



## 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<sup>e</sup> 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 (≈ 29,73 %)

➤ Densité du réseau

2005 : 6,84 km/100 km<sup>2</sup>

2017 : 7,59 km/100 km<sup>2</sup>

Routes en terre : ≈ 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)

Forte sensibilité à l'eau des sols latéritiques

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



(Meyya, 2015)



(Touba, 2009)



# 1. Contexte et objectifs

## Nécessité d'améliorer les caractéristiques mécaniques des graveleux latéritiques

Stabilisation par ajout de chaux hydraulique



[www.gtr-tp.fr](http://www.gtr-tp.fr)

Stabilisation par ajout de ciment



[www.acit-geotechnique.com](http://www.acit-geotechnique.com)

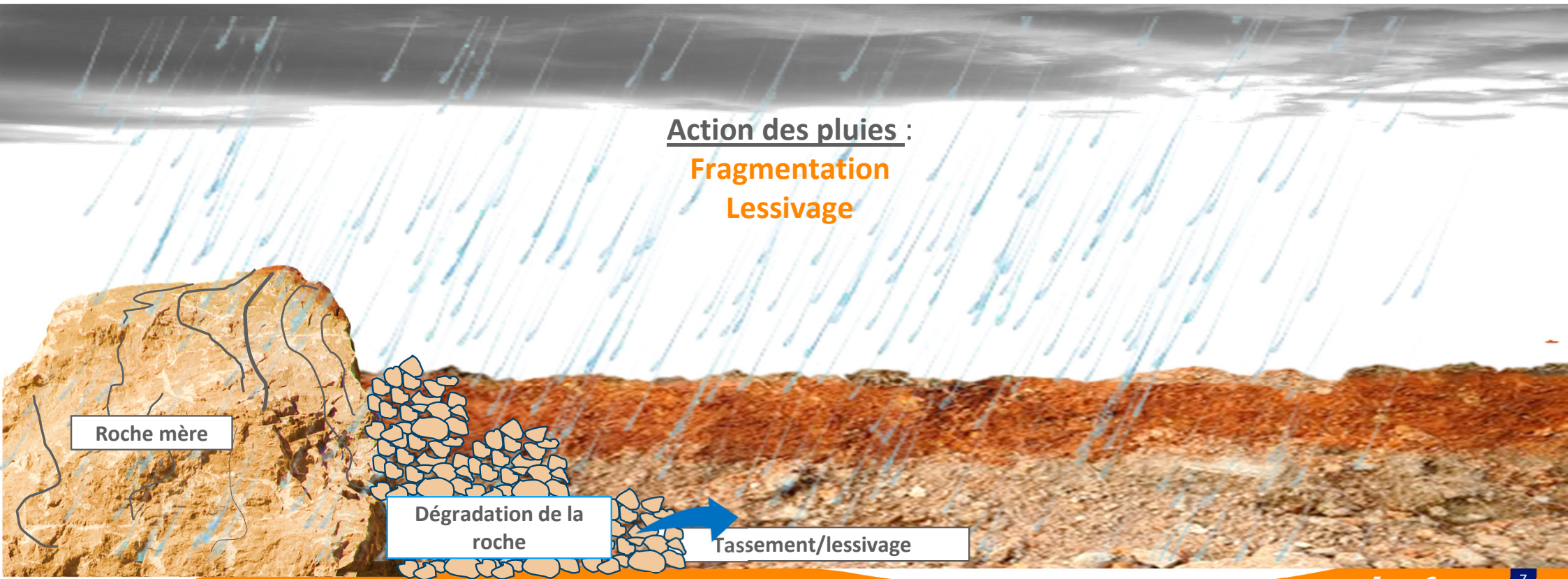
**Développement durable/transition  
écologique**

**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

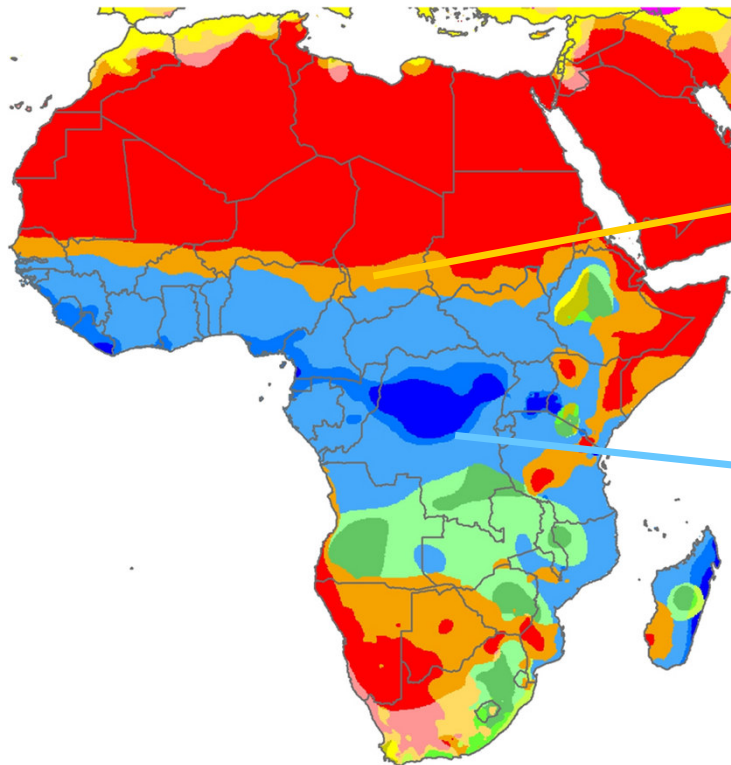
**Latérite : processus de formation (ferralitisation)**





