

## Etude comparative en technique routière Traitement des sols vs Emprunts granulaires

**Les travaux de remblais et de couche de forme peuvent faire appel à deux techniques : celle des Emprunts granulaires, qui consiste à utiliser des matériaux granulaires en provenance de ballastières ou de carrières, et celle du Traitement des sols en place aux liants hydrauliques, qui consiste à valoriser les sols naturels en les mélangeant avec un liant hydraulique et de l'eau. Pour évaluer et comparer ces deux techniques au niveau économique ou environnemental (Énergie et CO<sub>2</sub>), une méthode graphique de comparaison a été mise au point, dont les principes sont présentés dans cette documentation technique ci-après.**

### INTRODUCTION

Pour construire des routes, des autoroutes, des aires aéroportuaires, ou tout aménagement d'aires à caractère industriel, commercial ou logistique, il est nécessaire de concevoir et de réaliser, au préalable, une plate-forme support de capacité portante minimale, permettant la construction de la structure de chaussée proprement dite. La réalisation de la plate-forme support, qui fait partie du domaine des terrassements routiers, consiste à effectuer des travaux de nivellement (déblais, remblais) et à exécuter une couche structurelle qu'on désigne par "couche de forme".

Les techniques des emprunts granulaires et de traitement des sols en place aux liants hydrauliques présentent des avantages et des inconvénients, tant sur le plan économique qu'environnemental.

La technique des emprunts granulaires, faisant appel à des granulats dont l'extraction et la fabrication n'ont que peu d'impact en matière économique et environnementale, peut être handicapée par les impacts générés :

- par le transport des granulats (un produit pondéreux), dès que la distance carrière-chantier dépasse un certain seuil.
- par le transport des sols excédentaires, du chantier jusqu'à la décharge.

La technique de traitement des sols en place aux liants hydrauliques nécessite l'utilisation d'un liant hydraulique, dont la fabrication représente un impact non négligeable tant sur le plan économique qu'environnemental, mais ce liant est utilisé en faible dosage et les quantités à fabriquer et à transporter sont faibles, comparées à celles des emprunts granulaires.

Ainsi, en fonction du contexte propre à chaque projet

(distance carrière-chantier, distance chantier-décharge, dosage du liant et distance usine-chantier), l'une ou l'autre technique peut s'imposer sur le plan économique et/ou sur le plan environnemental.

Cette documentation technique présente les principes d'une méthode graphique qui permet l'évaluation et la comparaison d'ordre économique ou environnemental (Énergie et CO<sub>2</sub>) entre la technique de Traitement des sols et la technique des Emprunts granulaires.

Cette méthode possède un double avantage :

- elle permet à l'utilisateur de choisir, en fonction des données locales de ses projets, les valeurs des paramètres à chaque étape de l'étude,
- elle aide à estimer et à comparer, rapidement et visuellement, selon une progression cumulative, laquelle des deux techniques Traitement des sols ou Emprunts granulaires est la plus adaptée sur le plan économique ou environnemental.

Elle prend en compte les impacts de fabrication (liant, granulats), de transport (liant, granulats, sols excédentaires) et de mise de œuvre des matériaux (Sol traité, Emprunts granulaires).

Elle n'intègre pas certains facteurs qui auraient avantagé la technique de Traitement des sols et qui sont : le coût de mise en décharge des sols excédentaires, le coût d'entretien du réseau routier qui aurait été dégradé par le trafic occasionné par le chantier (transport des matériaux) et le coût sociétal pour les riverains lié à ce trafic (risques d'accidents, nuisances...).

L'élaboration du diagramme Economique est une adaptation de l'abaque publié dans l'annexe 4 du guide technique "Traitement des sols à la chaux et aux liants hydrauliques" (GTS - SETRA/LCPC - 2000). Les diagrammes Environnement (Energie et CO<sub>2</sub>) ont été conçus selon la même méthode, mais sont totalement inédits.

