



المملكة المغربية



تحت الرعاية السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس  
ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ  
SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI



الجمعية المغربية الوطنية  
لمؤتمرات الطرق  
L'Association Marocaine  
Permanente des Congrès de la Route

11<sup>ème</sup> المؤتمر الوطني للطرق  
ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ ⴰⴳⴷⴰⵏ  
Congrès National de la Route

SOUS LE THÈME

Quels rôles de l'infrastructure routière dans le nouveau modèle de développement économique et social du Maroc ?

تحت شعار

أية مكانة لتطوير البنية التحتية  
الطرقية في تنزيل النموذج  
الجديد للتنمية الاقتصادية  
و الاجتماعية بالمغرب ؟

10/12 Nov. 2022 - Dakhla

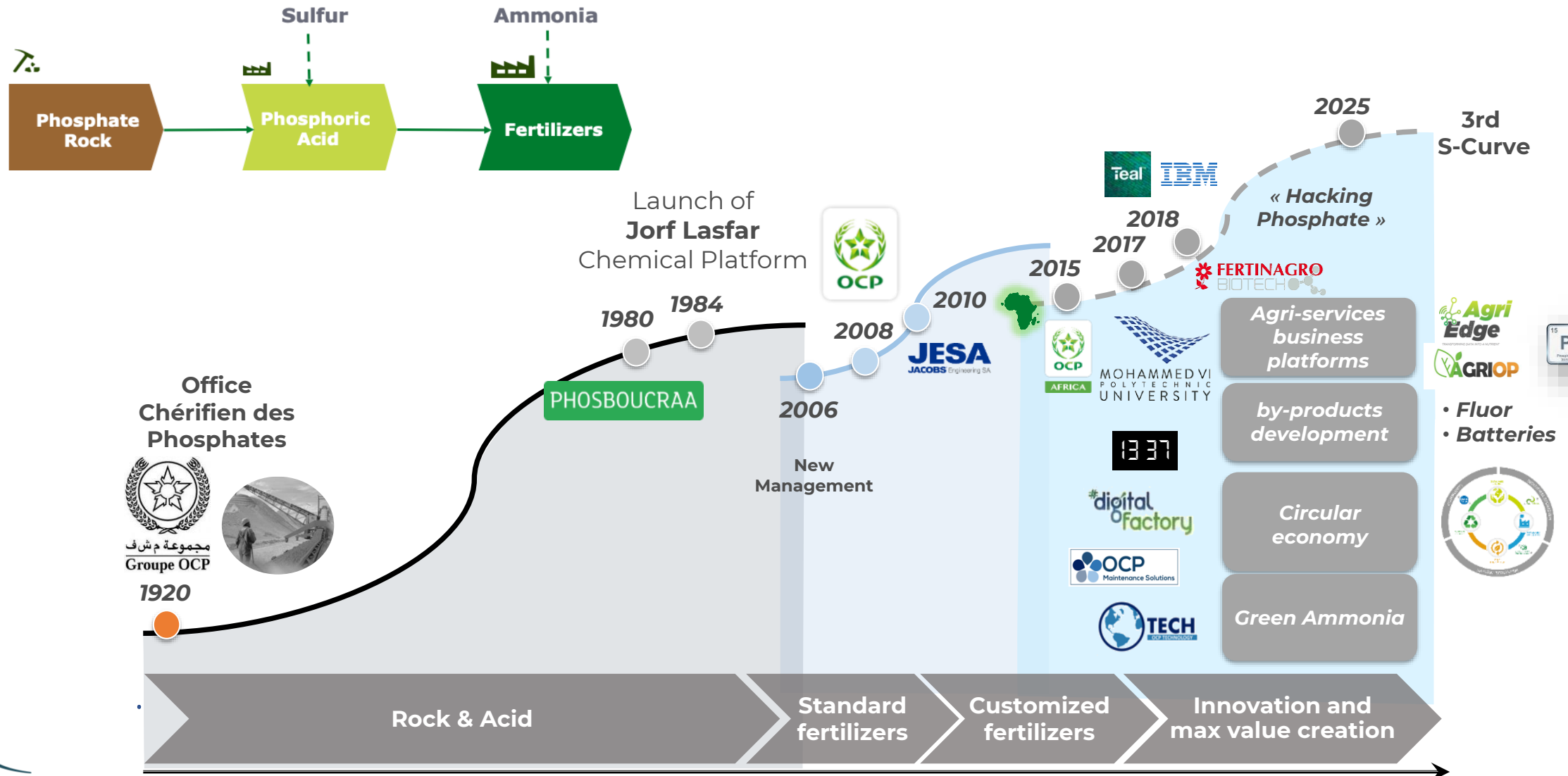


# Valorisation du phosphogypse dans la construction routière au Maroc

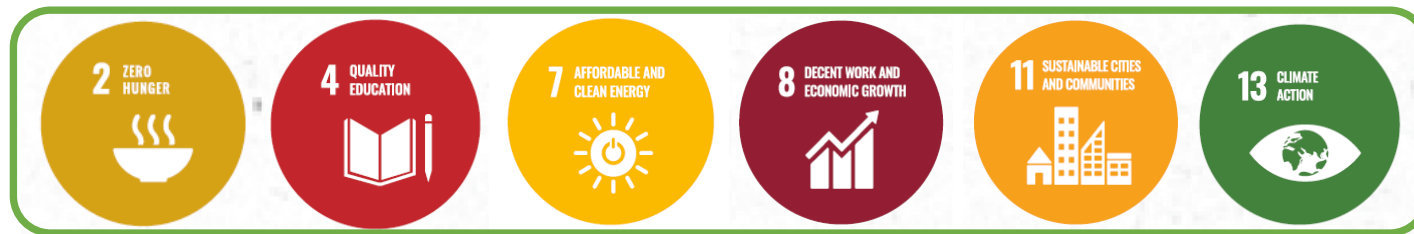
- M. Kamal El Omari, Portfolio Lead Phosphogypsum (OCP)
- Mme Chaimaâ Diouri, Doctorante (EHTP)
- M. Khaled Lahlou, Professeur (EHTP)
- Mme Amina Alaoui, Chargée de mission (OCP)



