



**Laboratoire d'Environnement et Biologie
Aquatique
(LEBA) , Côte d'Ivoire**



**Laboratoire de Chimie Physique et
Microbiologie pour l'Environnement**



ÉLIMINATION DES ANIONS PHOSPHATE DES EFFLUENTS URBAINS PAR DES GÉOMATÉRIAUX DE CÔTE D'IVOIRE

Dan B. Eude **KPANNIEU**

Dr. M. Mallet, Pr. C. Ruby, Pr. L. Coulibaly

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- Abidjan, plus 5 millions d'habitants (INS*, 2010)
- 200 000m³ d'eaux usées collectées non traitées (Adingra et Kouassi, 2011 , F. Tech. & Doc. Vulg. : 48-53)
- Lagune Ebrié réceptacle de toutes les eaux d'Abidjan
- Lagune Ebrié eutrophe



Vue de la lagune Ebrié

Pollution de la lagune Ebrié : conséquences

- Odeur nauséabonde émanant du plan d'eau
- Diminution du taux d'oxygène
- Production de méthane (gaz à effet de serre)
- Prolifération des végétaux aquatiques
- Disparition de certaines espèces halieutiques

Eutrophisation = enrichissement en nutriments des eaux de surface



« Algues vertes » (Eutrophisation)

Directive Européenne 91 /271 CEE du 21 mai 1991



Taux de phosphate $< 1-2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P-PO}_4$
(sortie de station d'épuration)

Techniques conventionnelles de déphosphatation (biologique, précipitation chimique...)

- ↳ Complexité de mise en œuvre, méthodes coûteuses
Non applicables aux pays en voie de développement

Déphosphatation sur lit de massif filtrant (systèmes à capture passive)

- Sous produits de l'industrie (scories d'acier, boues rouges d'aluminerie, cendres volantes , schiste bitumineux....)
- Produits synthétiques (ferrihydrite, rouille verte ferrique....)
- Matériaux naturels (apatite, schiste, latérite, zéolite....)



Boues activées
(Dombasle, Lorraine)



Filtre planté de roseaux (FPR)
(Burdignes , Loire)

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE :

Evaluer la capacité d'une roche commune en Côte d'Ivoire, le schiste ardoisier, à éliminer les anions phosphates des eaux usées

- Composition chimique (Fe, Al, Ca, Mg)
- Géomatériaux sans intérêt minier
- Ubiquité et abondance



Bloc de schiste



Différentes granulométries de schiste

PLAN DE L'EXPOSÉ :

I. Echantillonnage

II. Etude de l'adsorption en réacteur batch :

- Influence des paramètres physicochimiques
- Cinétiques et isothermes d'adsorption

III. Etude de l'adsorption en réacteur colonne :

- Comportement hydrodynamique
- Influence du débit ou (HRT)
- Comportement des cations métalliques en solution et enlèvement des anions phosphate

IV. Conclusion et perspectives

PLAN DE L'EXPOSÉ :

I. Echantillonnage

II. Etude de l'adsorption en réacteur batch :

- Influence des paramètres physicochimiques
- Cinétique et isotherme d'adsorption

III. Etude de l'adsorption en réacteur colonne :

- Comportement hydrodynamique
- Influence du débit ou (HRT).
- Comportement des cations métalliques en solution et enlèvement des anions phosphate

IV. Conclusion et perspectives

Echantillonnage

Préparation des échantillons de schiste



Zone de prélèvement



- Concassage grossier au marteau
- Broyage
- Lavage et séchage
- Tamisage puis sélection de deux tailles de grains :
 $\phi \leq 400\mu\text{m}$ et $\phi \sim 1\text{-}2\text{mm}$

PLAN DE L'EXPOSÉ :

I. Echantillonnage

II. Etude de l'adsorption en réacteur batch :

- Influence des paramètres physicochimiques
- Cinétique et isotherme d'adsorption