## PRINCIPES FONDAMENTAUX

### Le découpage en 2 zones comparatives

Chacun des 3 graphiques proposés dans ce document est divisé en 2 zones (la Zone 1 en vert à gauche et la Zone 2 en rouge à droite), chaque zone représentant une technique spécifique qui est, elle-même, répartie en 4 quadrants.

#### La Zone 1

Elle couvre la moitié gauche des graphiques et concerne **la technique de Traitement des matériaux en place.**

Dans cette zone, le paramètre prépondérant est le liant, qu'il faut fabriquer, transporter jusqu'au chantier où le processus de mise en œuvre (épandage en petites quantités, de l'ordre de 30 kg/m<sup>2</sup>, malaxage, arrosage, nivellement, compactage et cure) est mené jusqu'à son terme.

Ceci permet d'obtenir un matériau traité pour une utilisation en remblais (impact évalué au m<sup>3</sup> de Sol traité) ou en couche de forme (impact évalué au m<sup>2</sup> de Sol traité).

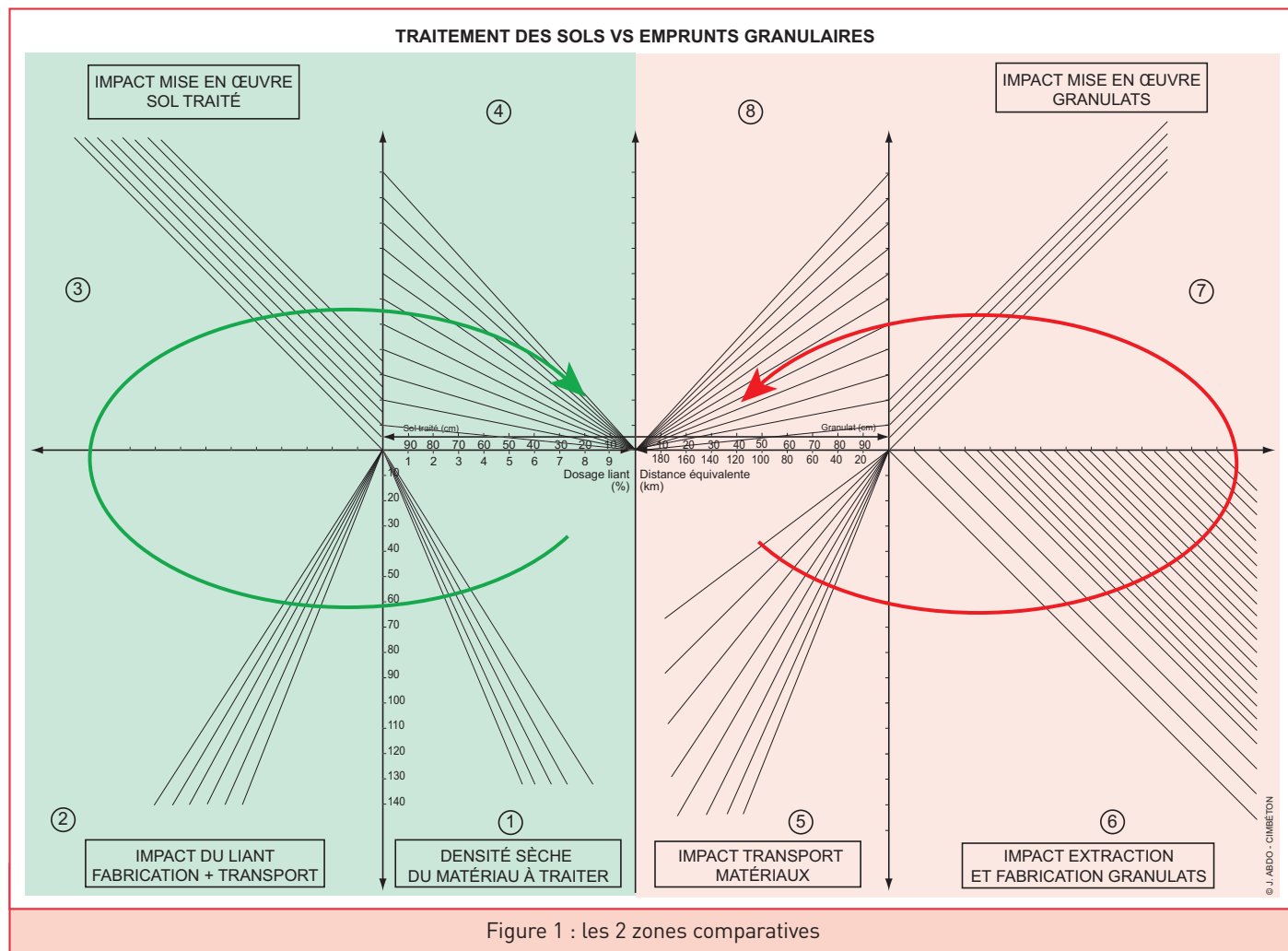
Dans la Zone 1, il est donc évident que l'étude de comparaison débute par le dosage du liant.

