

## Soirée CFMS en régions – Grenoble

# RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES

BOUCHUT Jocelyn

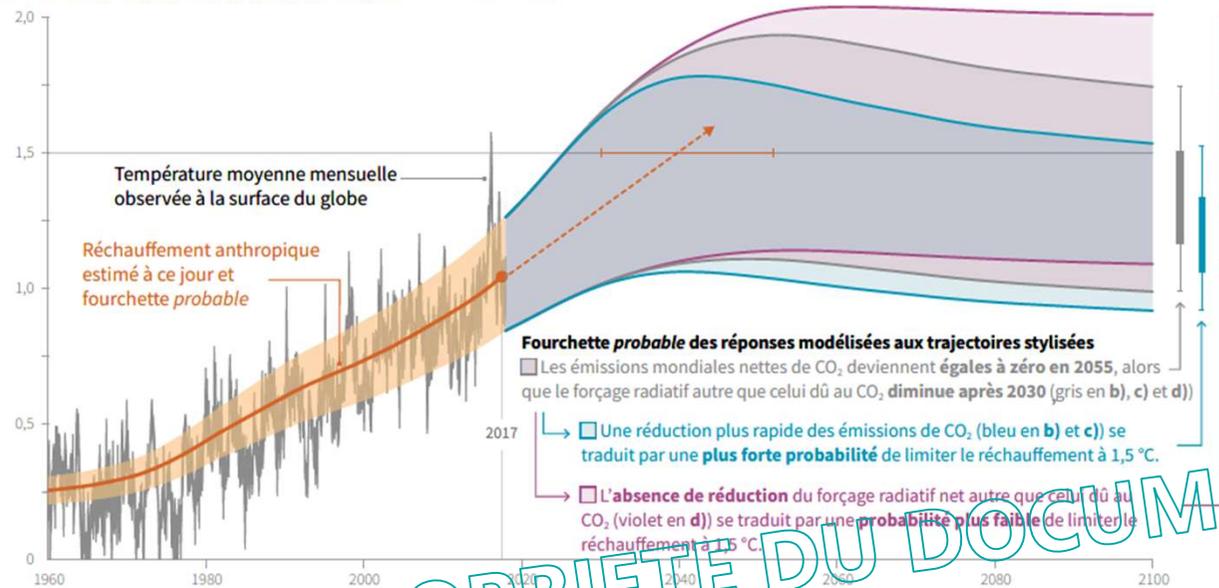
## SOMMAIRE

- Introduction
- Principes de calculs et facteurs d'émission
- Application aux ouvrages géotechniques de génie civil
- Application aux terrassements – Projet TERCO2

# INTRODUCTION

# Carbone et changement climatique

Réchauffement planétaire par rapport à la période 1850-1900 (°C)



PROPRIÉTÉ DU DOCUMENT : EGIS

65% of our carbon budget compatible with a 2° C goal already used

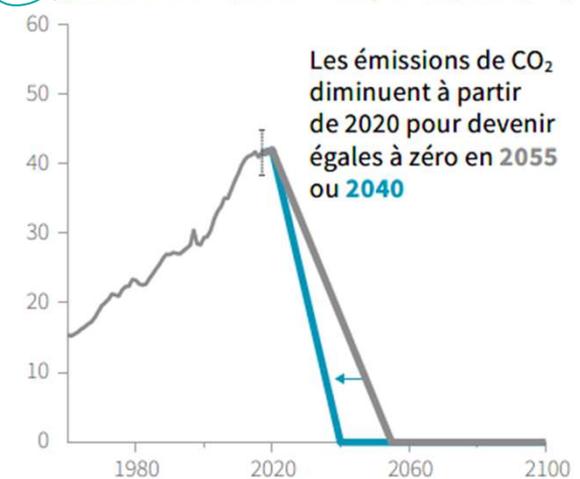


## Objectif carbone de la France

- ❖ - 40% en 2030 par rapport à 1990
- ❖ Neutralité carbone en 2050

b) Trajectoires stylisées des émissions mondiales nettes de CO<sub>2</sub>

en milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an (GtCO<sub>2</sub>/an)



**Nous avons un vrai levier de réduction des émissions CO2**

**En tant qu'ingénieur sur des projets d'infrastructures**



## A nous d'agir



**Emissions annuelles des 65000 étudiants de Grenoble**

**Emissions CO2 de 100 km de construction de LGV (BPL)**

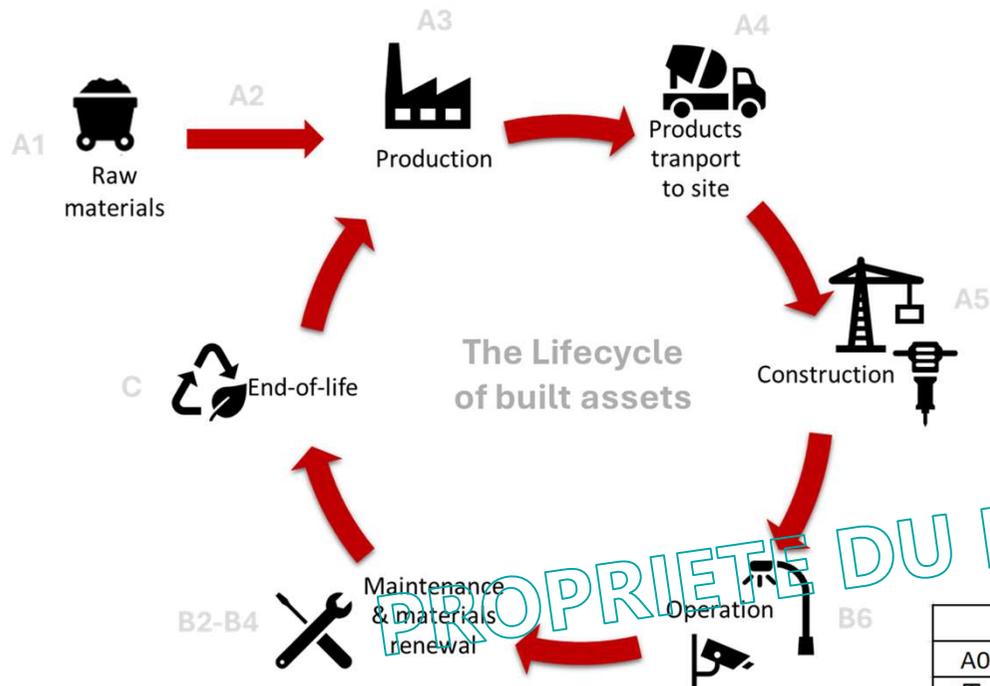


PROPRIETE DU DOCUMENT : EGIS

# PRINCIPES DE CALCULS ET FACTEURS D'ÉMISSION

# Cadre normatif : Analyse du cycle de vie

L'Empreinte carbone est le résultat d'une Analyse du Cycle de vie (ACV)



**ACV partielles**

- Périmètre technique, par exemple : ouvrages en terre, soutènements, bâtiment, etc.
- Etapes du cycle de vie, par exemple A1-A3 ou A1-A5 : production (et construction)