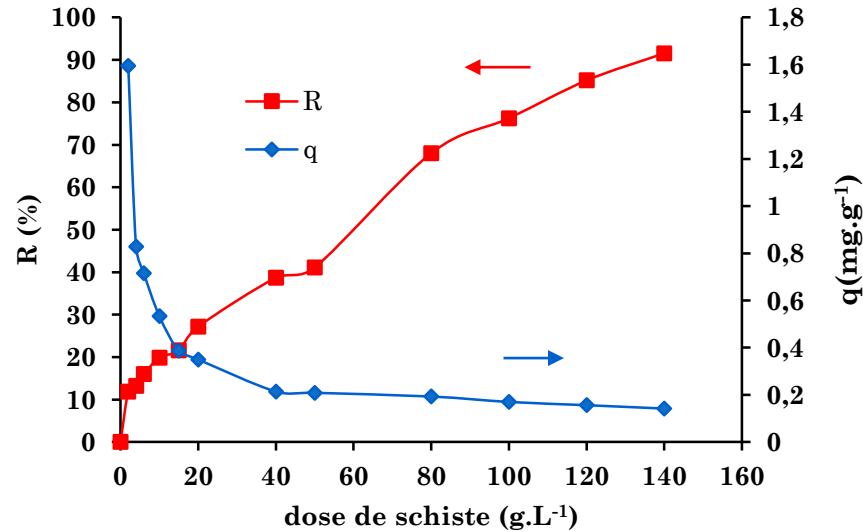
III. Etude de l'adsorption en réacteur colonne :

- Comportement hydrodynamique
- Influence du débit ou (HRT).
- Corrélation (Ca^{2+} , Fe total, Mg^{2+} , Al^{3+}) et PO_4^{3-}
- Comportement des cations métalliques en solution et enlèvement des anions phosphate

IV. Conclusion et perspectives

Capacité d'adsorption et taux d'abattement en fonction de la dose de schiste

$[\text{PO}_4^{3-}] = 25 \text{ mg.L}^{-1}$
 $t_{\text{agitation}} = 24\text{h}$
 $\text{pH} = 6,5-7$



$$R(\%) = \left(\frac{C_i - C_e}{C_i} \right) \times 100$$

$R \nearrow$ Dose de schiste \nearrow

Augmentation du nombre de sites d'adsorption avec la dose de schiste

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m}$$

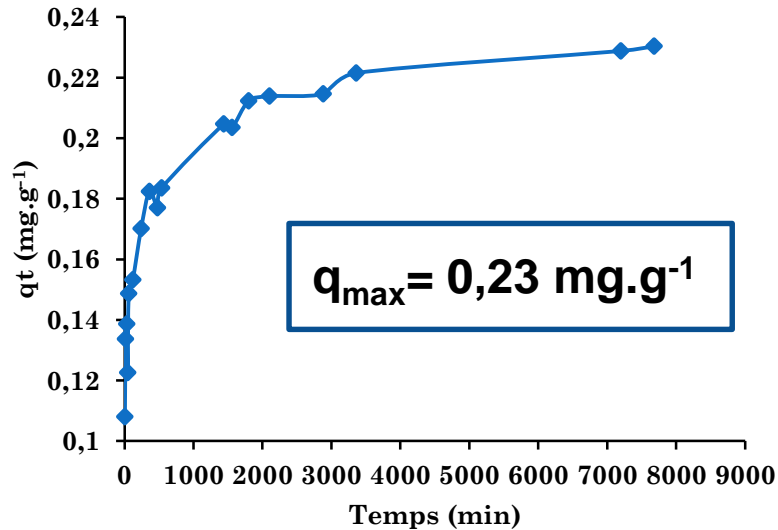
$q \searrow$ Dose de schiste \nearrow

q constant $\sim 0,2 \text{ mg.g}^{-1}$

Meilleure accessibilité aux sites d'adsorption à faible dose de schiste

Etude de l'adsorption en réacteur batch

Cinétique d'adsorption



$[\text{PO}_4^{3-}] = 25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
 Dose de schiste : $80 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
 pH : 6,5-7

2 étapes :

- Cinétique rapide ($\sim 2\text{h}$) (Adsorption)
- Cinétique lente (temps d'équilibre $\sim 1800\text{min}$) (Diffusion à l'intérieur des pores)

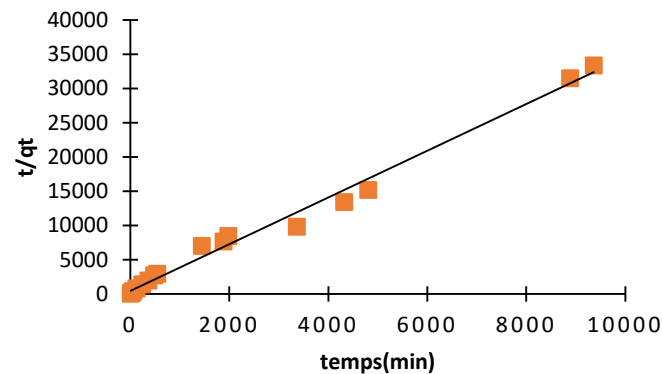
Différents modèles cinétique ont été testés (pseudo 1^{er} ordre, 2nd ordre, Elovich) après linéarisation