# La Diversification, l'Innovation et la Sustainability sont au cœur de la stratégie de croissance du Groupe OCP



# Des engagements forts avec des objectifs ambitieux pour contribuer aux ODDs



## Neutralité Carbone 2040

Atteindre la neutralité carbone (scopes 1 et 2) en 2030 et la neutralité carbone (scopes 1, 2 et 3) en 2040



## 100% d'électricité propre en 2026

Totalité de l'électricité consommée d'origine éolienne, solaire ou cogénérée



## 100% d'eau non conventionnelle en 2026

Totalité de l'eau consommée issue du dessalement d'eau de mer ou de l'épuration des eaux usées



## Réhabilitation des mines en faveur des communautés

Réhabiliter le double de la surface exploitée chaque année  
Créer des emplois dans le secteur agricole



## Emissions et effluents Best-in-Class

Exploiter toutes les avancées technologiques disponibles pour réduire les émissions et les rejets



## Maximiser la valeur des phosphates de faible teneur

Récupération complète de la teneur en phosphate et des autres éléments présents dans la roche



## Implémenter une agriculture durable et « intelligente »

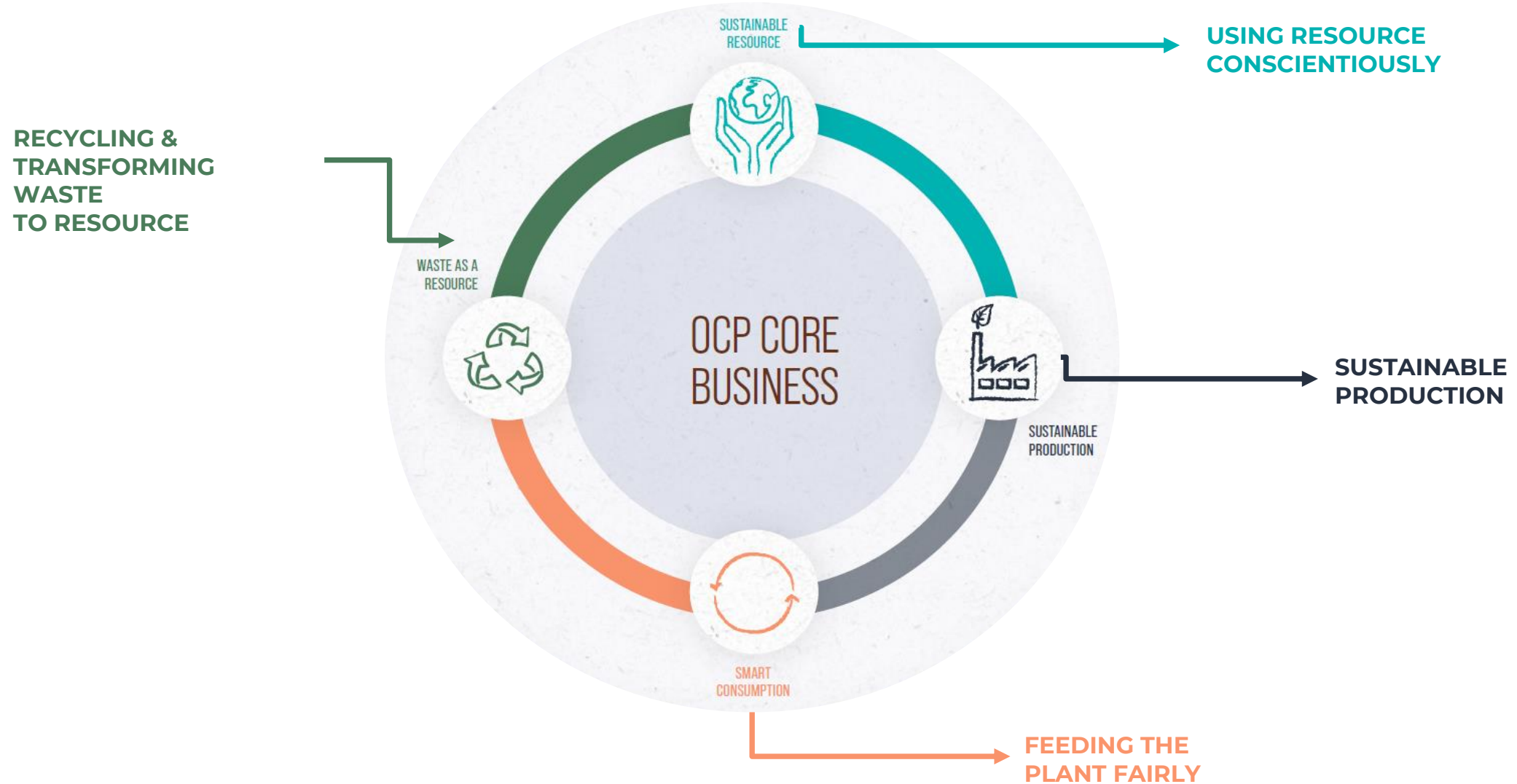
Développer des « engrais intelligents » et des solutions innovantes pour les agriculteurs



## Faire de nos déchets une nouvelle source de valeur

Recycler les déchets industriels tout en créant des emplois

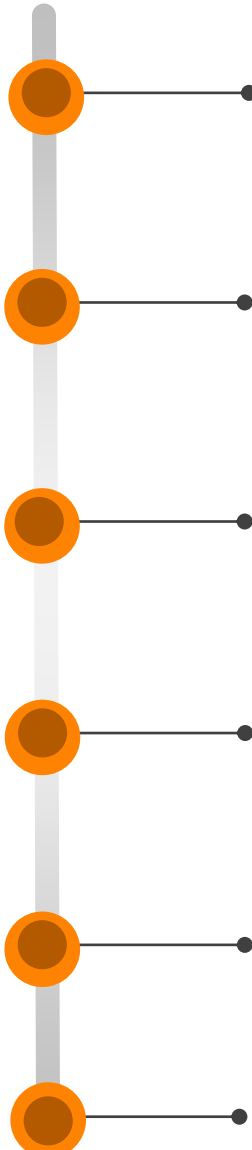
# La vision Economie Circulaire d'OCP est basée sur quatre piliers