PROPRIÉTÉ DU DOCUMENT : EGIS

A0	Production			Construction		Fonctionnement/Exploitation					Fin de vie			
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Etudes et conception	Matière premières	Transport vers l'usine	Manufacture	Transport au chantier	Mise en œuvre	Utilisation	Maintenance	Réparations	Remplacement	Rénovation	Démolition	Transport vers filière	Traitement	Elimination
						B6	Consommation d'énergie							
						B7	Consommation d'eau							
						B8	Utilisation par l'utilisateur							

# Principes de calcul de l'empreinte carbone

- Formule de calcul d'un bilan d'émissions de GES

$$\text{Emissions de GES (teq CO}_2\text{)} = \sum \text{Données d'activité (t, m}^2\text{, m}^3 \text{...)} \times \text{Facteur d'émission (teq CO}_2\text{ / quantité)}$$

- Démarche similaire à celle de l'estimation du coût d'un projet
- Démarche effectuée à tous les stades du projet



# Principes de calcul de l'empreinte carbone

$$\text{Emissions de GES (teq CO}_2\text{)} = \sum \text{Données d'activité (t, m}^2\text{, m}^3\text{ ...)} \times \text{Facteur d'émission (teq CO}_2\text{ / quantité)}$$

- Les données d'activité (= métrés) proviennent de la conception :
  - Etudes géométriques de l'ouvrage
  - Conception des ouvrages
  - Dimensionnement des structures du projet
- 3 grands types de données d'activité pour la construction d'une infrastructure



Exemples sur les étapes « Production » et « Construction »

# Les facteurs d'émission

$$\text{Emissions de GES (teq CO}_2\text{)} = \sum \text{Données d'activité (t, m}^2\text{, m}^3 \text{...)} \times \text{Facteur d'émission (teq CO}_2\text{ / quantité)}$$

- Fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES) / Déclarations environnementales de Produits (DEP) selon EN 15804+A2
  - Etablies par les industriels ou les syndicats de fabricants. Précises
- Données générales issues de BDD françaises ou internationales type ADEME, EcoInvent, etc.
  - Données primaires ou issues d'étude de filière.
- Données issues de REX et de guides
  - Explicites ou non, généralement basées sur les FE primaires et des hypothèses.

**Attention à la bonne adéquation entre Facteur d'émission (FE) et produit ou activité**

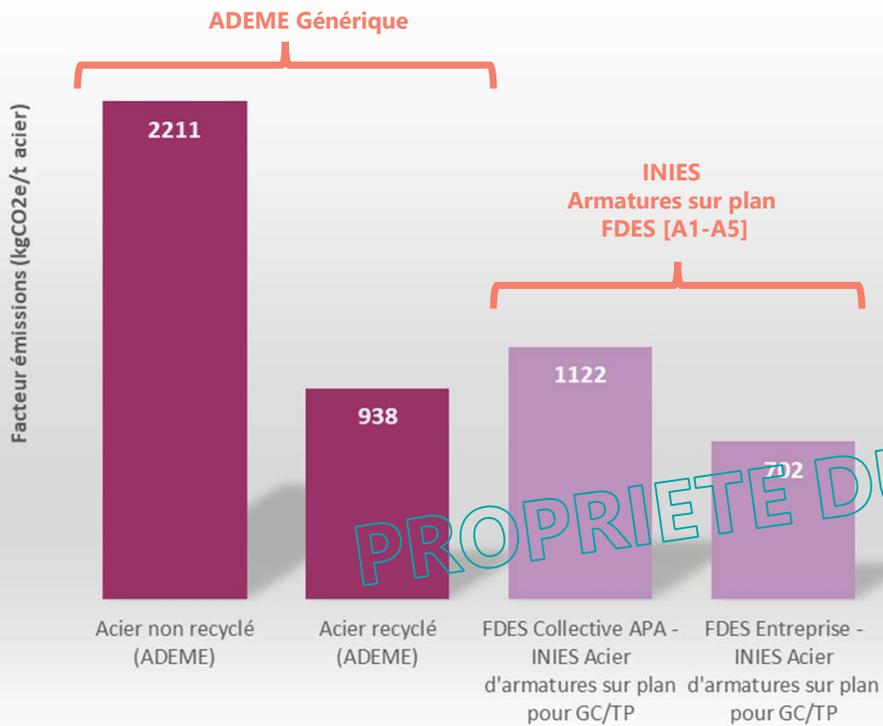
**Bien connaître les spécifications techniques des produits et les méthodes de mise en œuvre**

**Faire preuve d'esprit critique**

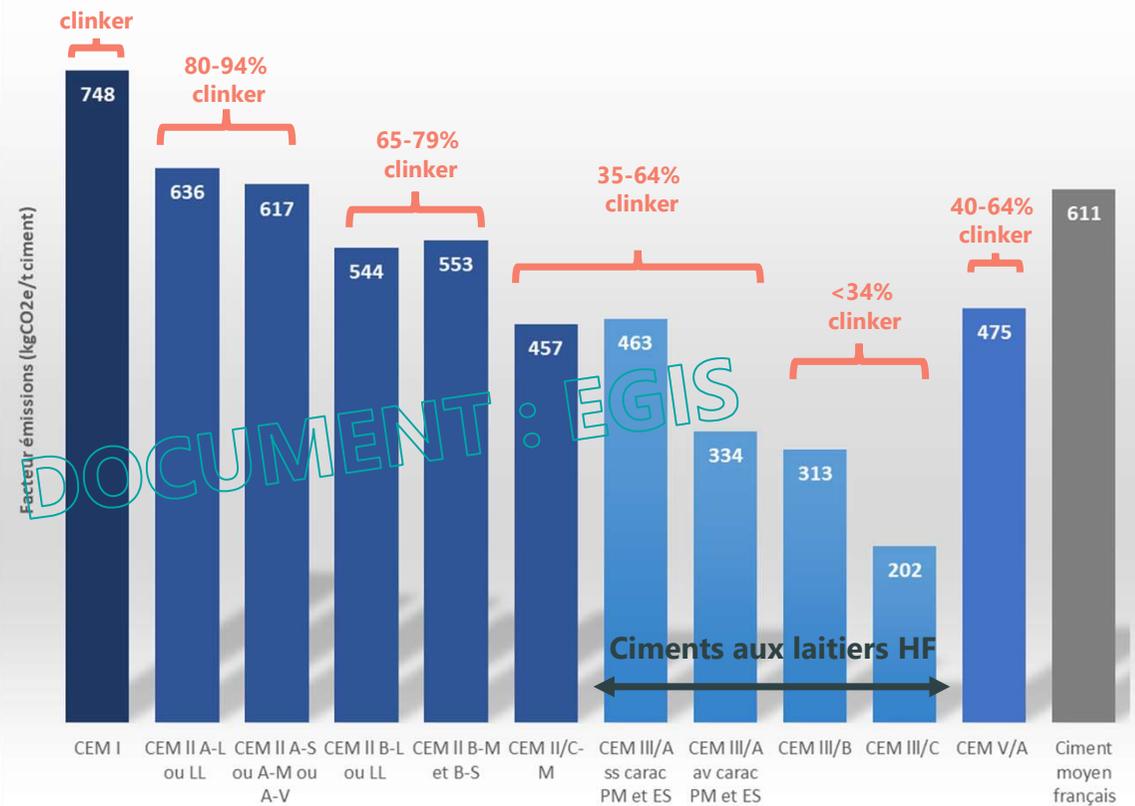
# Principes de calcul de l'empreinte carbone