#### La Zone 2

Elle couvre la moitié droite des graphiques et concerne **la technique des Emprunts granulaires.**

Dans cette zone, le paramètre prépondérant est la distance équivalente, qui est la somme des distances carrière-chantier et chantier-décharge. En effet, la technique des Emprunts granulaires nécessite, outre l'extraction et la fabrication des granulats, et leur mise en œuvre (nivellement, arrosage, compactage), le transport d'un matériau pondéreux, pour une utilisation en forte épaisseur dans le cas de remblais et en grandes quantités (à raison d'une tonne par m<sup>2</sup>) dans le cas d'une couche de forme, et surtout la mise en décharge des sols excédentaires.

Dans la Zone 2, il est donc évident que l'étude de comparaison débute par la distance équivalente.



## ETUDE DE LA ZONE 1 TRAITEMENT DES SOLS

Cette zone se décompose en 4 quadrants numérotés 1, 2, 3 et 4, dont voici les caractéristiques essentielles de chacun.

### Quadrant 1

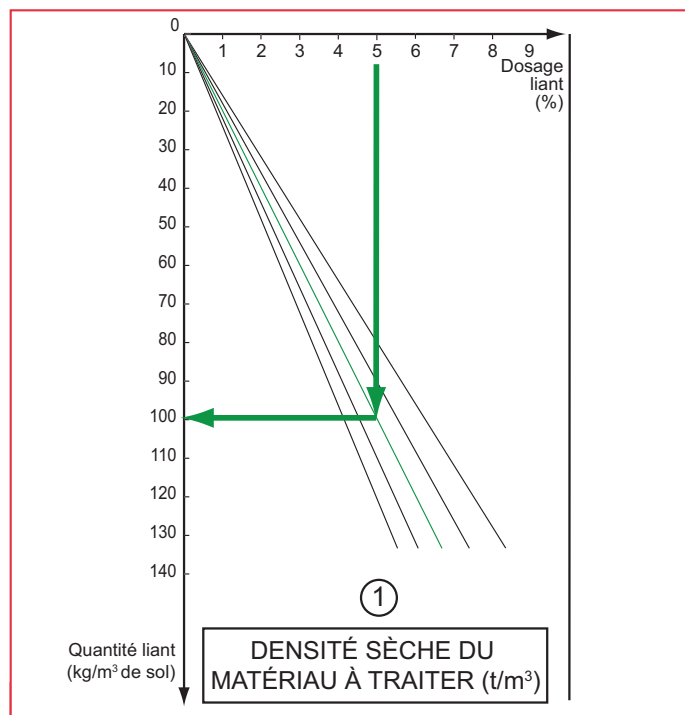


Figure 2 : zone Sol traité - Quadrant densité sèche matériau

Il permet de calculer la quantité de liant nécessaire par m<sup>3</sup> de sol pour obtenir les performances recherchées du matériau traité, dans le cadre du projet étudié.