# VALORISATION DU PHOSPHOGYPSE EN CONSTRUCTION ROUTIERE

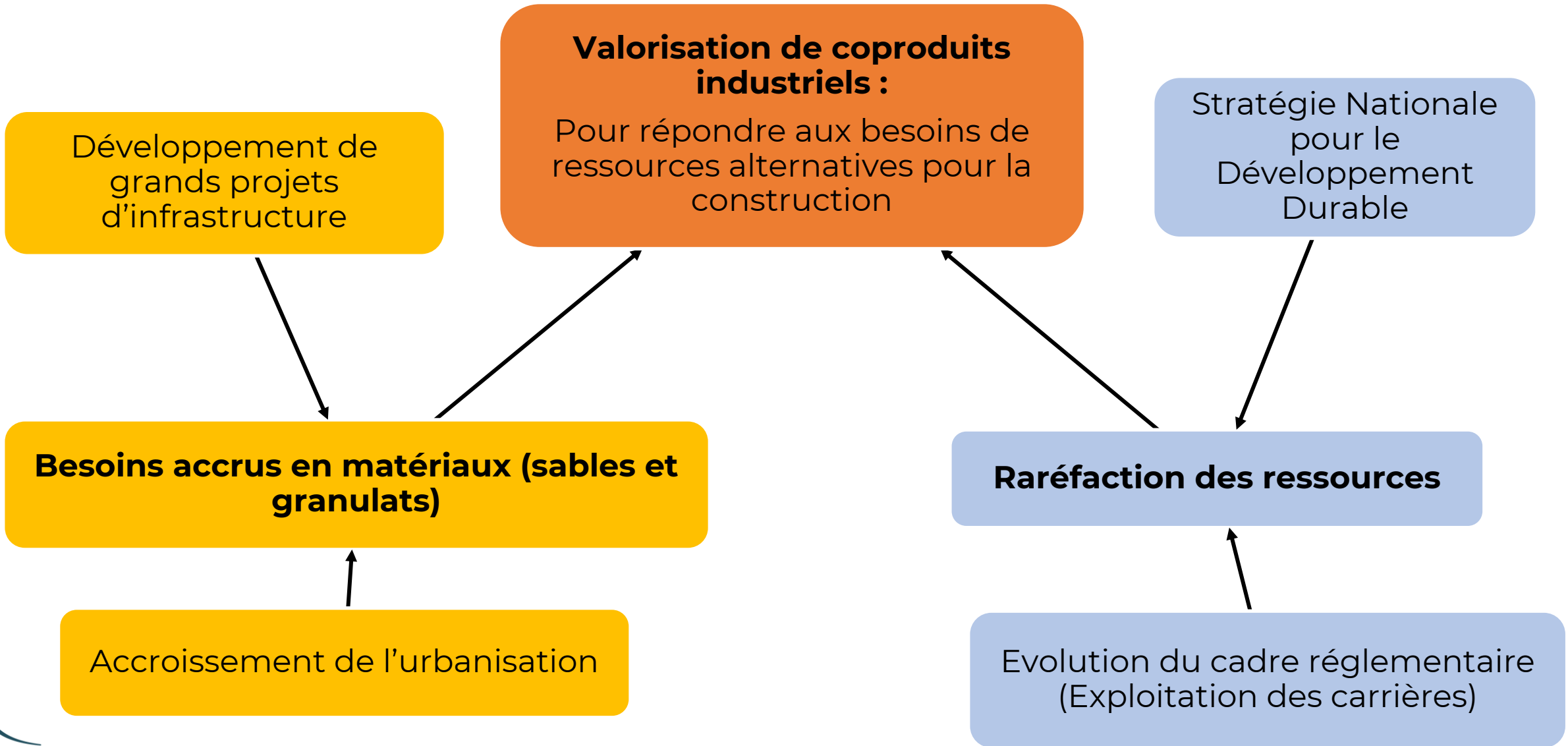




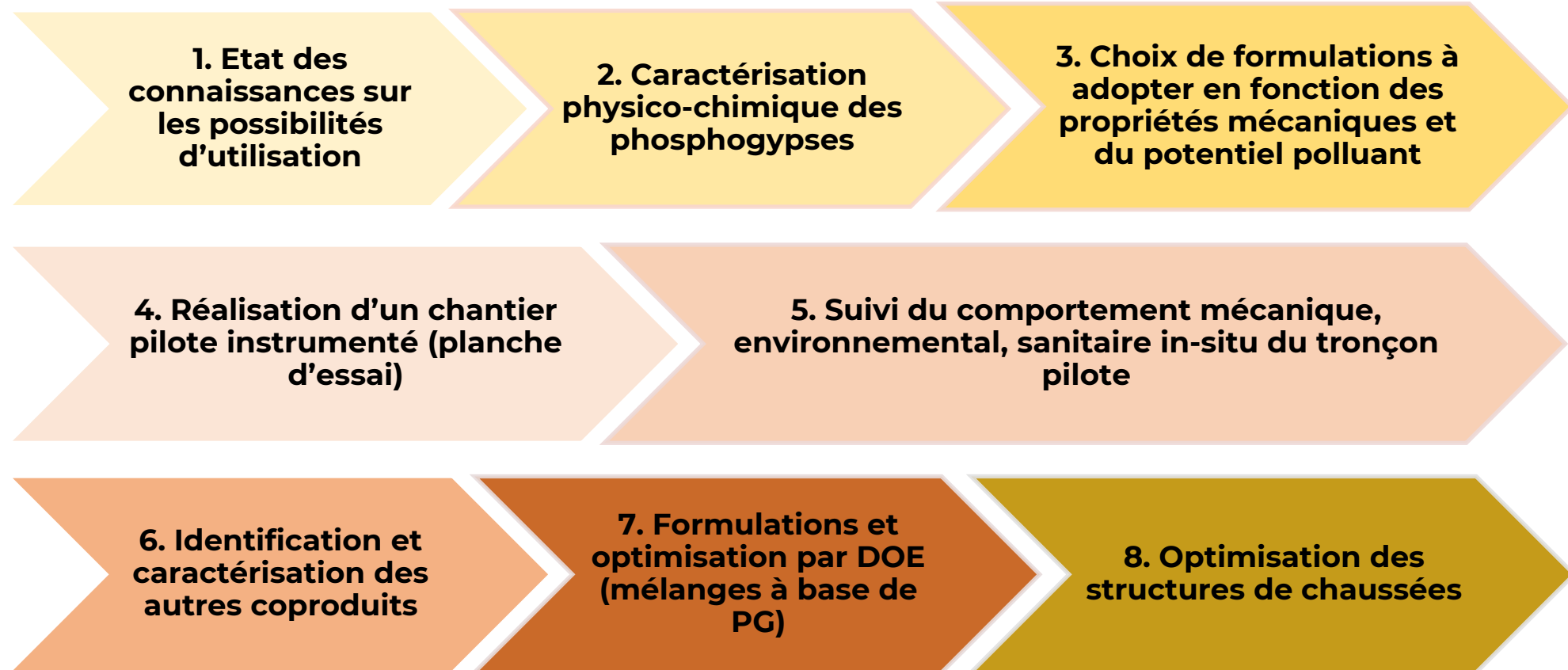
- 
1. **Besoins et disponibilité en matériaux de construction.**
  2. **Démarche globale d'utilisation du phosphogypse en construction routière.**
  3. **Pilote expérimental : évaluations mécanique, environnementale et sanitaire.**
  4. **Optimisation des formulations par la méthode DOE.**
  5. **Optimisation des types de structures de chaussée : étude paramétrique.**
  6. **Perspectives.**