## Choix des facteurs d'émission

Facteurs d'émissions de l'acier (ADEME - INIES)

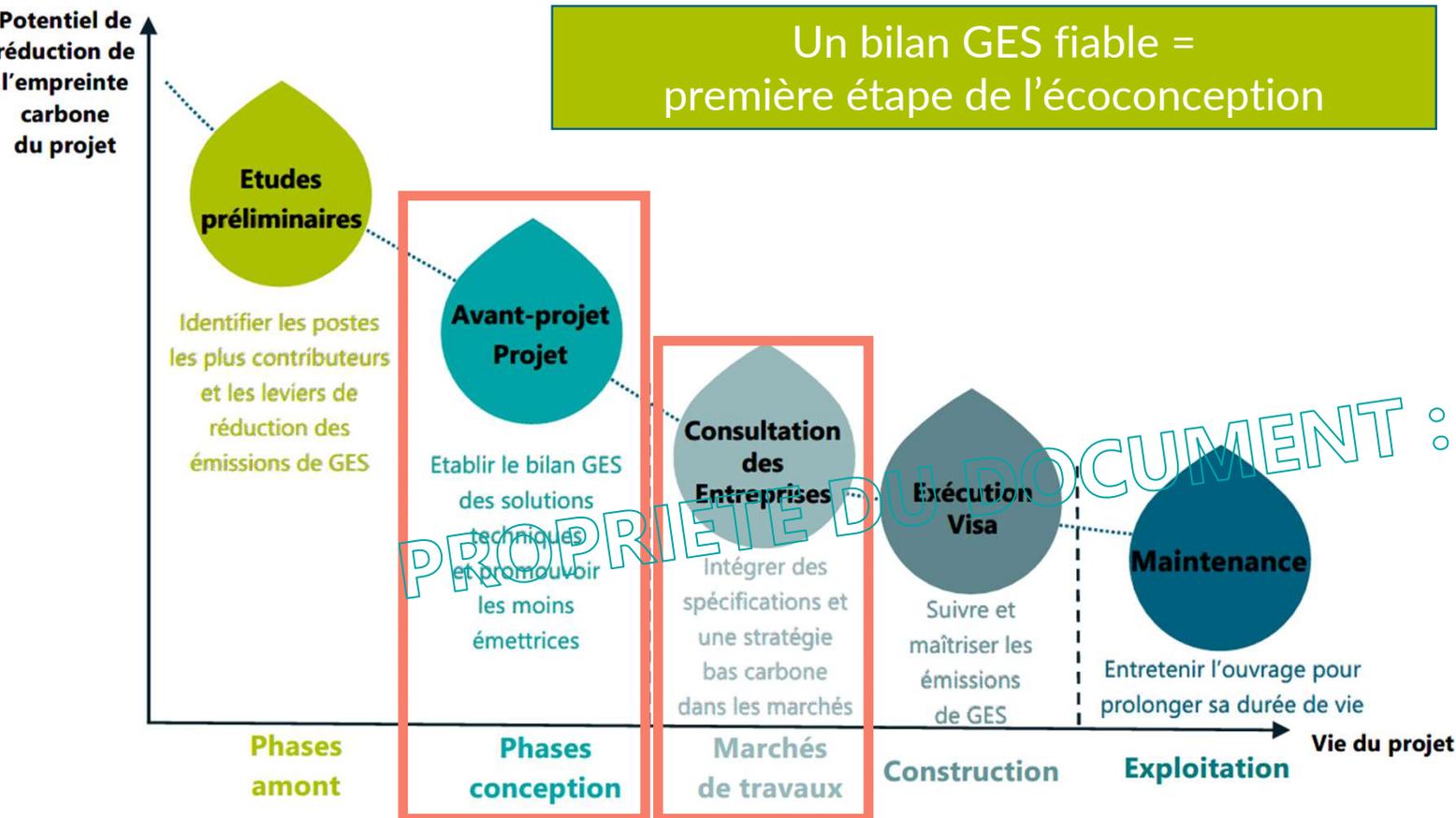


Facteurs d'émission du ciment (France Ciment 2024)



# LES ETAPES DE L'ECO-CONCEPTION

Une approche métier à mener tout au long du projet



## • AVP / PRO

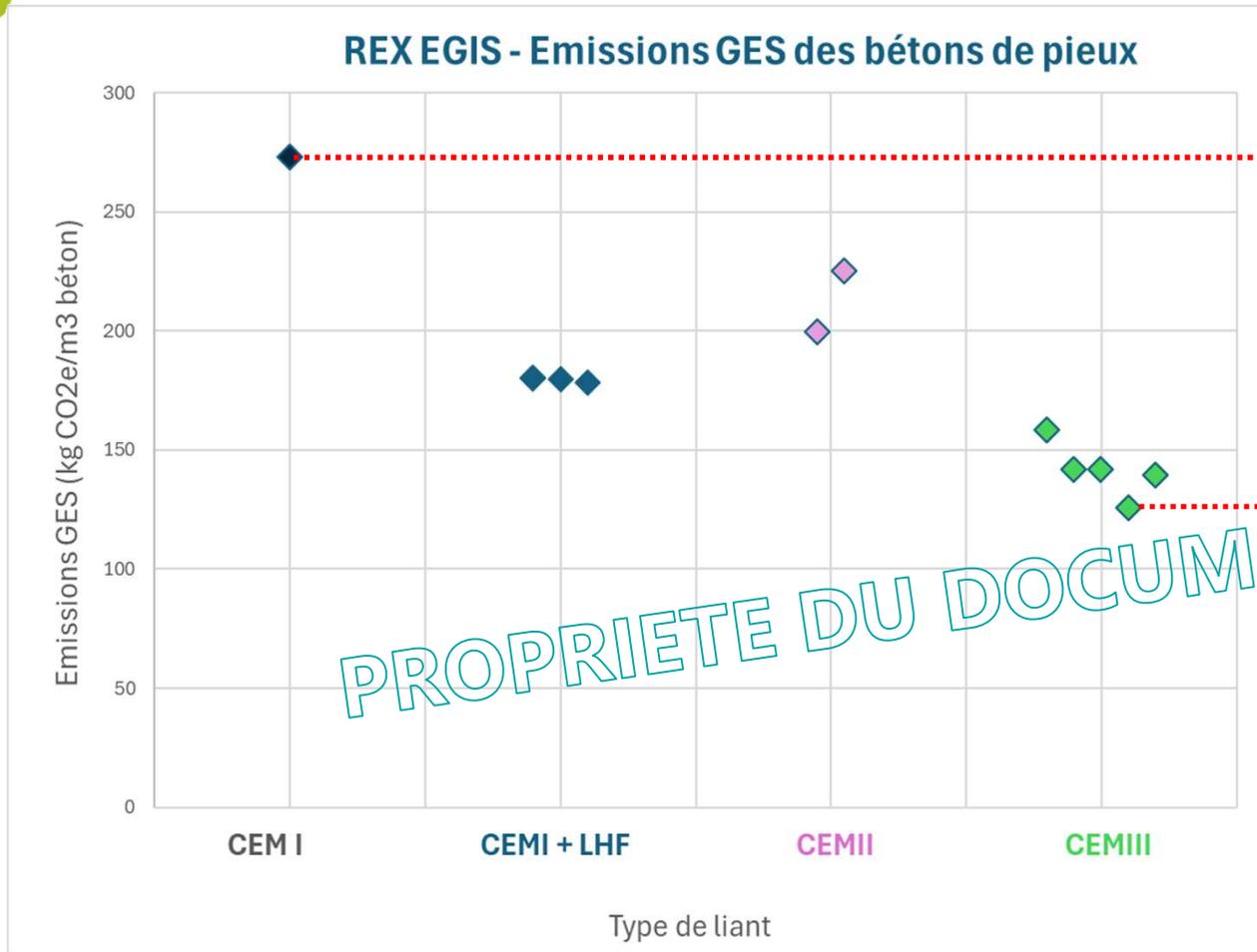
- Comparaison de solutions techniques en termes d'émissions de GES
- Mise en avant des solutions les moins émissives
- Optimisation carbone de la solution retenue