Modèle le plus adapté :
 pseudo-second ordre

Equation du pseudo-second ordre : $\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t)^2$

Forme linéaire : $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e} t$

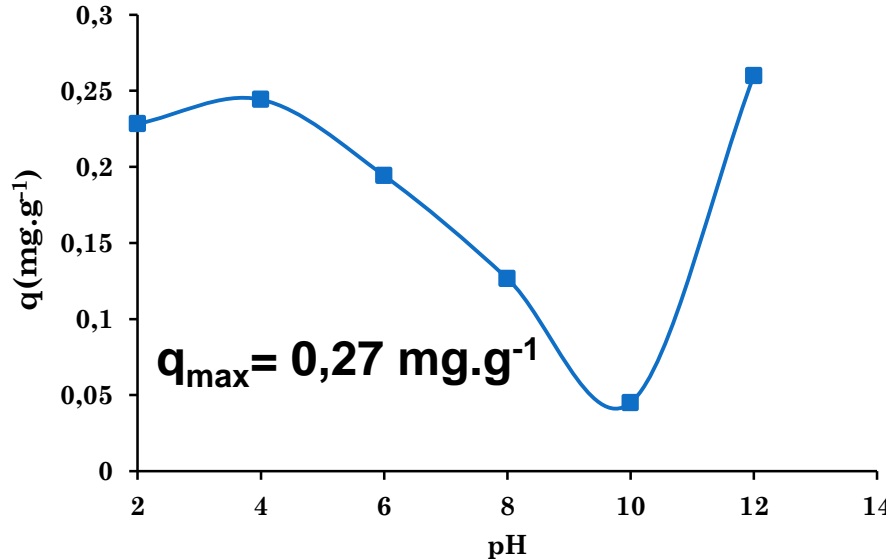


q_t : quantité de phosphates adsorbée par unité de temps (mg g^{-1})

k : constante de sorption ($\text{g.mg}^{-1}\text{s}^{-1}$)

Modèle cinétique	Paramètres	$C_0=25\text{mg.L}^{-1}$
Pseudo-second ordre	R^2	0,9896
	$q_e \text{ exp}(\text{mg.g}^{-1})$	0,293
	k_2	3,44

Capacité d'adsorption et taux d'abattement en fonction du pH



$[\text{PO}_4^{3-}] = 25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

$t_{\text{agitation}} = 24\text{h}$

Dose de schiste = $80 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

$q \searrow$ dans la gamme de pH [2-10] et \nearrow à pH 12

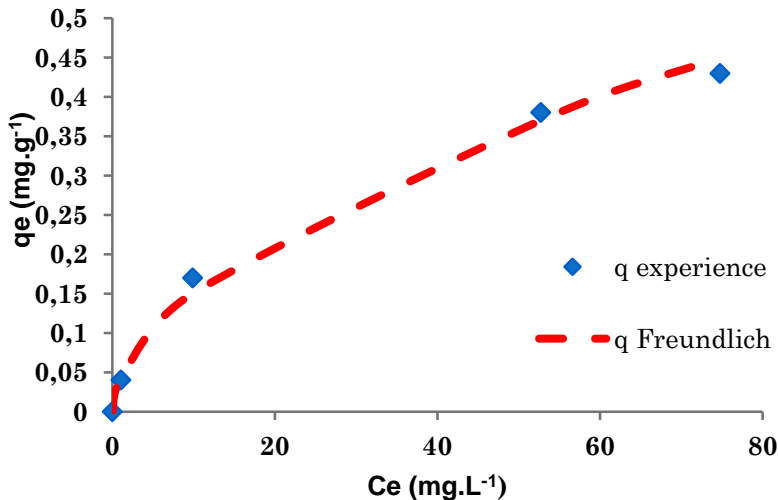
- Diminution du nombre de sites chargés positifs quand le pH augmente (augmentation de la répulsion électrostatique)
- Phénomènes de redissolution à pH très basique favorisant le piégeage des ions phosphate?