## 2. État de l'art

### Latérite : composition chimique et minéralogique



#### Tropical sec : Latérite ferrugineuse

Silice $\text{SiO}_2$	Oxyde $\text{Al}_2\text{O}_3$	Oxyde $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Base Ca; K; Na; Mg
--------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------

Quartz, hématite, goethite, gibbsite, smectite

#### Tropical humide : Latérite ferrallitique

Silice $\text{SiO}_2$	Oxyde $\text{Al}_2\text{O}_3$	Oxyde $\text{Fe}_2\text{O}_3$
--------------------------	----------------------------------	----------------------------------

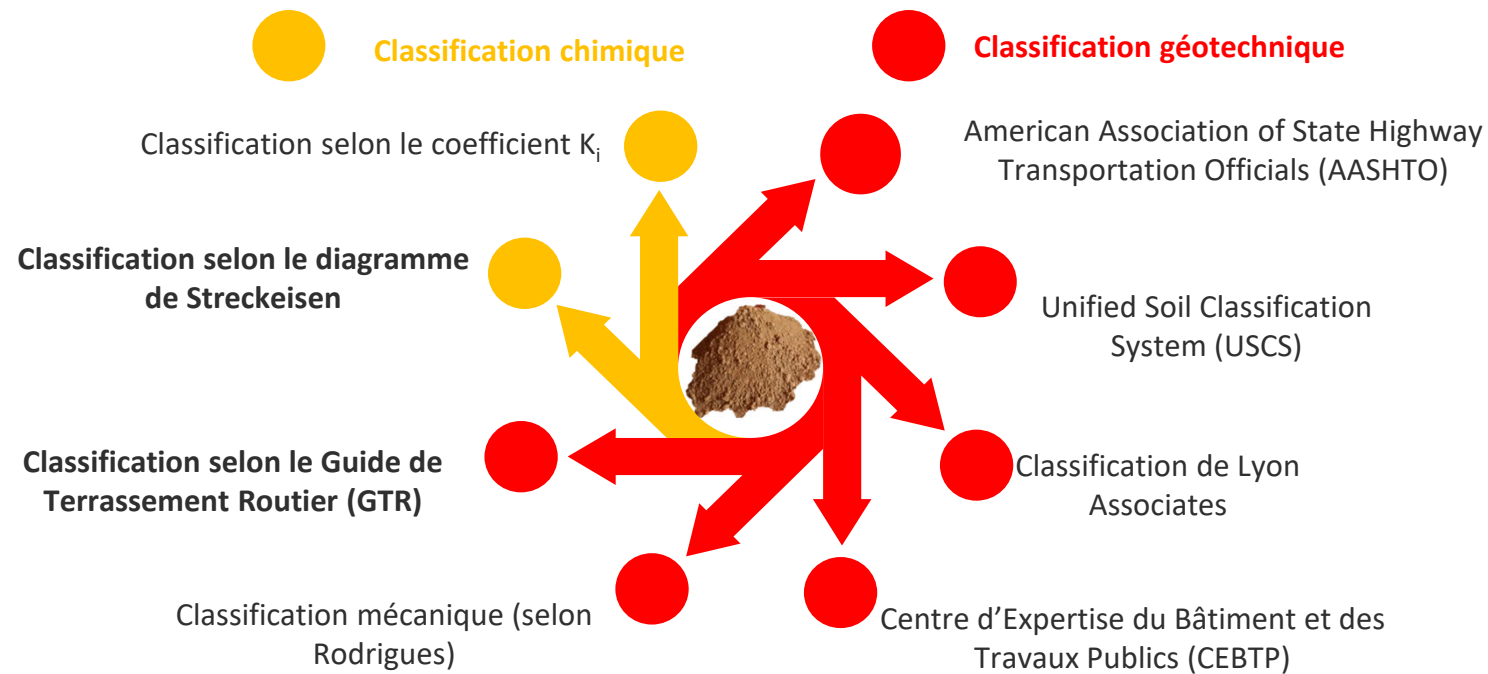
Quartz, hématite, goethite, gibbsite, kaolinite