## • Adaptation des marchés de travaux

- Spécifications techniques
- Définition d'objectifs « carbone »
- Règles d'attribution

# APPLICATION AUX OUVRAGES GÉOTECHNIQUES DE GÉNIE CIVIL

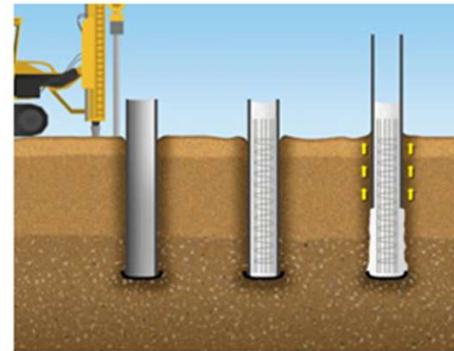
# Un levier de réduction des GES : la formulation des bétons



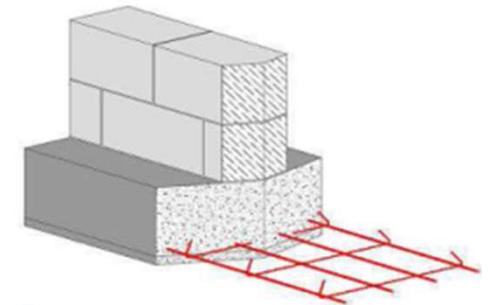
# Les ouvrages géotechniques de génie civil



