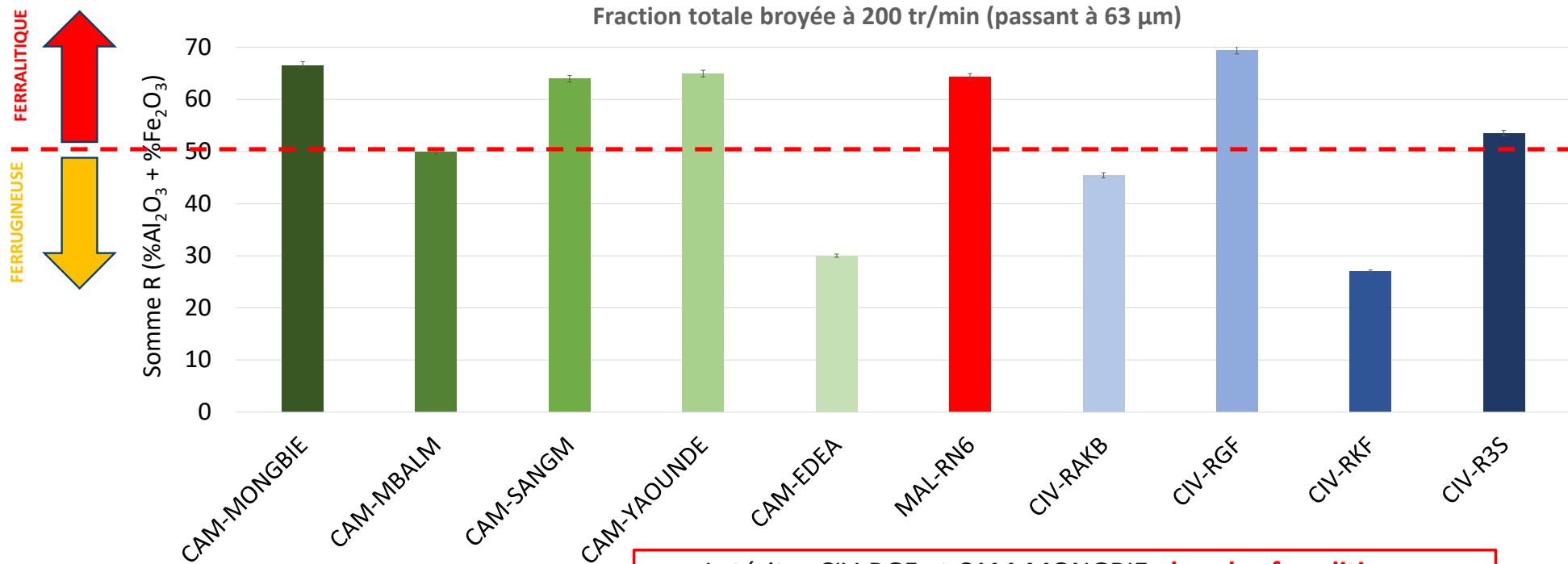


Les latérites de la Côte d'Ivoire sont argileuses et celles du Cameroun limoneuses : influence de la roche mère ou du processus de latérisation

Les latérites étudiées appartiennent à la famille des sols intermédiaires I (ex classe B). Les latérites étudiées sont donc des **graveleux latéritiques**

4. Quelques résultats

Classification des latérites à partir des caractéristiques chimiques : familles ferralitiques et ferrugineuses