Dans ce quadrant figurent une famille de droites (passant par l'origine) qui représentent différentes densités sèches, correspondant à une large gamme de matériaux qu'on peut rencontrer dans la nature (figure 1).

Ainsi, pour un projet donné, lorsqu'on connaît la densité sèche du sol et le dosage en liant, il suffit de tracer une verticale descendante à partir du chiffre du dosage liant jusqu'à l'intersection avec la droite de densité sèche choisie : on lit alors directement, sur l'axe vertical de ce Quadrant, la quantité de liant au m<sup>3</sup> de sol qu'il faut prévoir afin de traiter ce sol.

### Quadrant 2

La quantité de liant pour un m<sup>3</sup> de sol ayant été déterminée par le Quadrant 1, le Quadrant 2 permet alors de calculer son impact sur le plan économique ou sur le plan environnemental (Energie ou CO<sub>2</sub>). Dans ce Quadrant figurent des droites (passant par l'origine) qui, selon le graphique utilisé, seront d'ordre économique ou d'ordre

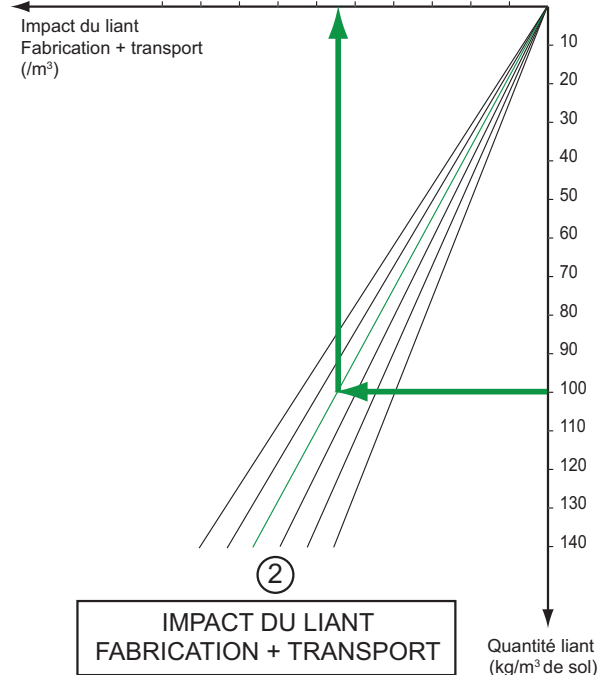


Figure 3 : zone Sol traité - Quadrant impact liant

environnemental (Energie ou CO<sub>2</sub>).

Chacune de ces droites a une valeur d'impact qui prend en compte la fabrication et le transport du liant entre l'usine et le chantier (figure 2).

Ainsi, pour un projet donné, lorsqu'on connaît l'impact total (fabrication + transport) d'une tonne de liant, il suffit de prolonger horizontalement la droite du Quadrant 1 jusqu'à l'intersection avec la droite correspondant à l'impact choisi : on lit alors directement, sur l'autre axe du Quadrant 2, l'impact du liant par m<sup>3</sup> de Sol traité.

### Quadrant 3

Il concerne l'impact de la mise en œuvre.

Dans ce Quadrant figurent des droites parallèles qui correspondent à différentes hypothèses, relatives aux impacts de l'atelier de mise en œuvre (épandeur, malaxeur, arroseuse, compacteur, niveleuse).

Ces droites ont été tracées afin d'intégrer le cumul des impacts des Quadrants 2 et 3 : elles sont donc inclinées à 45° et possèdent des ordonnées à l'origine équivalentes aux valeurs des impacts qu'elles représentent (figure 4).

La valeur de l'impact du liant au m<sup>3</sup> de Sol traité ayant été déterminée par le Quadrant 2, il suffit de prolonger verticalement, vers le haut, la droite obtenue jusqu'à l'intersection avec la droite représentant l'impact de l'atelier de mise en œuvre : on lit alors directement, sur l'autre axe du Quadrant 3, l'impact cumulé total d'un m<sup>3</sup> de Sol traité.