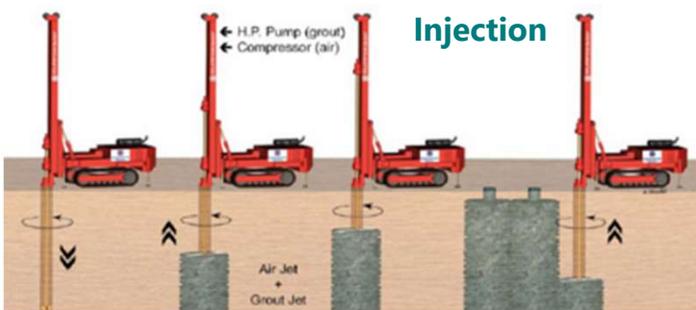
Parois continues et discontinues



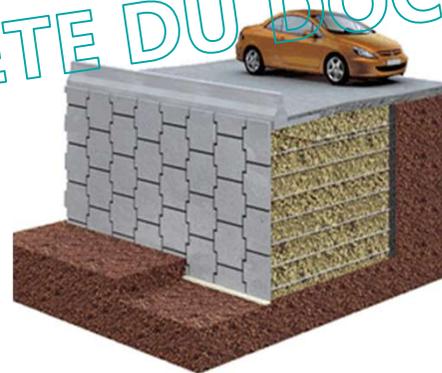
Pieux et fondations superficielles



PROPRIÉTÉ DU DOCUMENT : EGIS



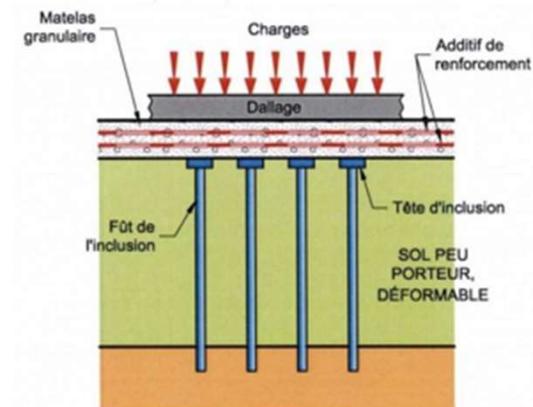
Injection



Murs sols renforcés

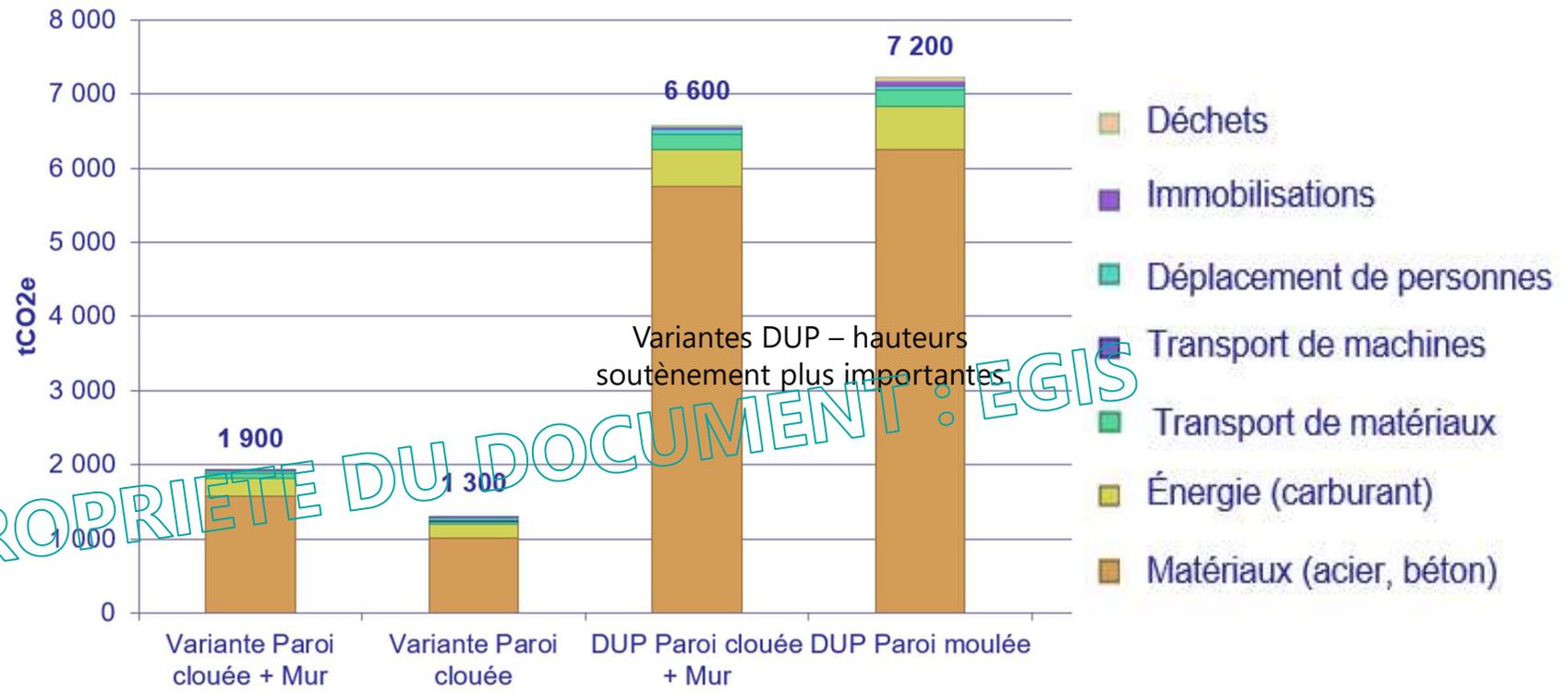
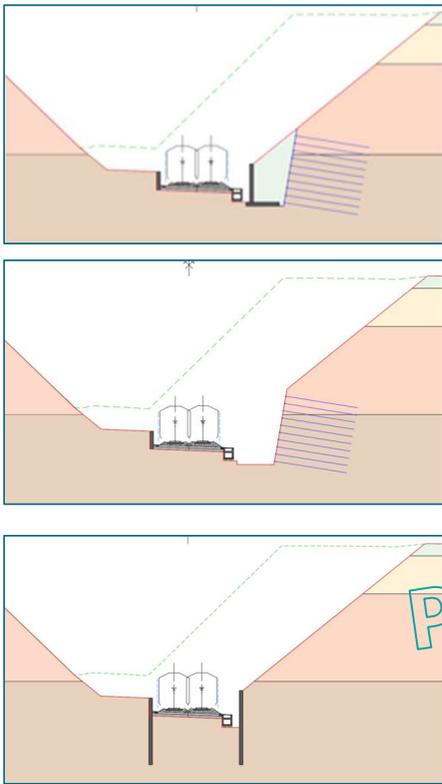


Murs cloués



Inclusions rigides

# Bilan GES de soutènement : Tram-train T13 (utilisation du calculateur EFFC-DFI)



# Application aux ouvrages géotechniques

## Empreinte carbone d'un mur cloué :

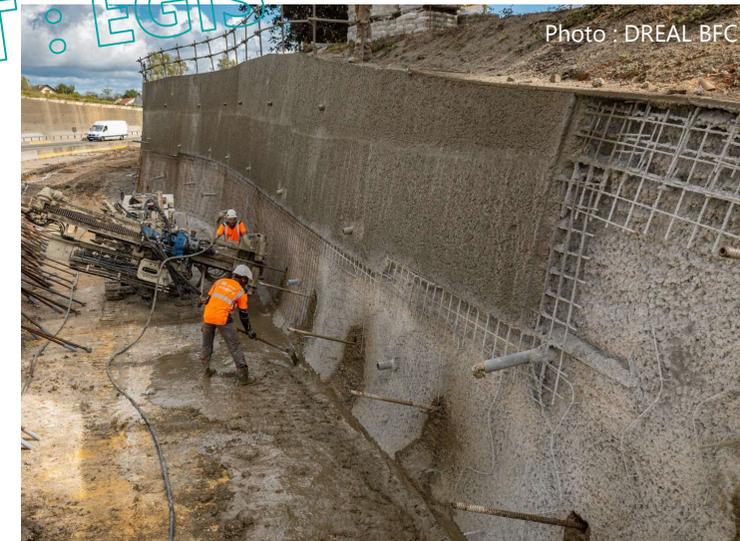
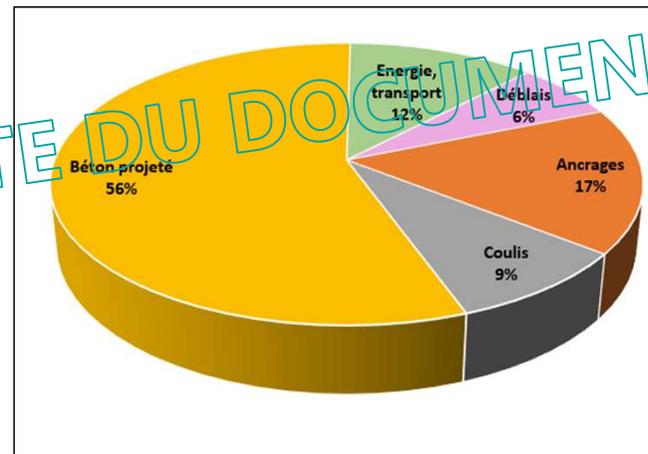
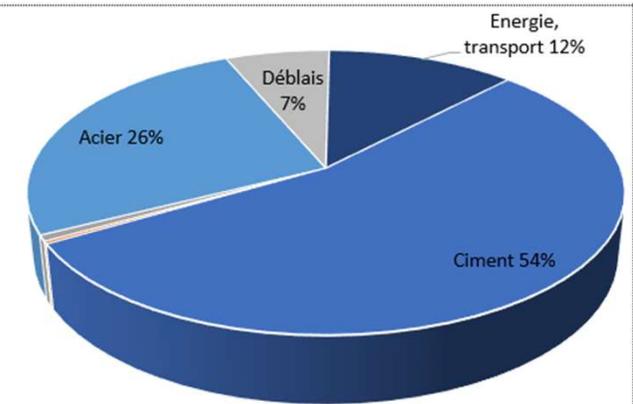
- D380, élargissement de la RN70 à Blanzay
- Mur ~3200 m<sup>2</sup>
- Hauteur moyenne ~5,5 m
- Niveau d'études : PRO

## Hypothèses de dimensionnement

- Clous HA32, forage 110mm, coulis réalisé avec du ciment CEM III A PM ES
- Béton projeté ép. 20 cm (réalisé avec du ciment CEM I 2 ST 25 C)
- Déblais ~ 20 000 m<sup>3</sup> mis en dépôt à 2 km
- FE ATILH 2023, UNPG, ADEME (acier non recyclé)

Empreinte carbone mur cloué D380 :  
675 t CO<sub>2</sub>e

soit :  
211 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> paroi



# APPLICATION AUX TERRASSEMENTS PROJET TERCO2

# Application aux terrassements – TERCO2

Activité déblai et transport sur chantier  

Activité mise en œuvre de remblai (régalage / compactage)   