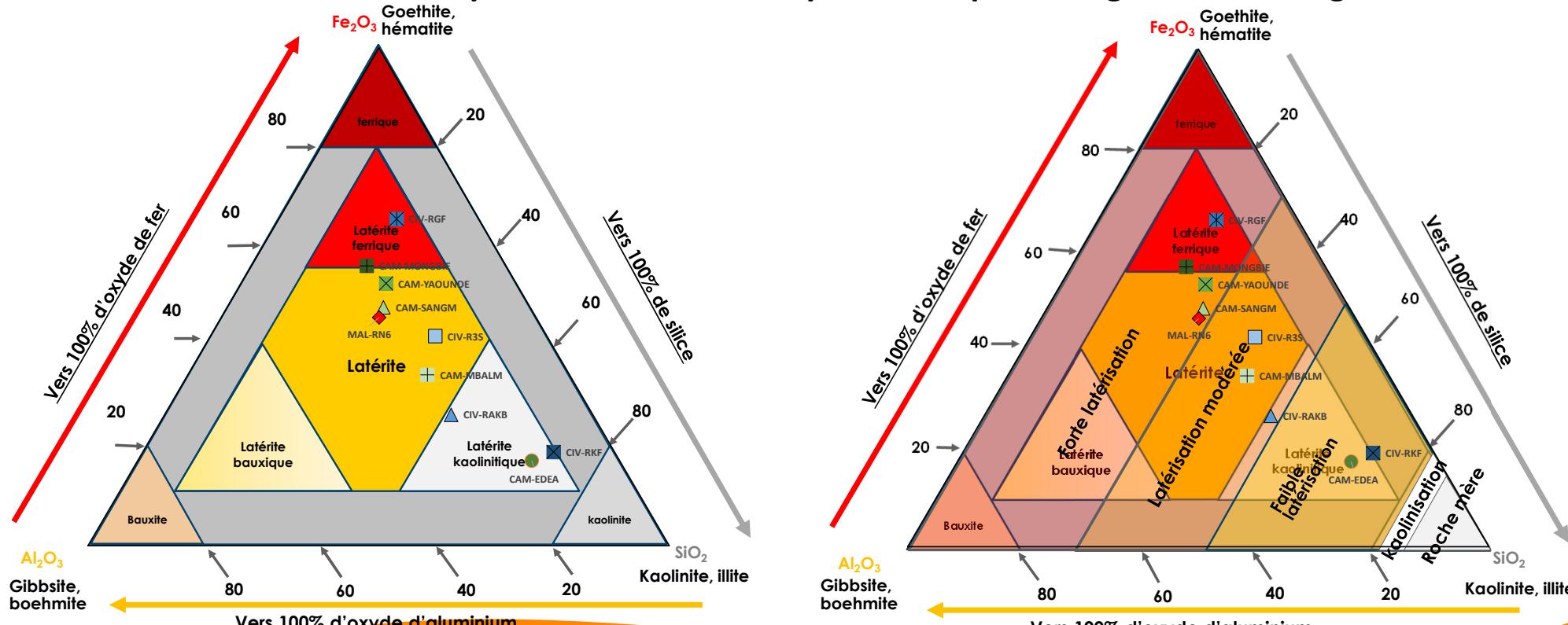


Latérites CIV-RGF et CAM-MONGBIE : **les plus ferralitiques**

Latérites CIV-RKF et CAM-EDEA : **les plus ferrugineuses**

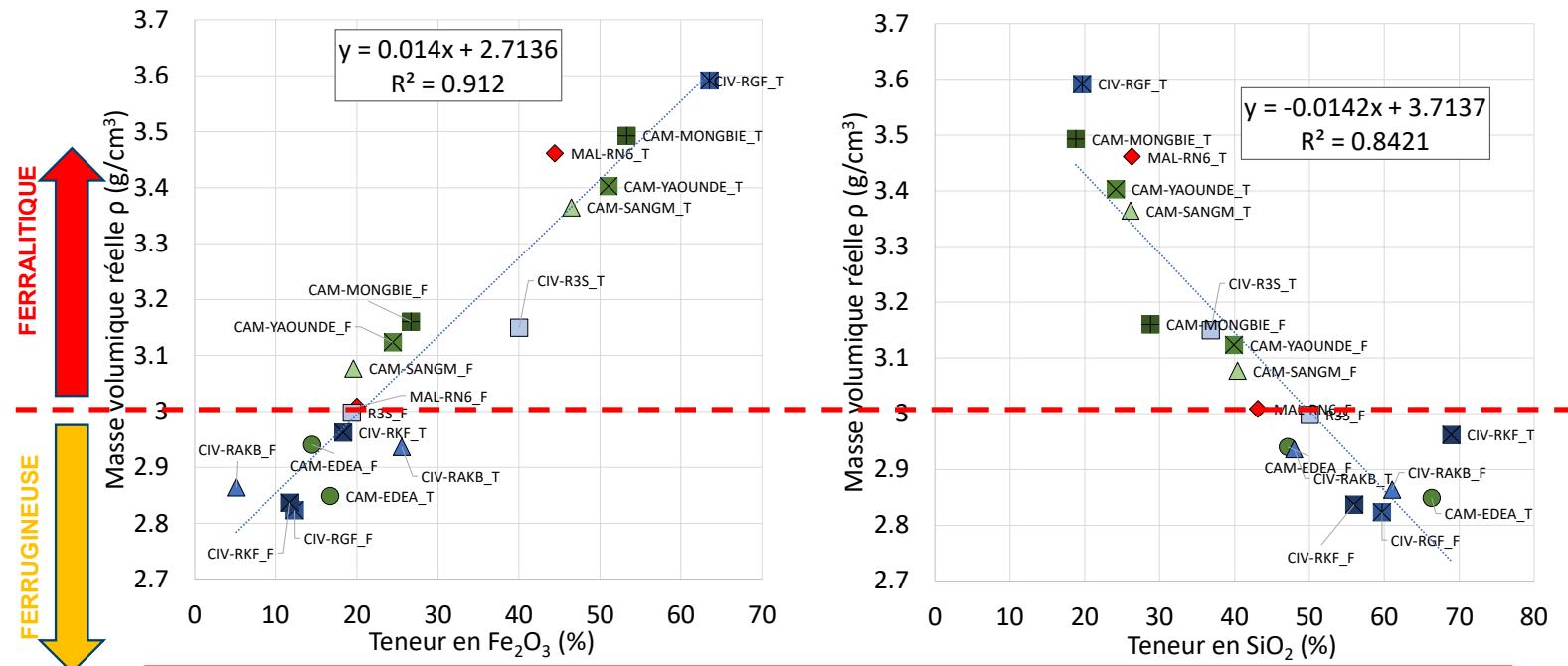
4. Quelques résultats

Classification des latérites à partir des caractéristiques chimiques : diagrammes triangulaires



4. Quelques résultats

Corrélation entre caractéristiques physico-géotechniques et chimiques



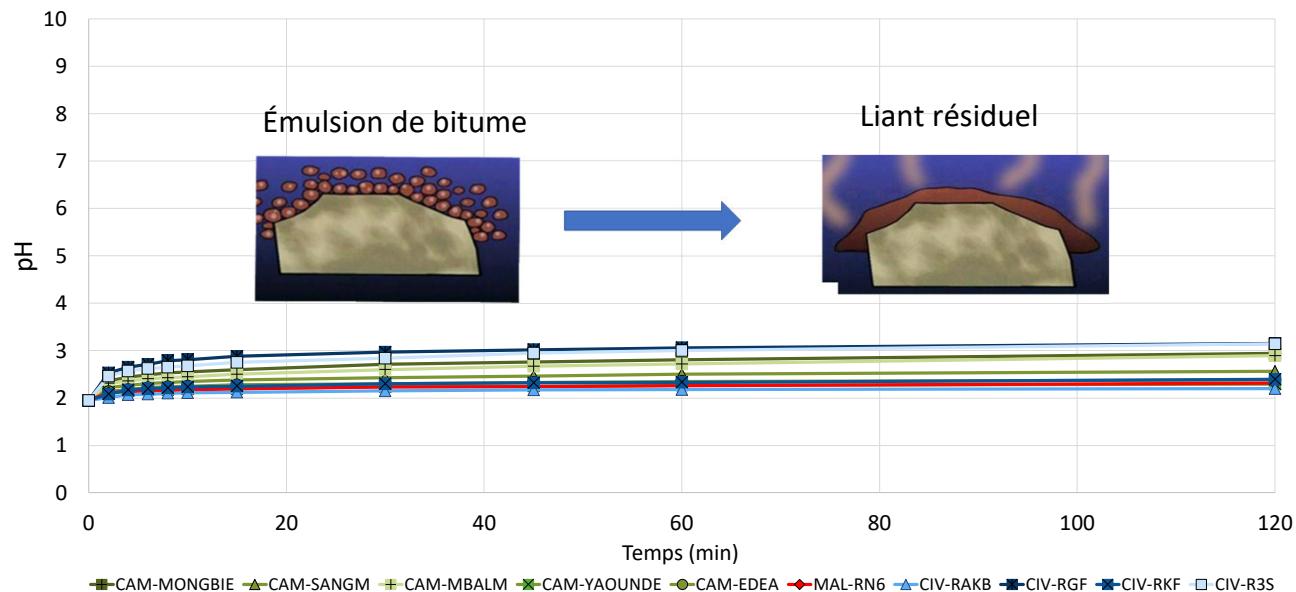
$\rho < 3 \text{ g/cm}^3 \implies$ latérites ferrugineuses ($\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 < 50\%$)

$\rho > 3 \text{ g/cm}^3 \implies$ latérites ferrallitiques ($\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$)

Estimation de la teneur des oxydes \implies prédition de la réactivité des mélanges latéritiques

4. Quelques résultats

Remontée de pH : réactivité en milieu acide pH = 2



Les latérites étudiées sont basiques au sens pétrographique ($\text{SiO}_2 < 55\%$) mais pauvres en CaO , K_2O , Na_2O , MgO , d'où la faible réactivité par rapport aux granulats de types calcaires.