#### Tropical humide : Ferrisol (en profondeur)

## 2. État de l'art

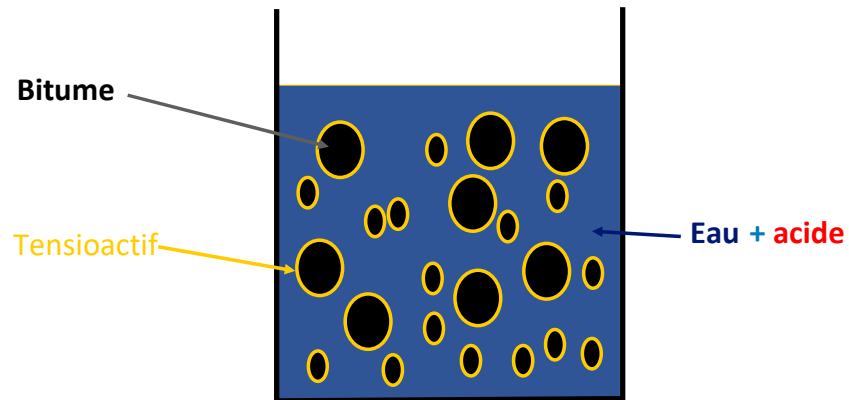
### Latérite : Classification chimique et géotechnique