# 1. Besoins et disponibilité en matériaux de construction



## 2. Economie circulaire : démarche globale d'utilisation du phosphogypse en construction routière



### 3. Pilote expérimental de Safi



1. Présentation du pilote : sections expérimentales



2. Évaluation mécanique : trafic et Défectographe Lacroix

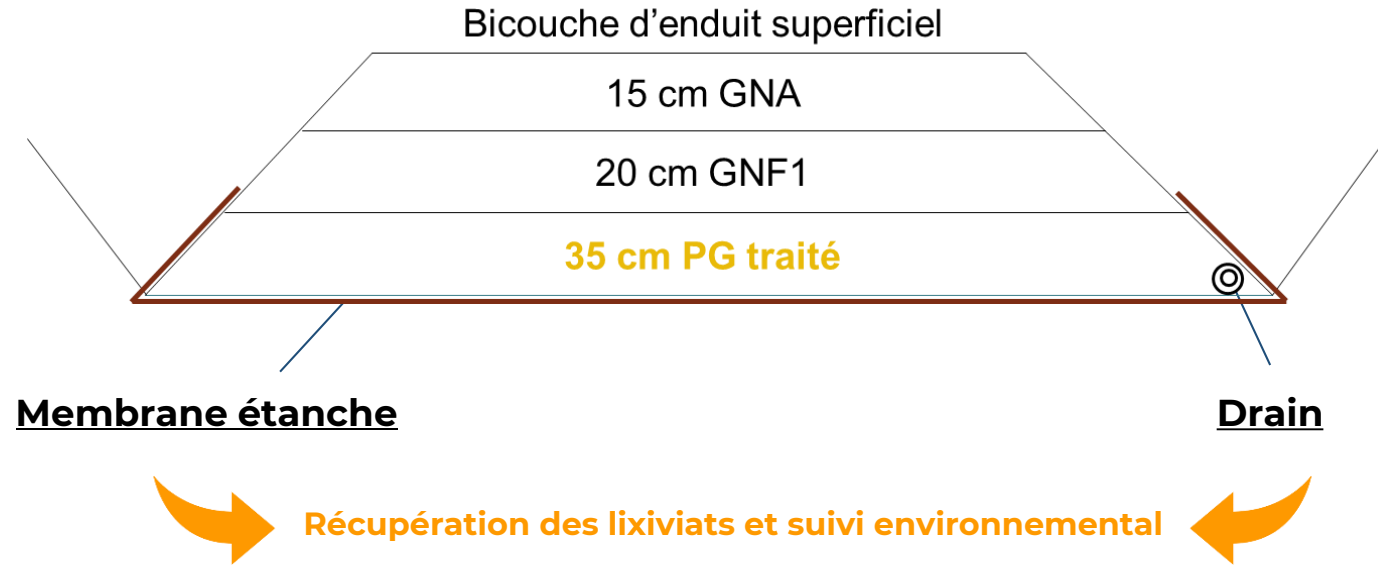


3. Évaluation environnementale : potentiel polluant



### 3. Pilote expérimental de Safi : sections expérimentales

Tronçon	Mélange dans la couche de forme	Longueur (ml)
1 (Témoin)	Sol en place	~ 200
2	Sable + PG + 7% Ciment	~ 200
3	PG + 7% Ciment	~ 200
4	Stériles de lavage + PG <sup>+</sup> + 7% Ciment	~ 200
5	Stériles de lavage + PG <sup>-</sup> + 7% Ciment	~ 200
<b>Total</b>		<b>~ 1 000</b>



### 3. Pilote expérimental de Safi : travaux de chantier



### 3. Pilote expérimental de Safi : trafic et suivi des propriétés mécaniques

- Mise en circulation sous un **trafic TPL3 à TPL4** par camions citerne de **coefficient d'agressivité élevé**.
- Mesures réalisées par le **CNER : Déflectographe LACROIX**.