La rupture de l'émulsion ne se fera pas par remontée de pH.

5. Conclusions et perspectives

Conclusions

- ▶ **Caractérisation géotechnique** : classification des latérites dans la famille I ou B - sols intermédiaires ou graveleux (classification GTR)
- ▶ **Caractérisation chimique** : classification en latérites kaoliniques, ferriques et vraies (apport d'informations supplémentaires)

Classification chimique à partir d'essais de masse volumique réelle

Réactivité vis-à-vis de l'émulsion : la rupture de l'émulsion des latérites étudiées ne se fera pas par remontée de pH

Études en cours

- ▶ Analyse texturale des fines et nodules latéritiques via la microscopie électronique à balayage
- ▶ Sensibilité des latérites à l'eau via le Crumb test
- ▶ Adsorption du tensioactif à la surface des fines latéritiques
- ▶ Étude rhéologique des mastics latéritiques
- ▶ Étude de formulation des latérites traitées à l'émulsion de bitume

Perspectives

- ▶ **Modélisation du comportement des latérites traitées à l'émulsion de bitume**
- ▶ **Réalisation d'un chantier expérimental**



Merci de votre attention !

Zinisom Giovanni KABORÉ

gkabore@estp.fr

zg.kabore@razel-bec.fayat.com

6. Références bibliographiques

- Bohi, Z. P. B. Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière: cas de la région de l'Agneby (Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat de l'Ecole des Ponts ParisTech, 2008.
- Bourrel, M., et F. Verzaro. « Mécanismes de rupture des émulsions de bitume routier: Les agents de surface ». L'Actualité chimique (Paris. 1973), no 2-3 (1996): 42-48.
- Buchanan F.H., A journey from Madras through the countries of Mysore, Canara, and Malabar, Cadell & Davies, 1807, Vol. 1
- Delage, P.; Cui, Y.-J. L'eau dans les sols non saturés. 2000
- Kalenda, G. M. Comportement des sols latéritiques compactés dans les remblais et digues de retenue des rejets miniers du Katanga (RDC); Presses universitaires de Louvain, 2014
- Karim, K.; Gomis, J. S.; Dangoura, M.; Cissé, I. Diagnostic, entraves et importance des corridors de transport routier dans le processus d'intégration régionale en Afrique de l'ouest: le cas du Sénégal et ses pays voisins. Rev. Int. Rech. Sci. Rev.-IRS 2023, 1 (2), 181–189
- Legros J.-P., Latérites et autres sols des régions intertropicales. In Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Conférence N° 4252, Séance académique du 09/12/2013. Bulletin N° 44, pp 369–382
- OCDE/CSAO (2019), « Accessibilité et infrastructures des villes frontalières », Notes ouest-africaines, No 23, Éditions OCDE, Paris
- Wyns, R.; Cornu, S.; Prognon, C. Régolithe et Sol: L'interface Entre Lithosphère et Atmosphère. Géosciences 2014, No. 18, 8–15
- Ziyani, L.; Gaudéfroy, V.; Ferber, V.; Deneele, D.; Hammoum, F. Chemical reactivity of mineral aggregates in aqueous solution: relationship with bitumen emulsion breaking. Journal of Materials Science 2014, 49 (6), 2465–2476

Webographie

- Werner 1970: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Laterite_formation_on_basalt_C_001.jpg&oldid=452374175
- Acit géotechnique: <https://acitgeotechnique.com/travaux-de-rehabilitation-et-de-renforcement-de-la-route-nationale-n-04/>
- GTR TP: <https://www.gtr-tp.fr/portfolio/traitement-sol-chaux/>
- Kaze: <http://www.cameroon-info.net/article/cameroun-yaounde-comment-les-routes-degradees-enlaidissent-la-capitale-350061.html>
- Koaci 2021: https://www.koaci.com/article/2021/10/12/cote-divoire/societe/cote-divoire-grande-oubliee-la-zone-de-tai-forte-de-ses-richesses-enclavée-et-coupee-du-reste-du-pays-dans-lantre-du-calvaire-des-populations_154592.html
- Meyya: <https://www.afrique7.com/economie/11879-cote-divoire-limpact-economique-de-la-surcharge-des-vehicules.html>
- Traoré: https://perseverance.mondoblog.org/2020/09/09/reseau-routier-desastreux-au-burkina-pendant-la-saison-pluvieuse/img_20130101_132414
- Touba 2009: <https://www.pinterest.fr/pin/408631366189419446/>