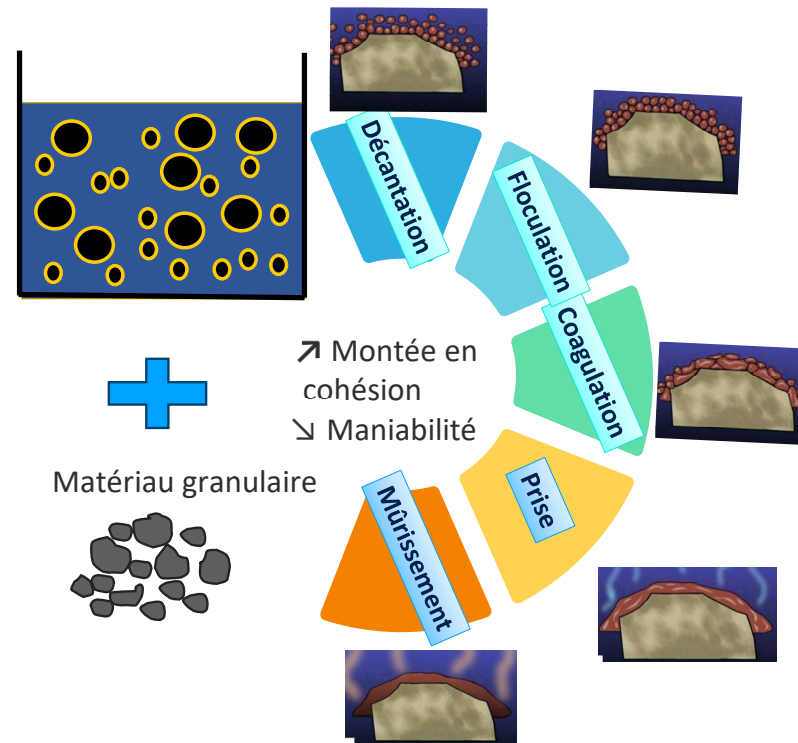
## 2. État de l'art

### 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



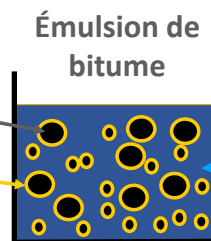
RKF, Côte d'Ivoire

**Bonnes performances**

Graveleux  
latéritiques



Bitume  
Tensioactif



Eau + acide =





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

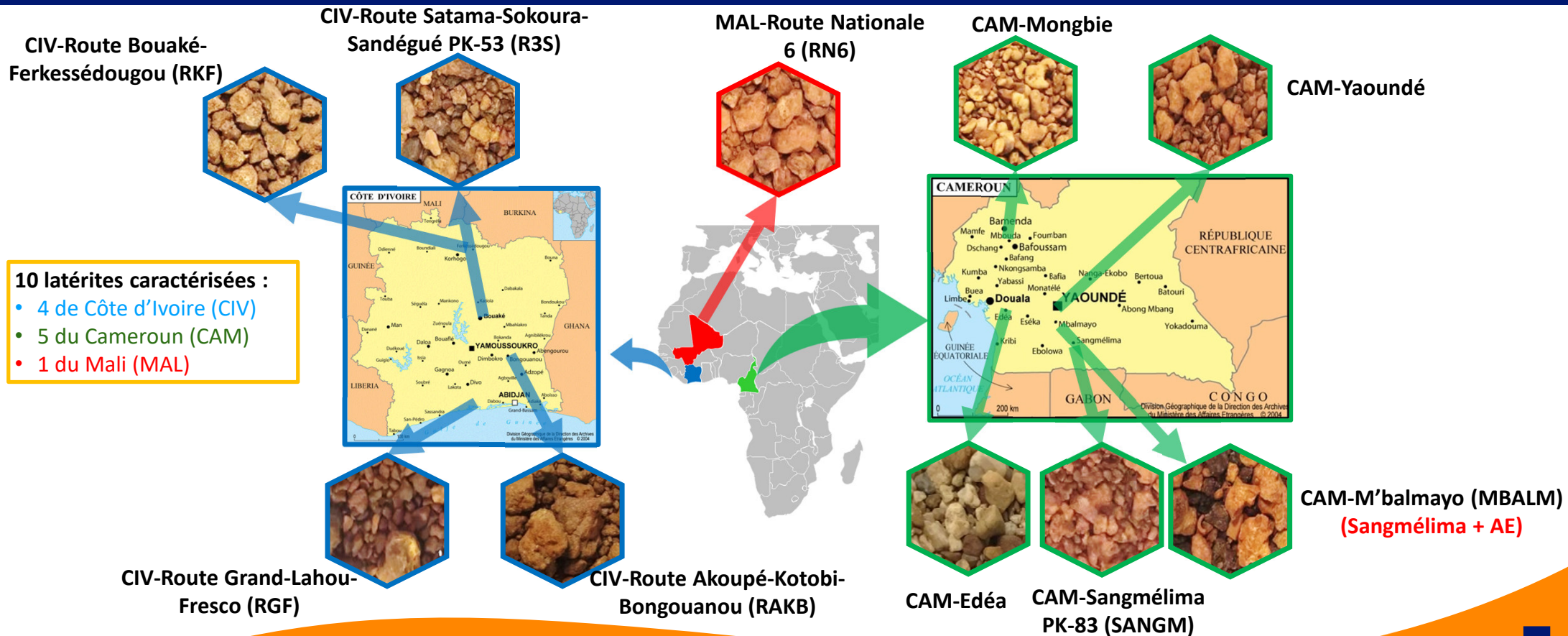
### Verrous scientifiques :

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

### Objectifs de la thèse :

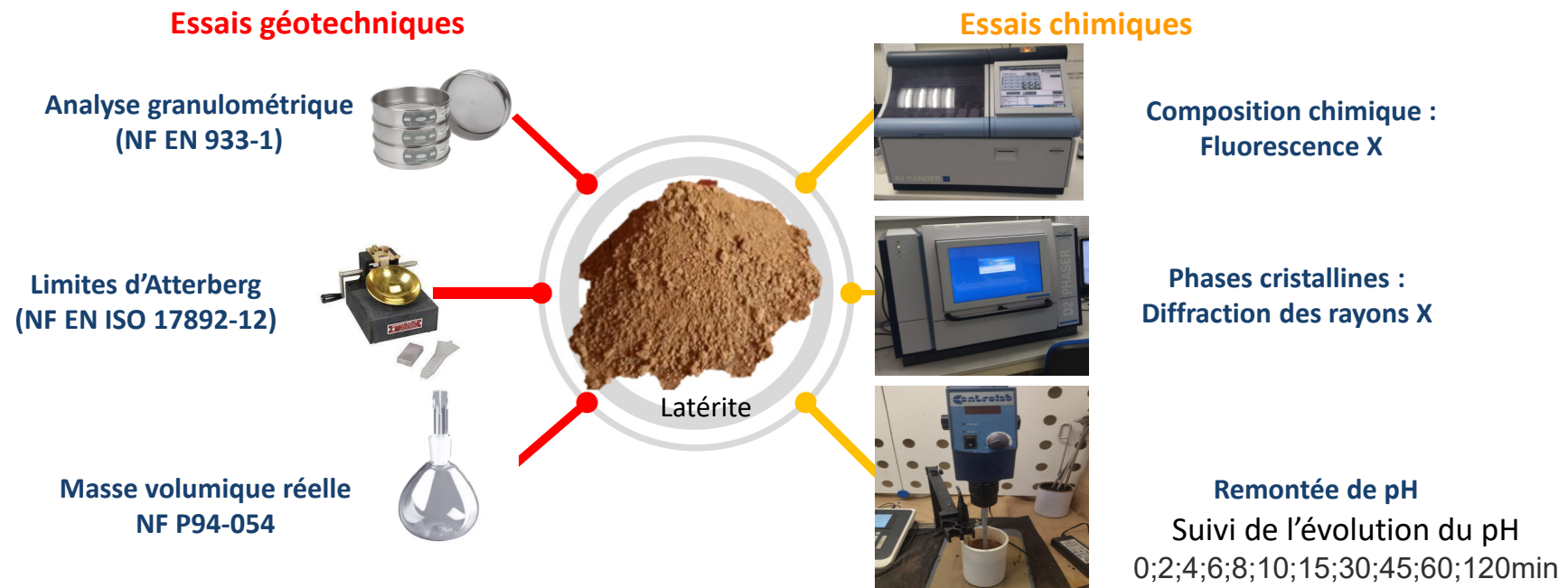
1. Évaluer les propriétés des graveleux latéritiques des chantiers africains de Razel-Bec
2. Réaliser des formulations de latérites traitées à l'émulsion de bitume
3. Caractériser mécaniquement (court/long terme) les graveleux latéritiques traités à l'émulsion
4. Analyser et interpréter les résultats 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