C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact de la technique de Traitement des sols et celle des Emprunts granulaires, dans le cas de l'utilisation en remblais.

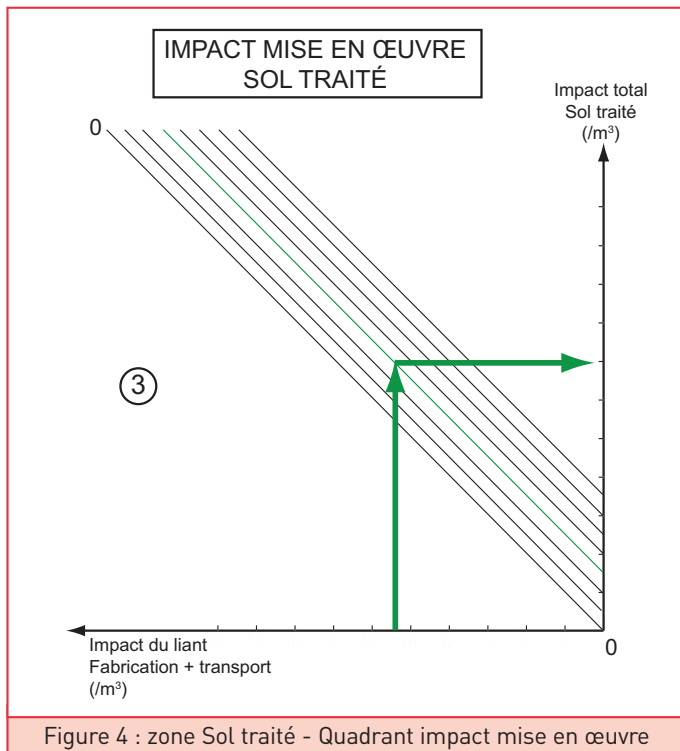


Figure 4 : zone Sol traité - Quadrant impact mise en œuvre

## Quadrant 4

Il permet de passer, moyennant une construction géométrique simple (théorème de Thalès), de l'impact au m<sup>3</sup> de Sol traité à l'impact au m<sup>2</sup> de Sol traité (figure 5). C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact de la technique de Traitement des sols à celui des Emprunts granulaires, dans le cas de l'utilisation en couche de forme.

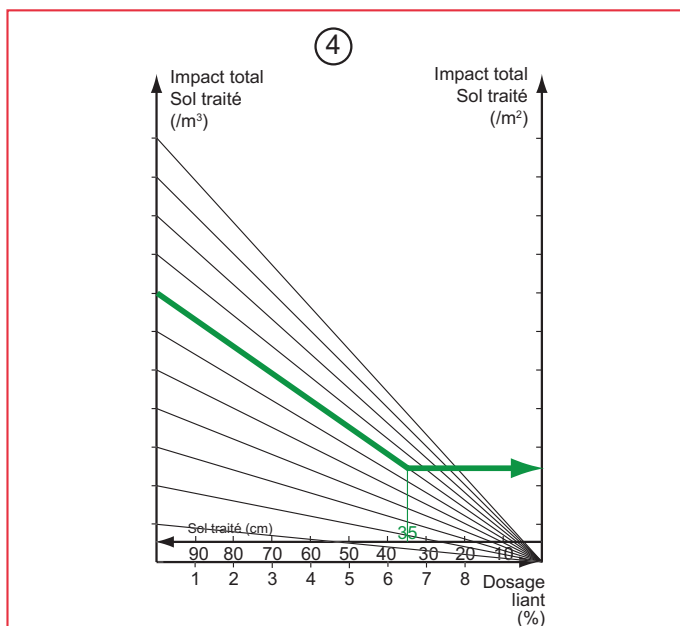


Figure 5 : zone Sol traité - Quadrant impact total (/m<sup>3</sup> et /m<sup>2</sup>)

## ETUDE DE LA ZONE 2 EMPRUNTS GRANULAIRES

Cette zone se décompose en 4 quadrants numérotés 5, 6, 7 et 8, dont voici les caractéristiques essentielles de chacun.