Etude de l'adsorption en réacteur batch :

Isothermes d'adsorption

Différents modèles isotherme ont été testés (Elovich, Freundlich et Langmuir) après linéarisation

↳ Modèles de Freundlich et Langmuir adaptés



$C_e \nearrow q_e \nearrow$

L'adsorption se fait par occupation progressive des sites disponibles jusqu'à saturation

	Paramètre	Valeur	Formule linéaire
Langmuir	R ²	0,996	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{K_L q_{max} C_e}$
	q _{max} (mg.g ⁻¹)	0,4	
	K _L	0,1	
Freundlich	R ²	0,992	$\ln(q_e) = \ln(K_f) + \frac{1}{n_f} \ln(C_e)$
	n _f	1,78	
	K _f	0,04	

Freundlich:

$1/n_f < 1$ (adsorbant-adsorbat favorable)

Langmuir :

$q_{max} = 0,4 \text{ mg.g}^{-1}$

PLAN DE L'EXPOSÉ :

I. Echantillonnage

II. Etude de l'adsorption en réacteur batch :

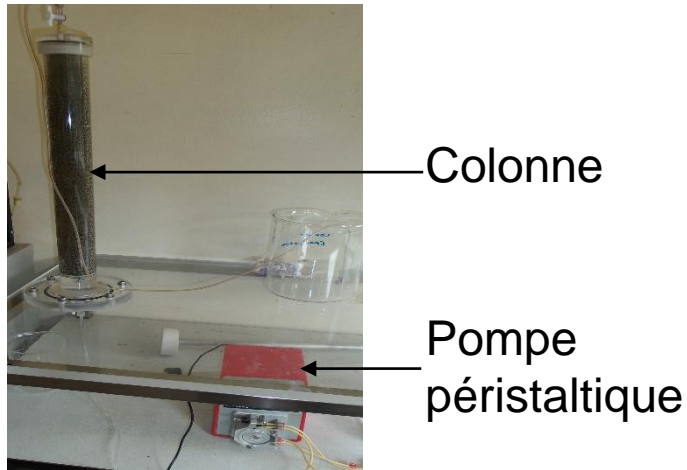
- Influence des paramètres physicochimiques
- Cinétique et isotherme d'adsorption

III. Etude de l'adsorption en réacteur colonne :

- Comportement hydrodynamique
- Influence du débit ou (HRT).
- Comportement des cations métalliques en solution et enlèvement des anions phosphate

IV. Conclusion et perspectives

Dispositif expérimental

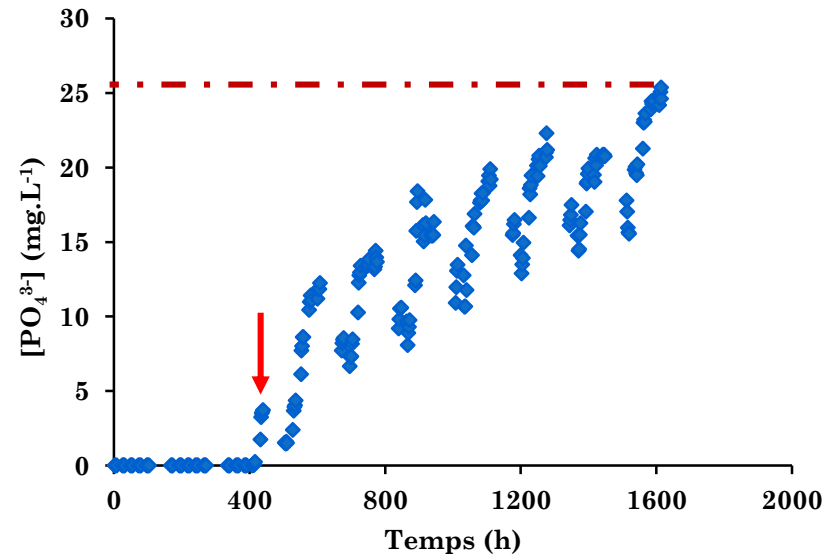


$m_{\text{schiste}} = 592 \text{ g}$; $\Phi_{\text{schiste}} = 1\text{-}2 \text{ mm}$.