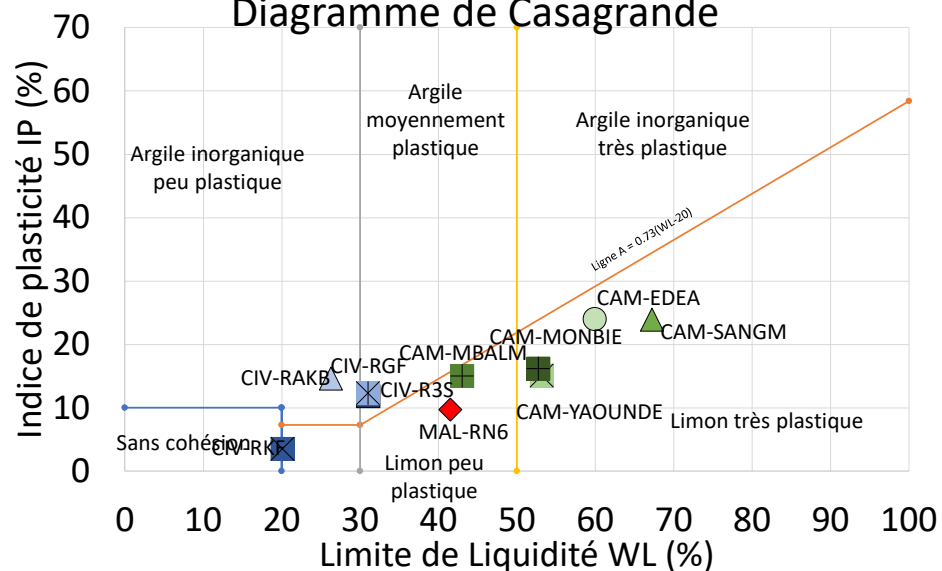
Classification : AASHTO, USCS, GTR et chimique

**Objectif : choix de trois latérites qui seront utilisées pour le traitement à l'émulsion**

## 4. Quelques résultats

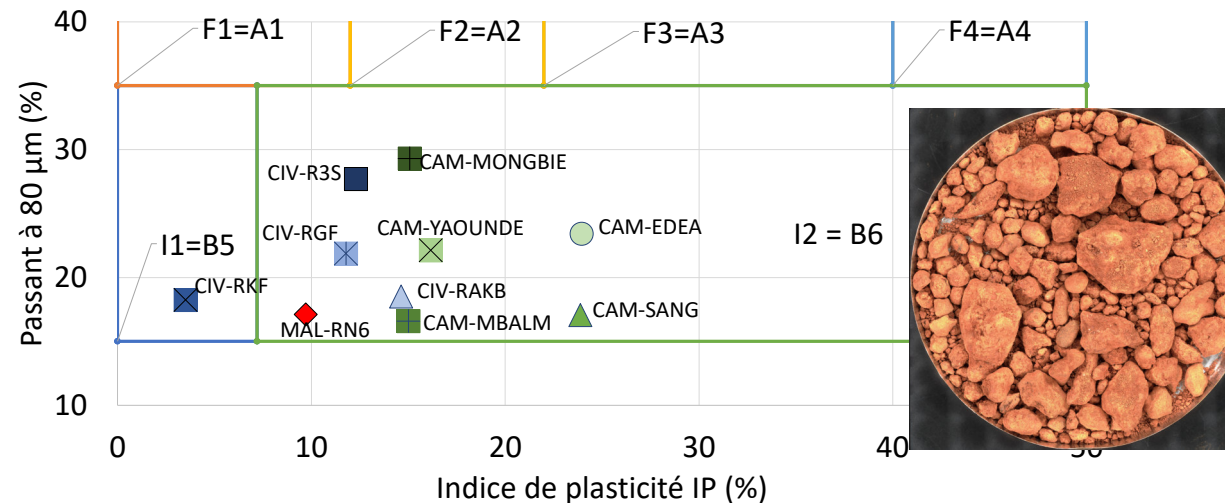
### Classification des latérites à partir des caractéristiques géotechniques : guide de terrassement routier (GTR)