#### Résultats :

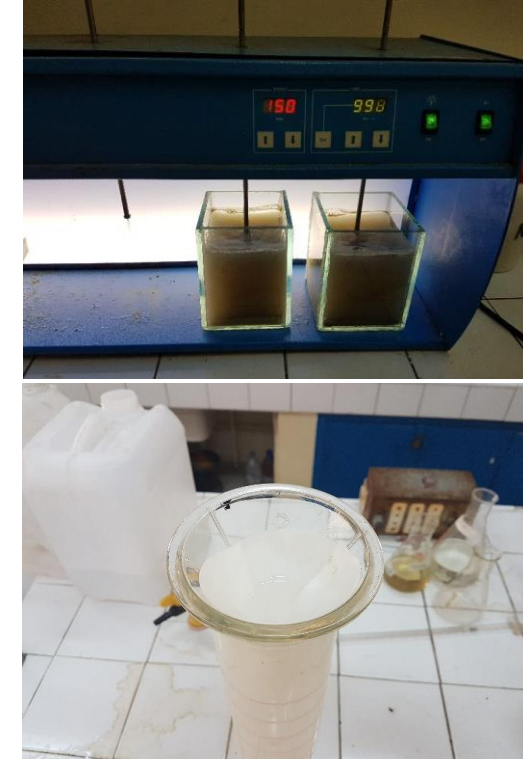
1. Rétro-calcul **ALIZE** : durée de vie de la chaussée estimée à **25 ans**.
2. Amélioration de la classe de déflexion de **D2 à D1 : durcissement** de la chaussée dans le temps et **compactage par le trafic**.
3. Les mélanges à **base de PG** présentent de **meilleurs résultats déflectométriques** que la section témoin.
4. Le mélange présentant les meilleures propriétés mécaniques (déflexion **après 30 mois d'exploitation**) est **PG - Sable concassé - Ciment**.



### 3. Pilote expérimental de Safi : évaluation environnementale

Test de mesure du Potentiel polluant (essai le plus agressif) selon NF X 31-211

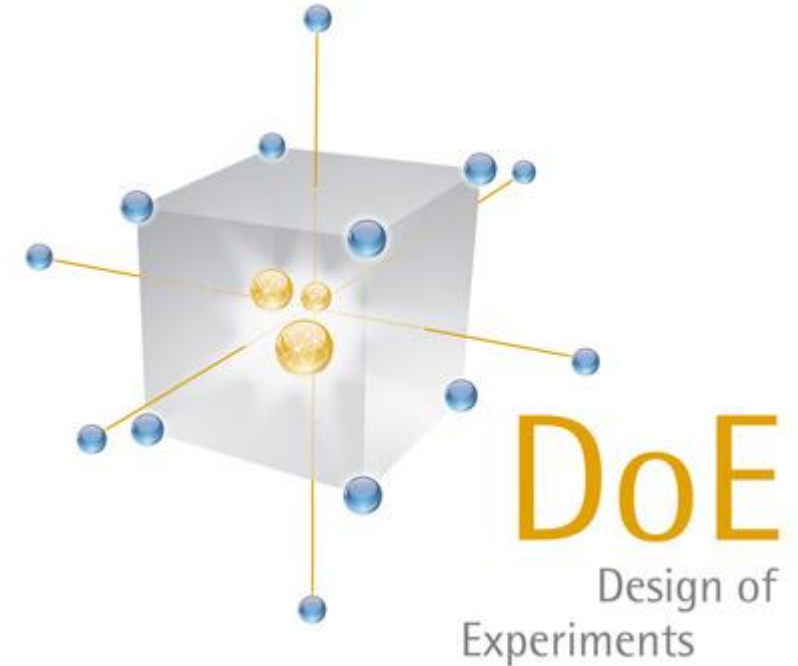
Élément	Concentration max. mesurée	Norme marocaine (Déchets)	Norme française (Déchets)	Norme indienne (PG dans la route)
Cr	0,016 mg/l	2 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Cd	0,032 mg/l	0,25 mg/l	0,2 mg/l	2 mg/l
Pb	< 0,005 mg/l	1 mg/l	0,5 mg/l	2 mg/l
Hg	0,0001 mg/l	0,05 mg/l	0,05 mg/l	0,1 mg/l
As	< 0,005 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	1 mg/l



- Les concentrations maximales mesurées **de tous les éléments** sont de loin inférieures aux limites prescrites par les normes nationales et internationales.

## 4. Optimisation des formulations par la méthode DOE

- 1. PG - Laitiers d'aciérie - Ciment
- 2. PG - Sable concassé - Ciment
- 3. PG - Stériles - Ciment (en cours)
- 4. PG - Sable concassé - LHR (en cours)



## 4. Optimisation des formulations par la méthode DOE : points expérimentaux et objectifs

### Objectifs :

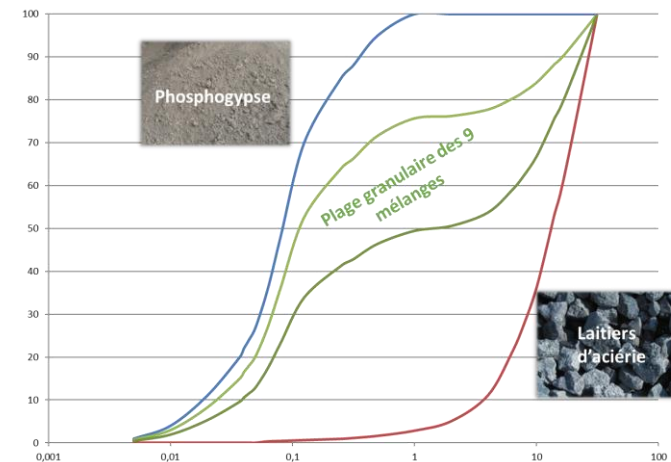
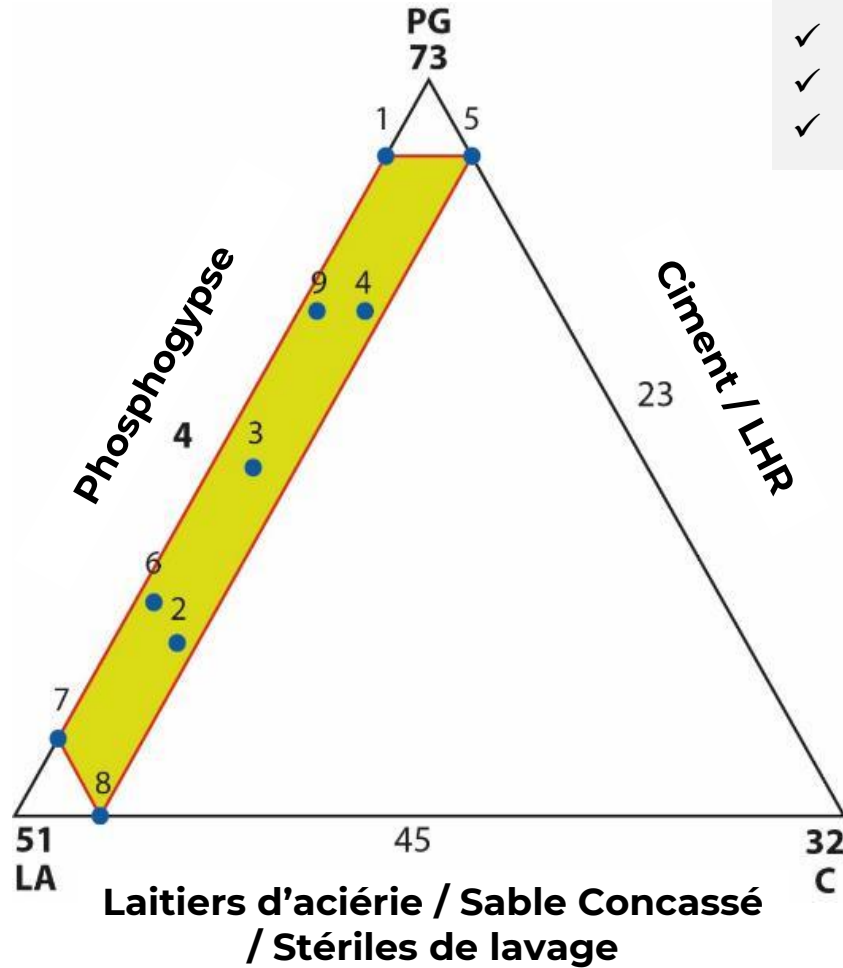
- ✓ Maximiser le % de PG (couche de forme et couches d'assise)
- ✓ Minimiser le % de liant : ciment / LHR
- ✓ Substituer le sable par des coproduits : laitiers d'aciérie / stériles de lavage