Activité traitement des sols : épandage et malaxage  



PROPRIÉTÉ DU DOCUMENT : EGIS

# Objectifs du projet TERCO2

Etablissements de FE terrassement ramenés au m<sup>3</sup>

Comparaison de solutions techniques de terrassement et de traitement des sols

Partenaires



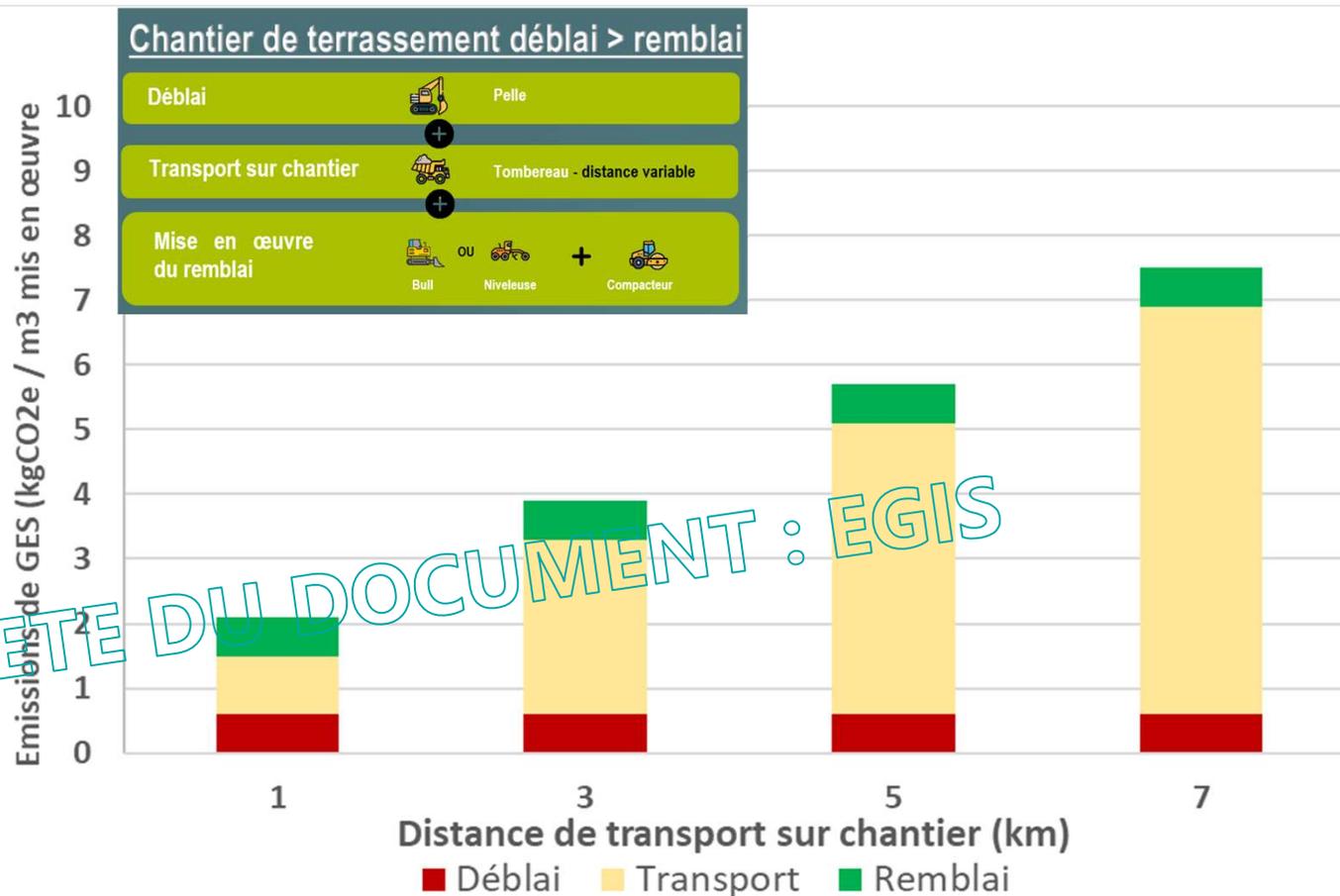
Prix de l'innovation



Catégorie ingénierie géotechnique



## Terrassements

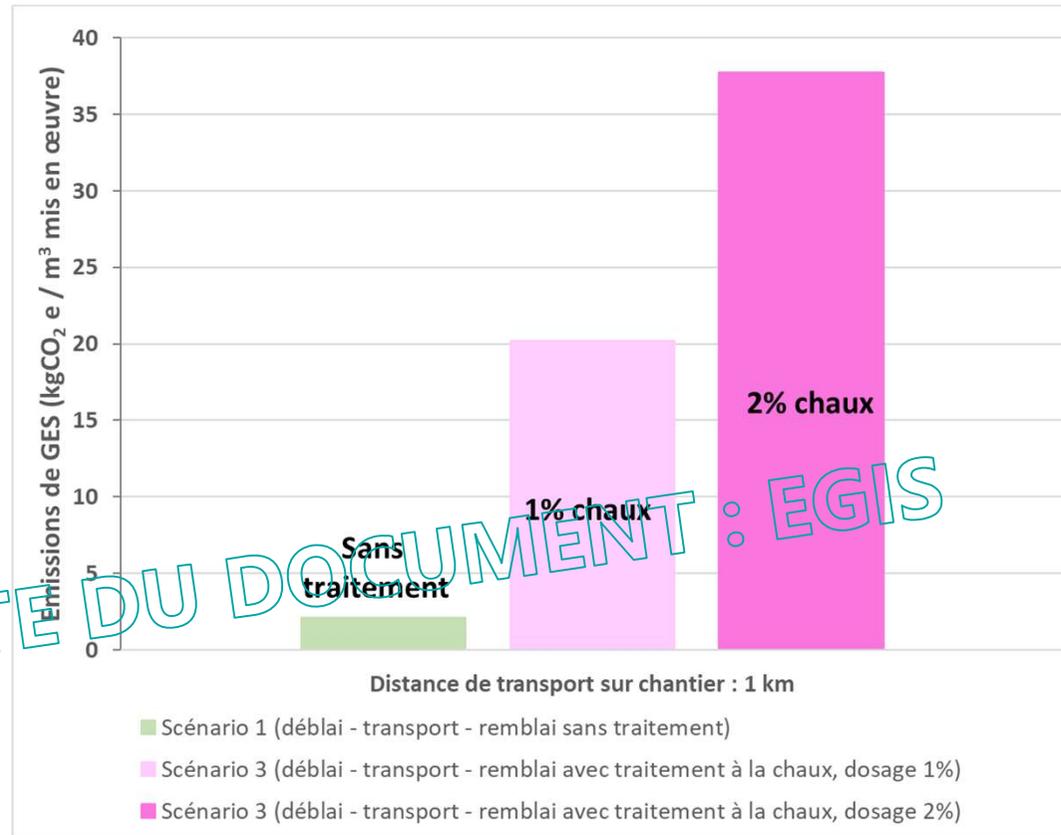


Dans une solution déblai – remblai, le transport sur chantier représente plus de 50% des émissions dès que la distance de transport dépasse 1,3 km