Diagramme de Casagrande



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

GTR selon l'IP

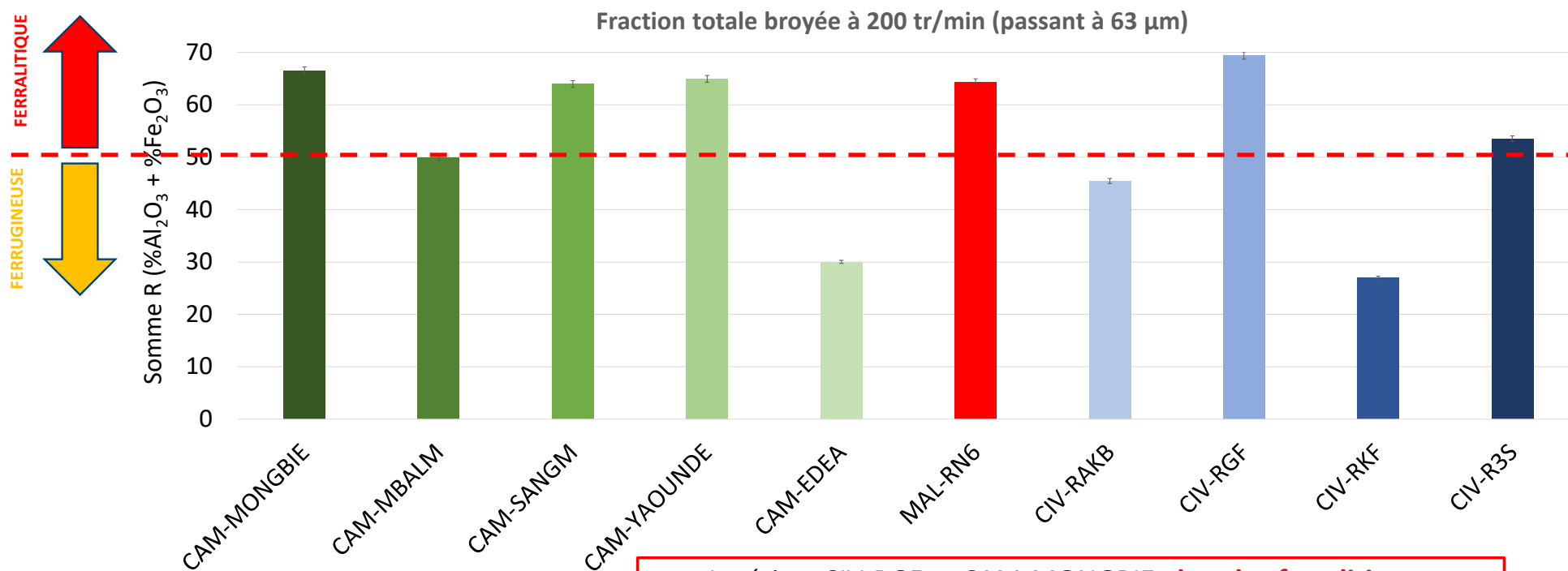


Les latérites étudiées appartiennent à la famille des sols intermédiaires I (ex classe B).  
Les latérites étudiées sont donc des **graveleux latéritiques**