### Quadrant 5

Il mesure l'impact du transport des matériaux qui sont :  
 - les Emprunts granulaires, de la carrière au chantier,  
 - les sols excédentaires (dont le volume est supposé, dans ce document, équivalent à celui des Emprunts granulaires), du chantier à la décharge.

Les droites de ce Quadrant passent par l'origine et représentent les impacts économiques ou environnementaux (Energie ou CO<sub>2</sub>) de différents modes de transports utilisés. Pour un projet donné, connaissant la distance carrière-chantier ainsi que la distance chantier-décharge, on définit une distance de transport équivalente, somme des distances carrière-chantier et chantier-décharge. Cette distance équivalente déterminée, connaissant l'impact transport d'un m<sup>3</sup> de matériaux (sols excédentaires + granulats), comme l'indique la figure 6.

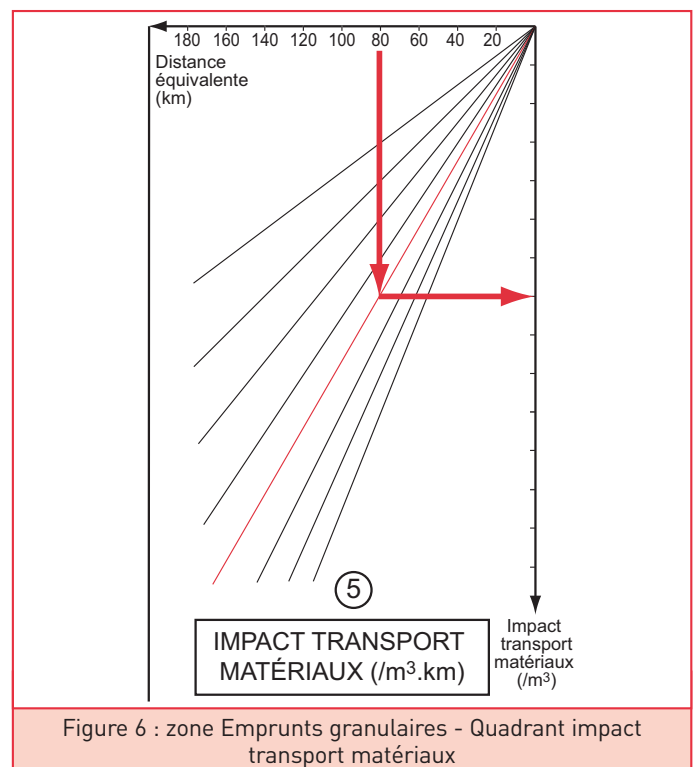
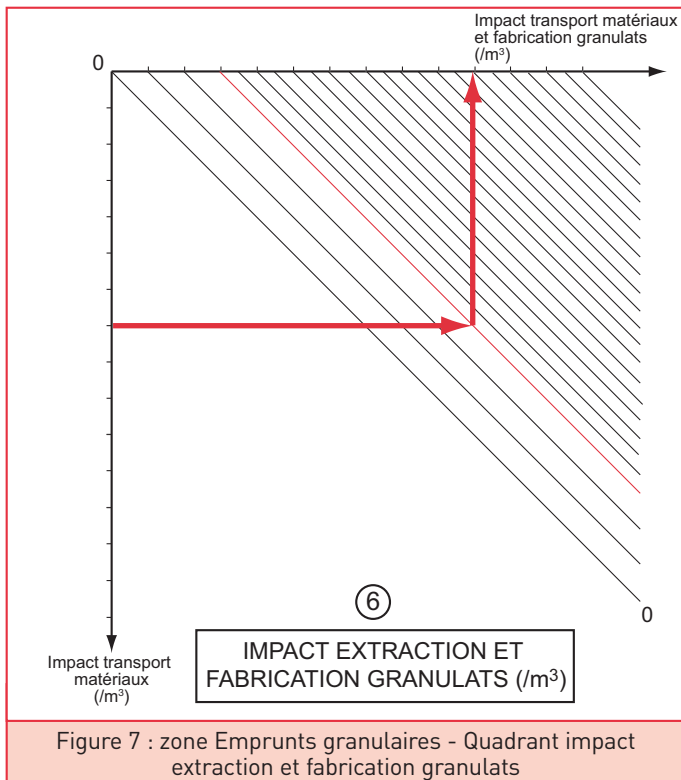