### Critères mécaniques pour couche de forme :

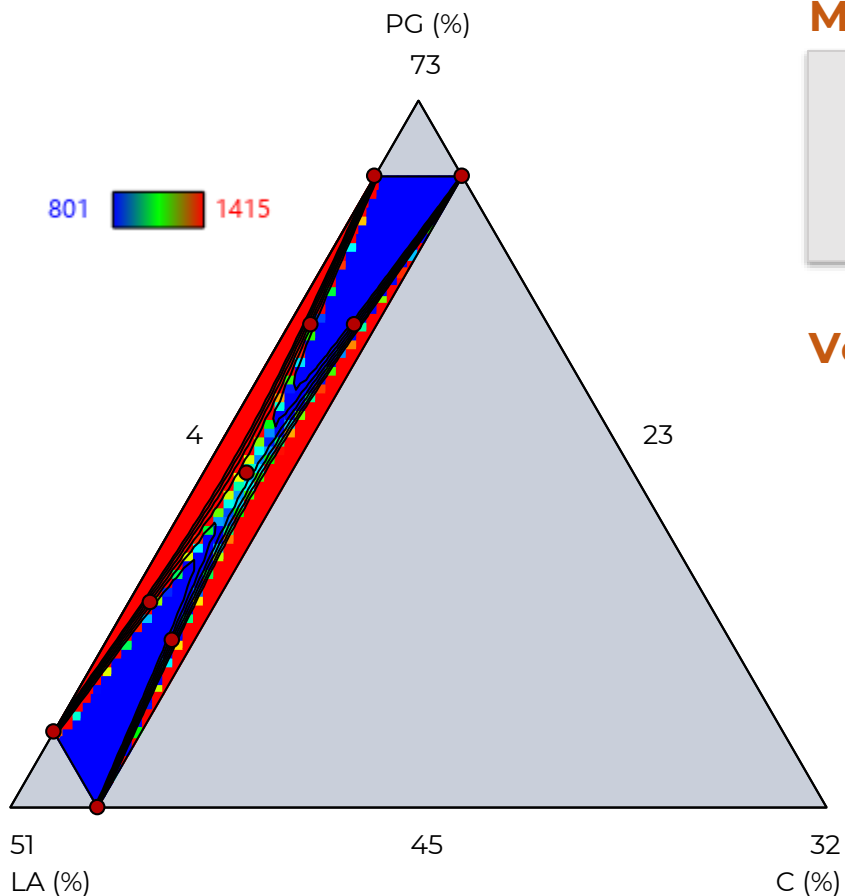
- ✓ CBR 4j > 20 et CBR 4j / IPI > 1
- ✓ Rc 28j > 1 MPa
- ✓ Rt 360j, E 360j : **zone V** de l'abaque de classification du GTS 2000

### Critères mécaniques pour couches d'assise :

- ✓ CBR 4j > 20 et CBR 4j / IPI > 1
- ✓ Rc 28j > 1,2 Mpa (trafic moyen)
- ✓ Rt 360j, E 360j : **zone TI** de l'abaque de classification du CFTR 2007



# 4. Optimisation des formulations par la méthode DOE : résultats et modélisation du mélange PG-LA-C (E 28j)



## Modèle mathématique :

$$E_{28j} = 150 PG - 598 LA + 193\,016 C + 33 PG.LA - 2152 PG.C - 2\,146 LA.C \text{ (MPa)}$$