## 4. Quelques résultats

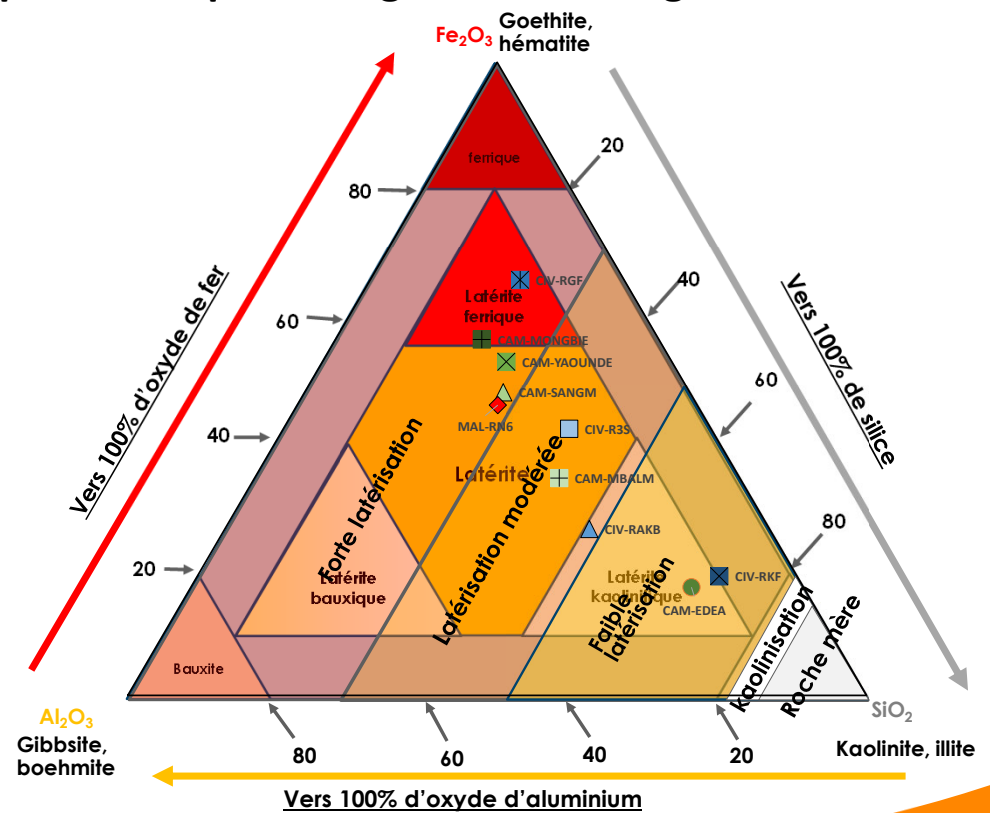
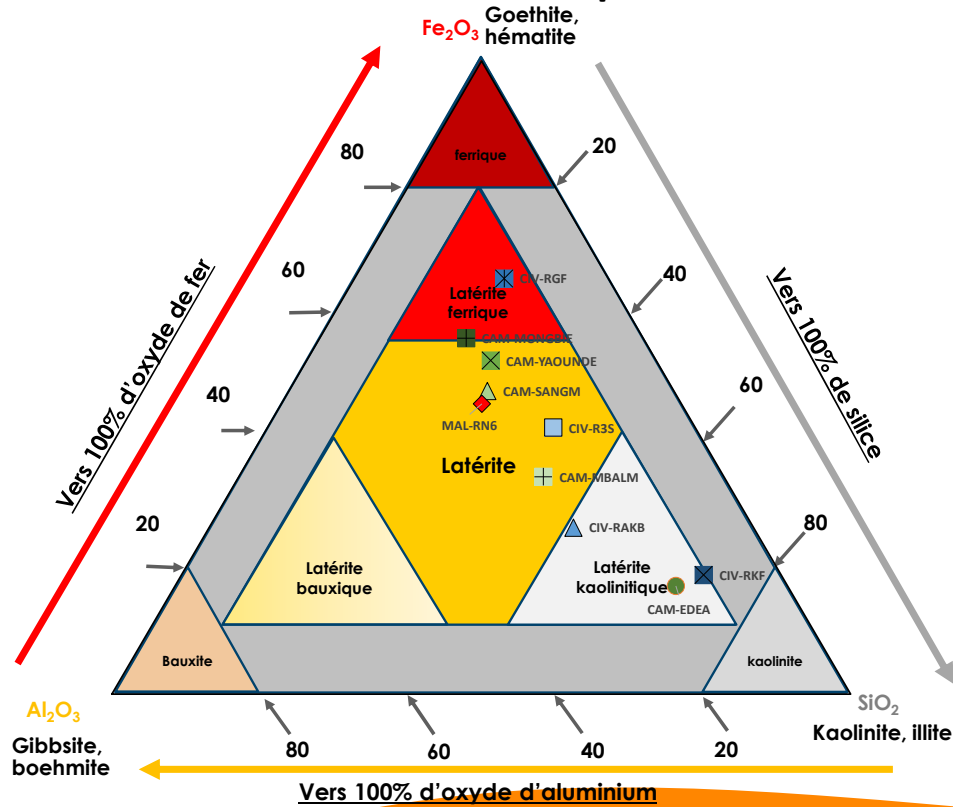
### Classification des latérites à partir des caractéristiques chimiques : familles ferralitiques et ferrugineuses