$[\text{PO}_4^{3-}] = 25 \text{ mg/L}$ débit $\sim 0,23 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$

volume colonne = 0,53 L

Courbe de percée



$[\text{PO}_4^{3-}] \searrow$ HRT \nearrow

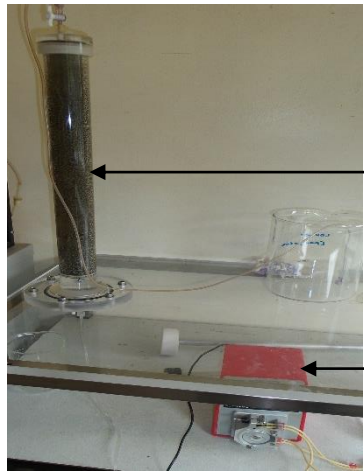
➡ Percée à $t = 400 \text{ h}$ (2 semaines) et saturation à $t = 1610 \text{ h}$ (~ 70 jours)

➡ $q_{\text{percée}} = 0,19 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$

➡ $q_c = 0,38 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ en bon accord avec la valeur déterminée par le modèle de Langmuir

Etude de l'adsorption en réacteur colonne

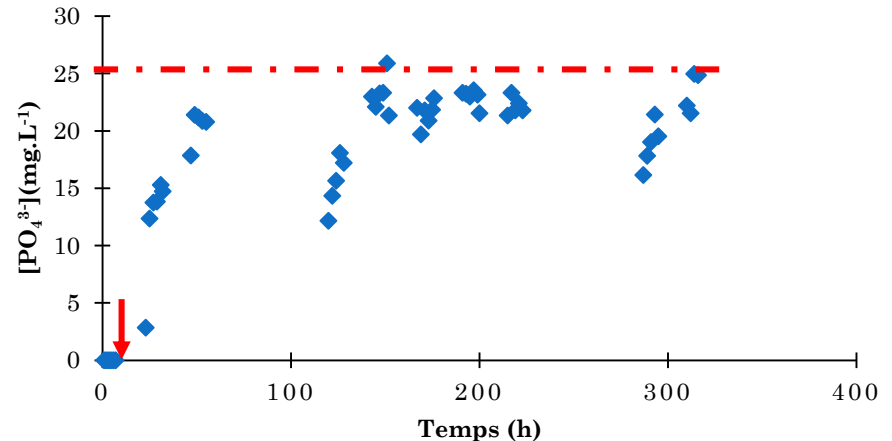
Dispositif expérimental



Colonne

Pompe
péristaltique

Courbe de percée



$m_{\text{schiste}} = 592\text{g}$; $\Phi_{\text{schiste}} = 1\text{-}2\text{ mm}$.

$[\text{PO}_4^{3-}] = 25\text{ mg/L}$ débit $\sim 2,3\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$