## Le paradoxe du traitement de sol



## Terrassements



## Traitement des sols

Les émissions de GES sont multipliées par 10 entre un remblai non traité et un remblai traité à 1% de chaux (hypothèse distance déblai – remblai de 1 km)

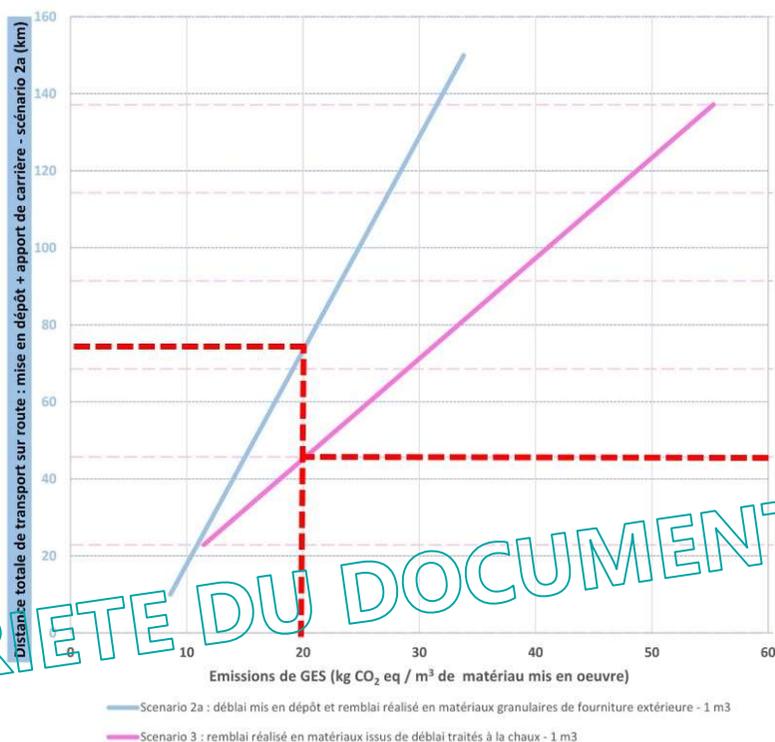
# Des outils d'aide à la décision

Pour une mise en œuvre concrète de l'éco-conception

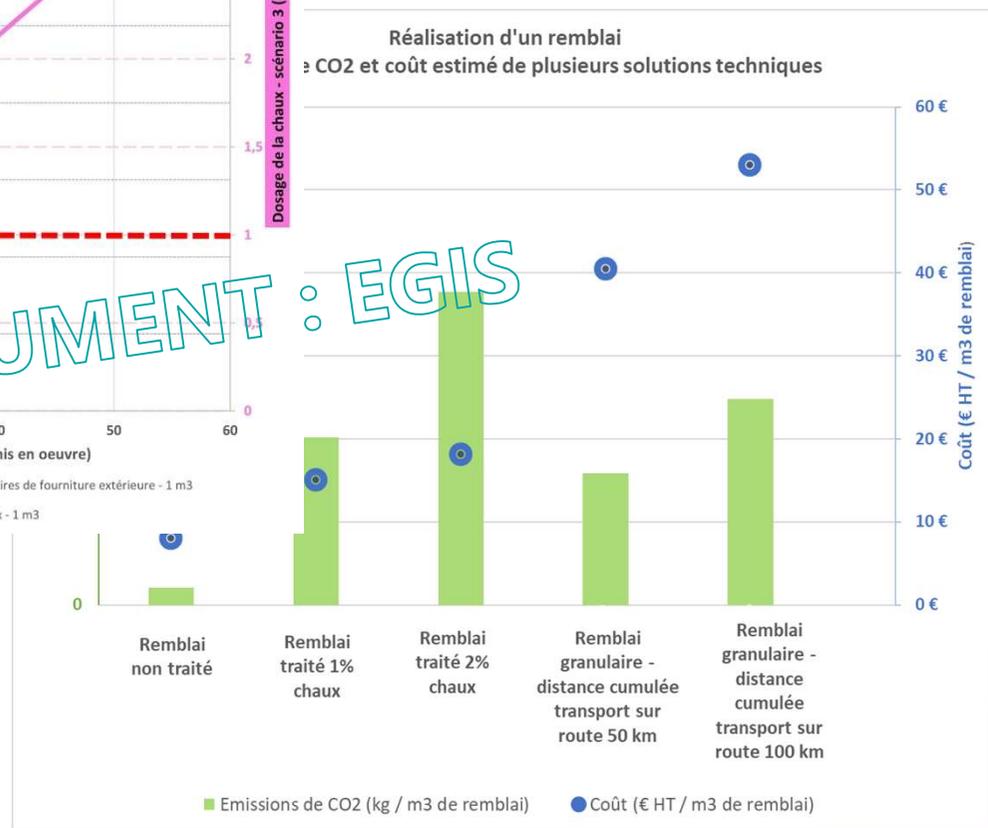
Au sein de la MCE, pour les MOA



## Terrassements



### Comparaison de solutions techniques (remblai granulaire / remblai traité)



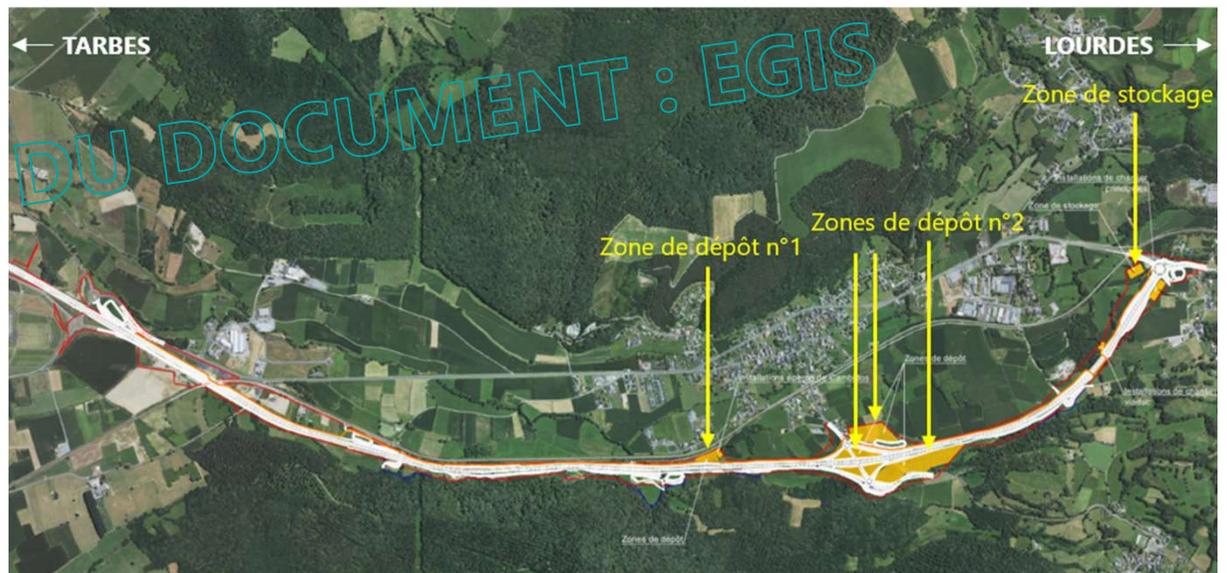
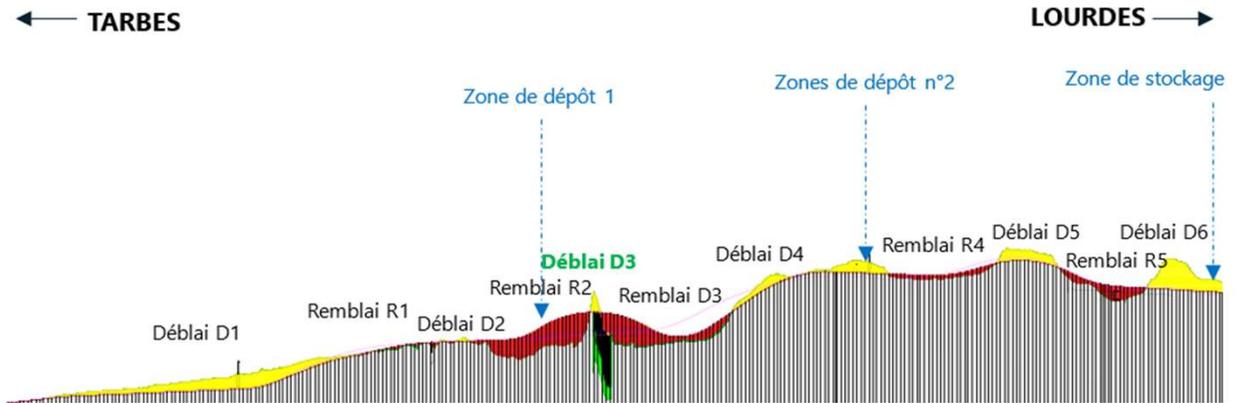
### Comparaison technico-économique de solutions

# Application aux terrassements

## Calcul de l'empreinte carbone des terrassements du projet de la Déviation d'Adé

- Projet situé entre Tarbes et Lourdes
- RN21, 6km de mise à 2x2 voies
- Phase PRO

- Stratégie de terrassement au stade des études :
  - Pas de traitement