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

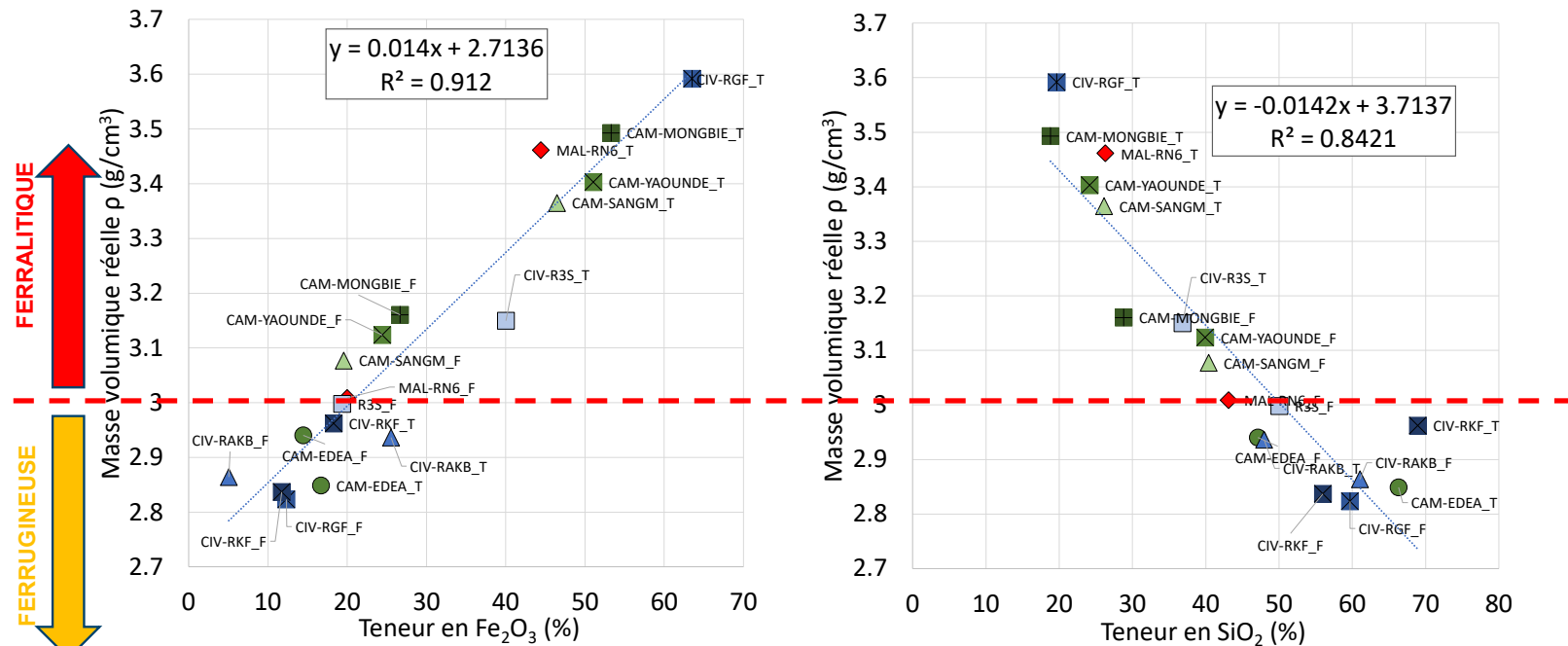
## 4. Quelques résultats

### Classification des latérites à partir des caractéristiques chimiques : diagrammes triangulaires



## 4. Quelques résultats

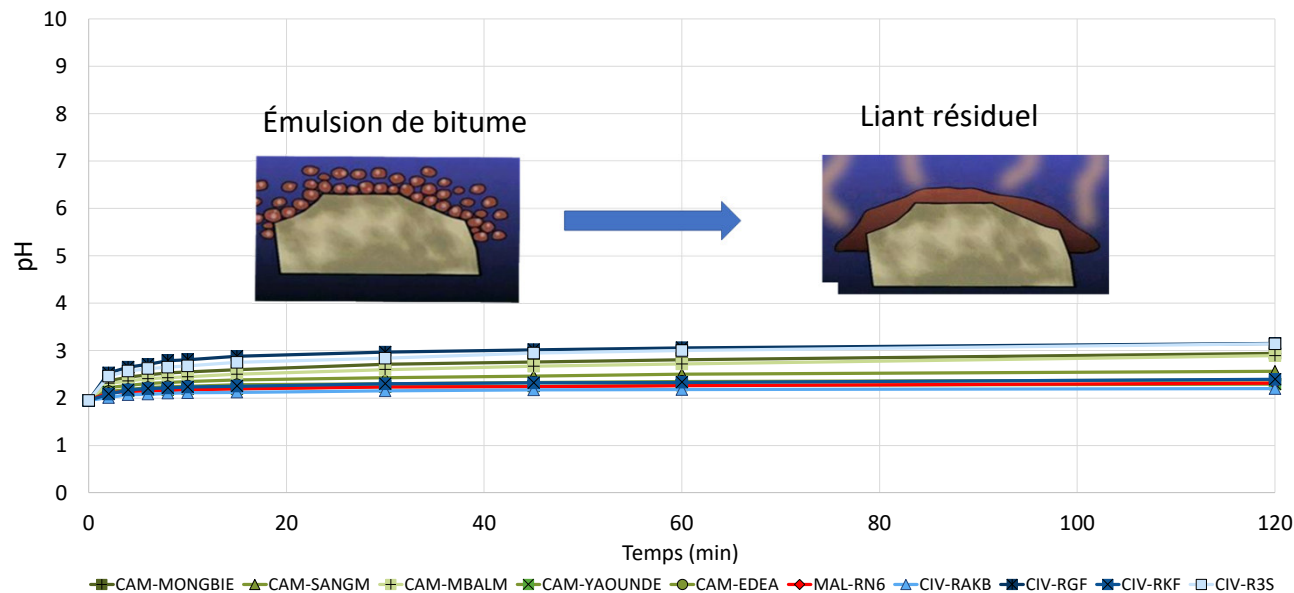
### Corrélation entre caractéristiques physico-géotechniques et chimiques



$\rho < 3\text{g/cm}^3 \implies$  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  $\implies$  prédiction 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  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ , 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](mailto:gkabore@estp.fr)

[zg.kabore@razel-bec.fayat.com](mailto: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.; Gaudefroy, 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](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-enclavee-et-coupee-du-reste-du-pays-dans-lantre-du-calvaire-des-populations\\_154592.html](https://www.koaci.com/article/2021/10/12/cote-divoire/societe/cote-divoire-grande-oubliee-la-zone-de-tai-forte-de-ses-richesses-enclavee-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](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/>