$R^2 \text{ ajusté} = 92\%$

## Vérification pour mélange optimal couche d'assises :

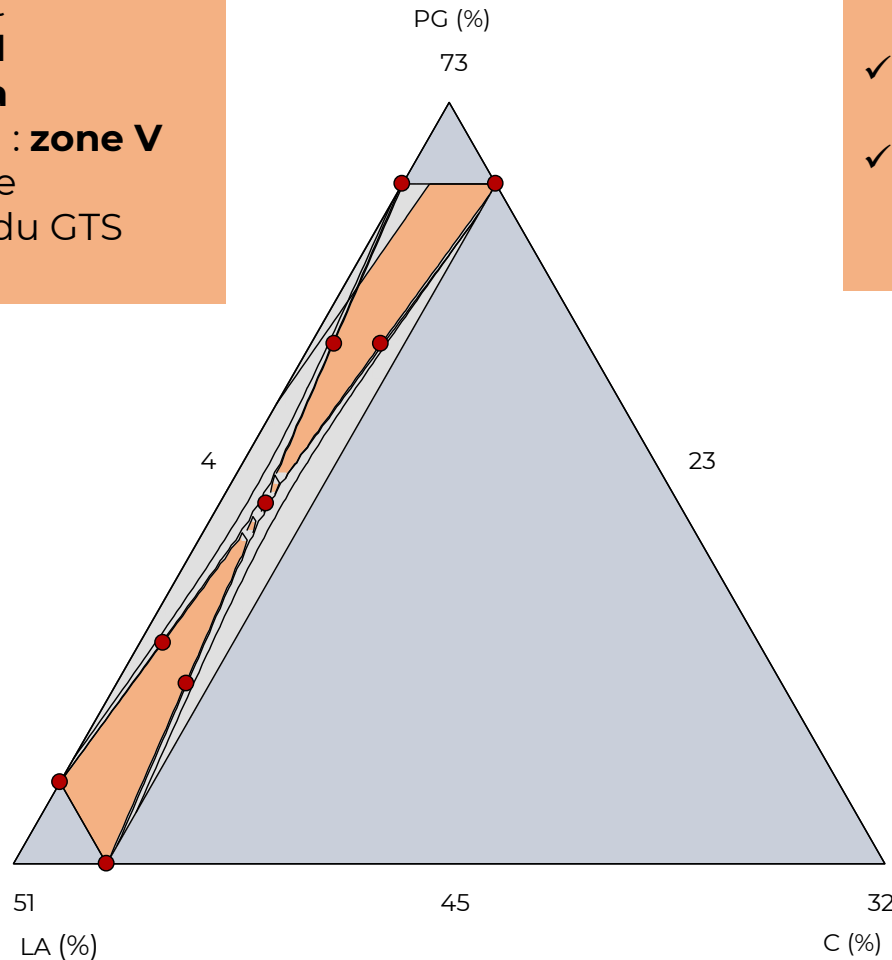
	Valeur du modèle (MPa)	Valeur expérimentale (MPa)	Erreur relative
E 28j	1 184	1 125	5%
E 90j	1 275 (extrapolée)	1 383	8%
E 360j	1 821 (extrapolée)	1 458	20%

- **Liant : 5%** pour la couche de forme et **6,15%** pour les couches d'assise
- **Coût : -23%** par rapport à une **structure classique équivalente**

# 4. Optimisation des formulations par la méthode DOE : domaines respectant les critères mécaniques

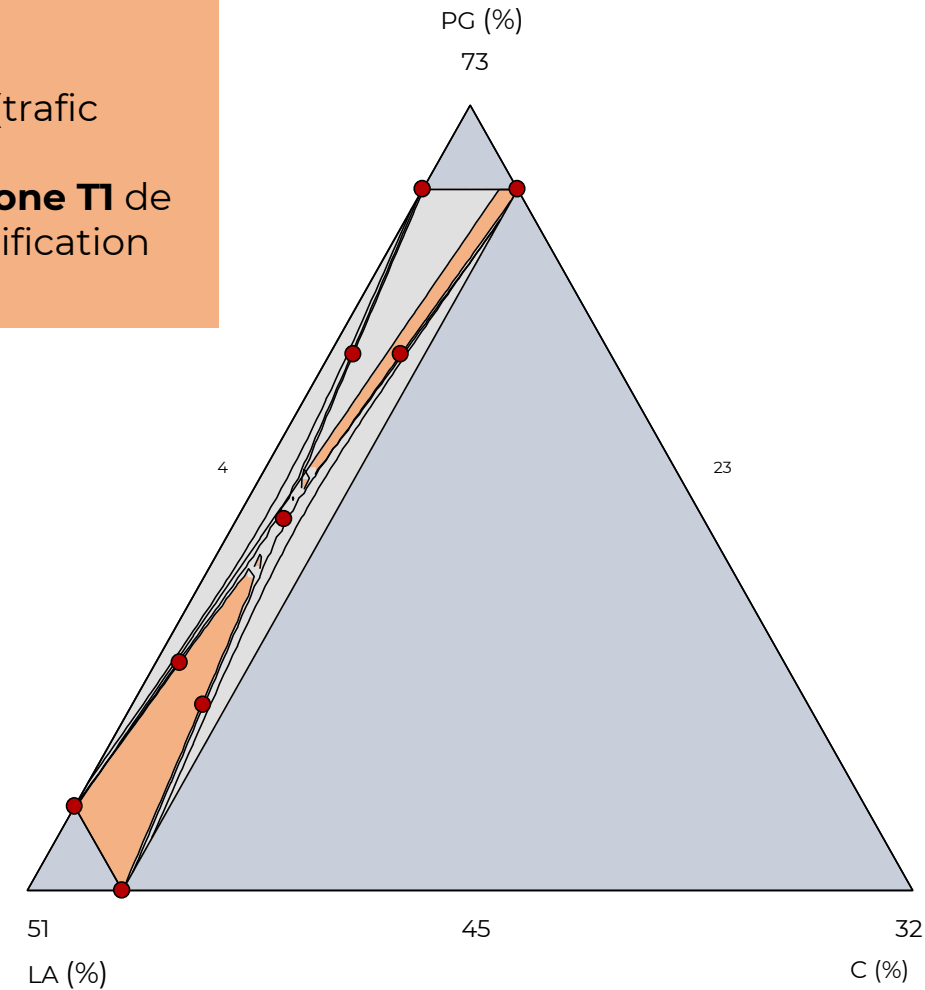
## Couche de forme

- ✓ CBR 4j > 20 et CBR 4j / IPI > 1
- ✓ Rc 28j > 1 MPa
- ✓ Rt 360j, E 360j : **zone V** de l'abaque de classification du GTS 2000



## Couches d'assise

- ✓ CBR 4j > 20 et CBR 4j / IPI > 1
- ✓ Rc 28j > 1,2 Mpa (trafic moyen)
- ✓ Rt 360j, E 360j : **zone TI** de l'abaque de classification du CFTR 2007