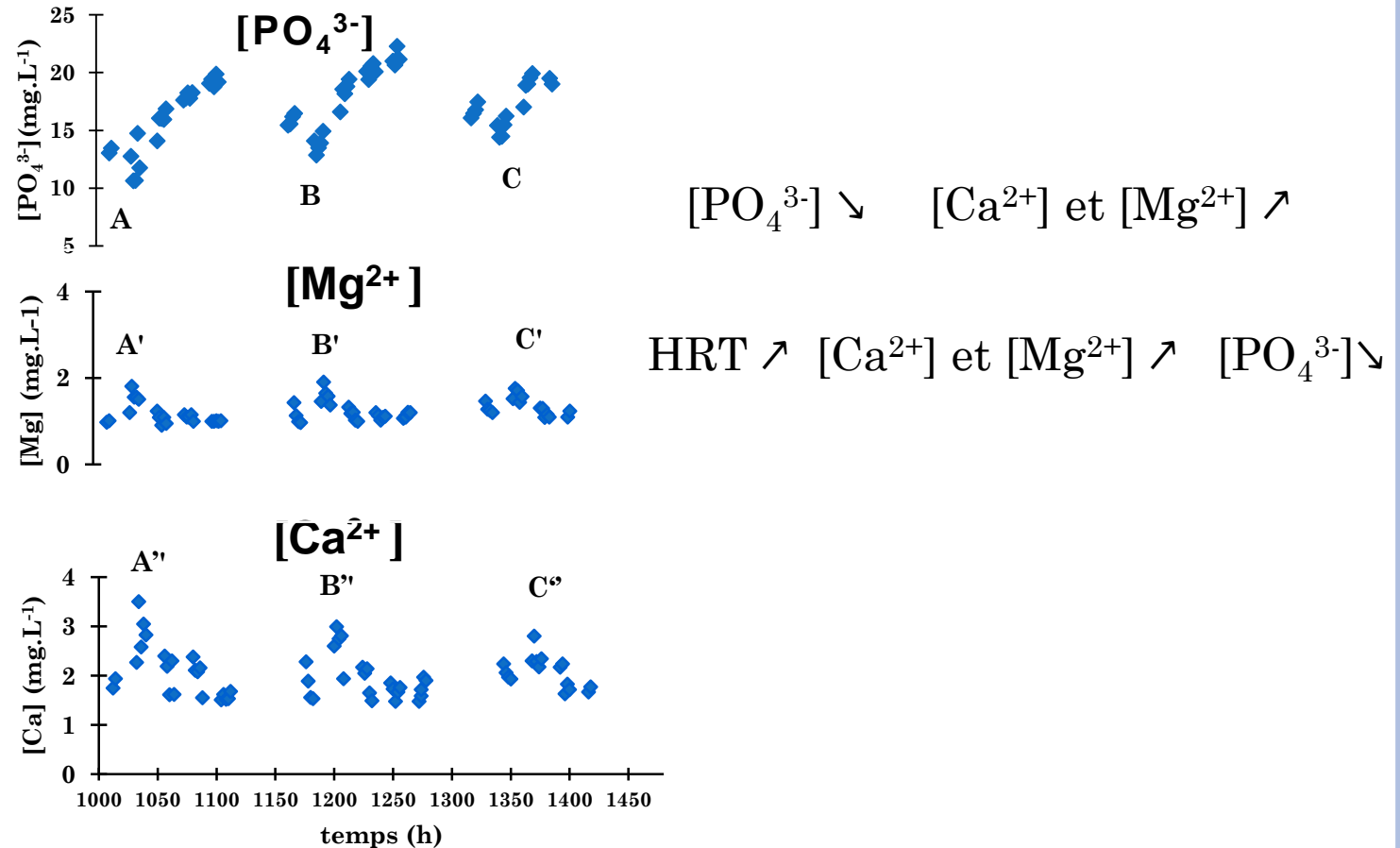
volume_{colonne} = 0,53 L

➡ Percée à $t = 7\text{ h}$ et saturation à $t = 314\text{ h}$ ($\sim 13\text{ jours}$)

➡ $q_{\text{percée}} = 0,05\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$

➡ $q_c = 0,37\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ en bon accord avec la valeur déterminée par le modèle de Langmuir

Evolution des concentrations en ions PO_4^{3-} , Ca^{2+} et Mg^{2+} en fonction du temps.



Corrélation entre l'adsorption des ions PO_4^{3-} et la présence de Ca^{2+} et Mg^{2+}

PLAN DE L'EXPOSÉ :

I. Echantillonnage

II. Etude de l'adsorption en réacteur batch :

- Influence des paramètres physicochimiques
- Cinétique et isotherme d'adsorption

III. Etude de l'adsorption en réacteur colonne :

- Comportement hydrodynamique
- Influence du débit ou (HRT).
- Comportement des cation métallique en solution et enlèvement des anions phosphate

IV. Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

- ❖ Forte influence de la dose de schiste sur l'élimination des phosphates
- ❖ Adsorption dépendante du pH de la solution, avec un intervalle de pH (2-8) favorable
- ❖ Cinétique d'adsorption rapide décrite par un modèle de pseudo-second ordre
- ❖ Isotherme d'adsorption décrite parfaitement par les modèles de Langmuir et de Freundlich
- ❖ La capacité d'adsorption déterminée en réacteur colonne est en bon accord avec celle déterminée en réacteur batch

Conclusion et perspectives

- ❖ Calcium et magnésium du schiste participe probablement au piégeage du PO_4
- ❖ La sorption des ions phosphate est fortement influencée par l'augmentation du HRT.



Le schiste ardoisier, un matériau intéressant pour le piégeage des anions phosphates

- ❖ **Comparaison à d'autres géomatériaux de Côte d'Ivoire, expériences en cours en réacteur batch et colonne sur le grès et la latérite de Côte d'Ivoire**
- ❖ Essais sur pilote de marais artificiel planté de *panicum maximum* et garni de schiste ardoisier

**MERCI
POUR VOTRE
ATTENTION**