  - Carrière proche pour les matériaux granulaires de couche de forme et de substitution
  - Travail approfondi sur le mouvement des terres



# Application aux terrassements

## Calcul de l'empreinte carbone des terrassements du projet de la Déviation d'Adé

Résultats : estimation de l'empreinte carbone des terrassements du projet :

~2500 tCO<sub>2</sub>e

Scénarios alternatifs non optimisés

- Carrière distante de 10 km au lieu de 3 km :

~+100 tCO<sub>2</sub>e

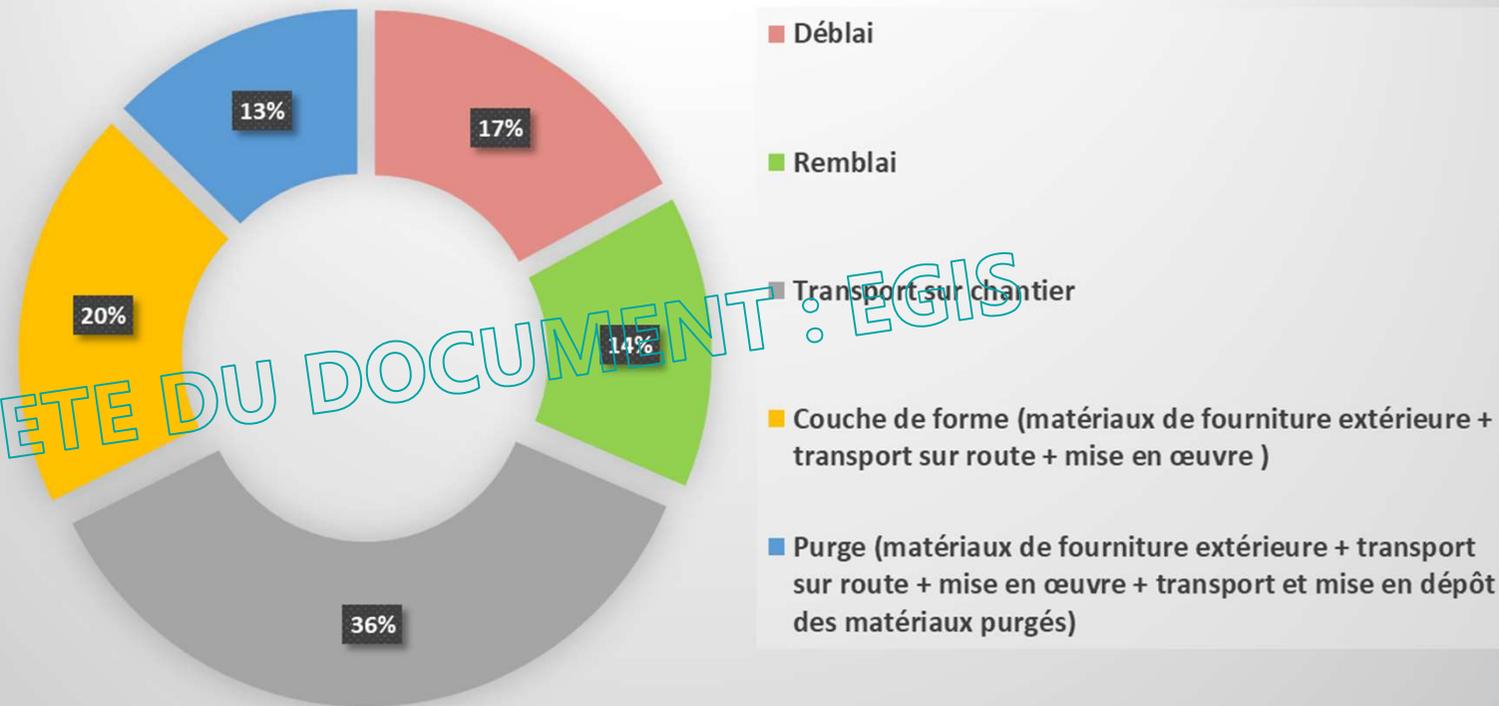
- Augmentation des distances moyennes de transport du chantier de 1 km :

~+500 tCO<sub>2</sub>e

- Nécessité de traiter 30% des remblais à 2% de chaux :

~+3250 tCO<sub>2</sub>e

Répartition des postes d'émission de GES des terrassements - Déviation d'Adé





**Merci de votre attention**

**Contacts :**  
[jocelyn.bouchut@egis-group.com](mailto:jocelyn.bouchut@egis-group.com)

**Vidéo de présentation de TERCO2 en 2 min :**

<https://www.youtube.com/watch?v=-BE-6Rmc1cQ>