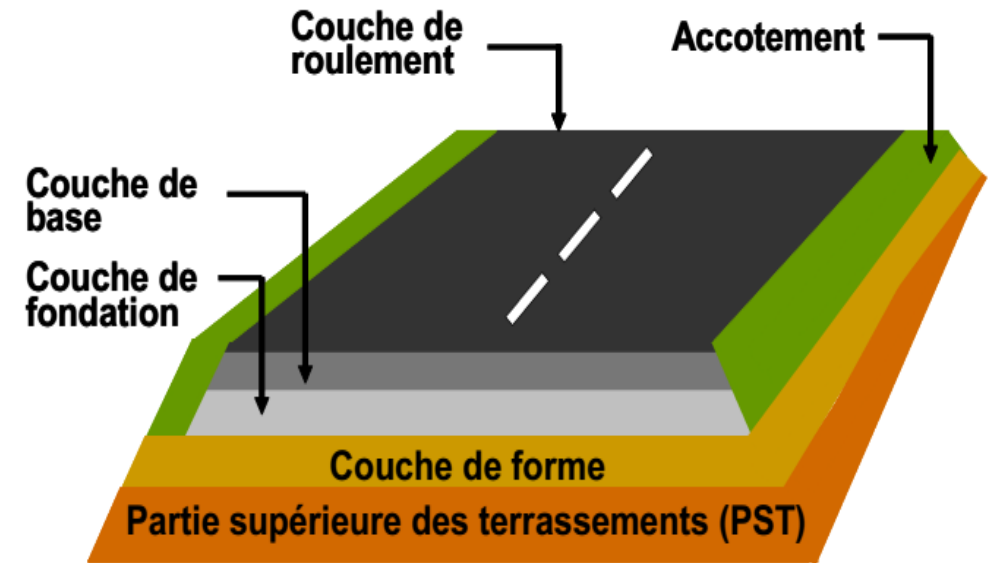
# 5. Optimisation des structures de chaussées



1. Types de structures de chaussée considérées et facteurs étudiés

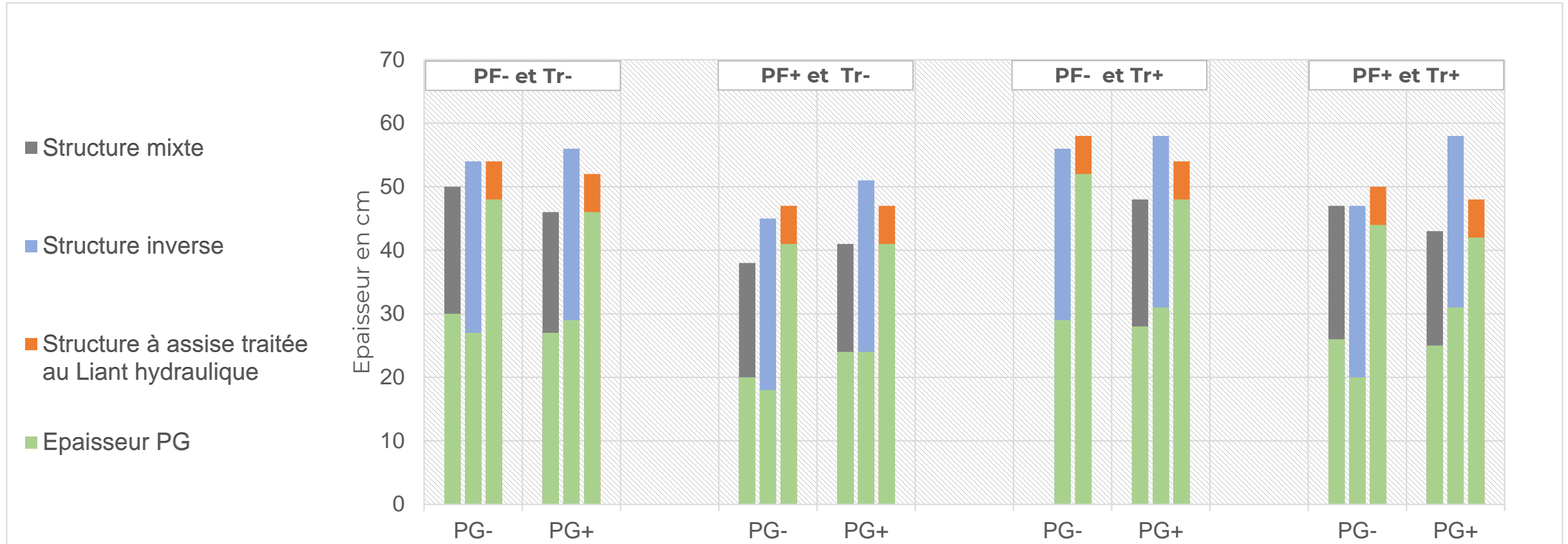


2. Résultats





# 5. Optimisation des structures de chaussées : effet des facteurs et conclusions



Quelque soit le **trafic**, la **portance du sol**, et les **performances du PG traité**, les structures **à assise traitée au liant hydraulique** sont plus compétitives que les autres.



La structure **inverse** peut être d'intérêt dans le cas d'un **trafic fort**, moins chère qu'une structure classique (mixte).

**ESSAIS DE FORMULATION : COMPLÉTER LES PLANS DE MÉLANGE DE FORMULATION UTILISANT DES STÉRILES, DES SABLES CONCASSÉS ET DU LHR**

**VALIDATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE**

**CONSTRUCTION DE 3 TRONÇONS DE ROUTES PILOTES SUR LE RESEAU ROUTIER CLASSE AU MAROC (PROVINCES D'EL JADIDA, SAFI ET BERRECHID :**

- 1 témoin de structure classique (mixte) et des variantes avec PG en structure inverse ou en structure à assise traitée.



11<sup>ème</sup> المؤتمر الوطني للطرق  
ⵙⵓⵔ ⵓⵎ ⵙⵓⵔ ⵓⵎ ⵙⵓⵔ ⵓⵎ  
Congrès National de la Route

MERCI

SOUS LE THÈME

Quels rôles de l'infrastructure  
routière dans le nouveau modèle  
de développement économique  
et social du Maroc ?

تحت شعار

أية مكانة لتطوير البنية التحتية  
الطرقية في تنزيل النموذج  
الجديد للتنمية الاقتصادية  
و الاجتماعية بالمغرب ؟

10 / 12  
نوفبر NOV  
DAKHLA 2022

الداخلة  
DAKHLA