Figure 6 : zone Emprunts granulaires - Quadrant impact transport matériaux

### Quadrant 6

Il mesure l'impact de l'extraction et de la fabrication d'un m<sup>3</sup> de granulats. Dans ce Quadrant figurent plusieurs droites parallèles, correspondant aux impacts de différentes natures



d'Emprunts granulaires (granulats roulés, granulats concassés, roches dures, roches tendres...).

Ces droites ont été tracées afin d'intégrer le cumul des impacts des Quadrants 5 et 6 : elles sont donc inclinées à 45° et possèdent des ordonnées à l'origine équivalentes aux valeurs des impacts qu'elles représentent (figure 7).

L'impact transport ayant été déterminé au Quadrant 5 et connaissant localement, dans le cadre de ce projet, les impacts d'extraction et de fabrication, le Quadrant 6 permet d'évaluer, de façon cumulée :

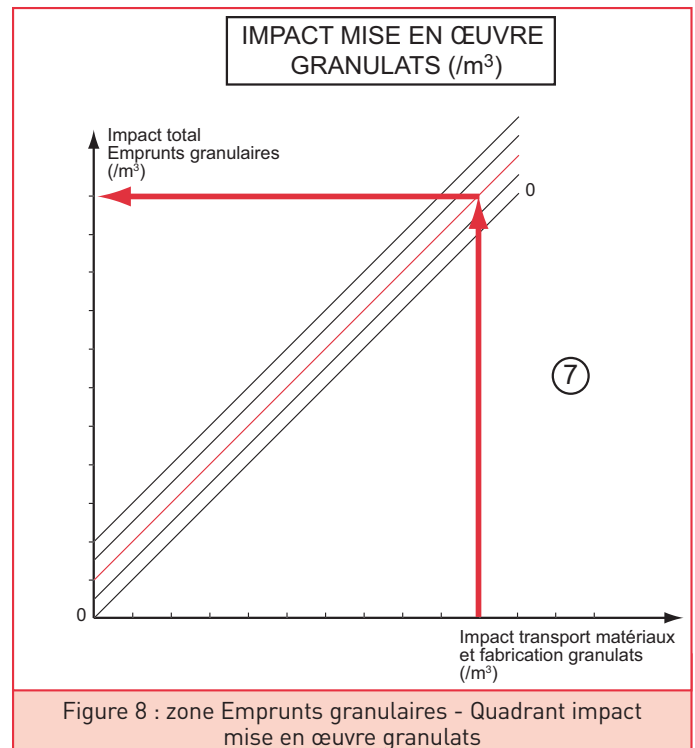
- l'impact de mise en décharge d'un m<sup>3</sup> de sols excédentaires,
- l'impact d'extraction, de fabrication et de transport d'un m<sup>3</sup> de granulats.

## ≡ Quadrant 7

Il mesure l'impact de la mise en œuvre des Emprunts granulaires. Dans ce Quadrant figurent des droites parallèles qui correspondent à différentes hypothèses, relatives aux impacts de l'atelier de mise en œuvre (niveleuse, arroseuse, compacteur). Ces droites ont été tracées afin d'intégrer le cumul des impacts des Quadrants 5, 6 et 7 : elles sont donc inclinées à 45° et possèdent des ordonnées à l'origine équivalentes aux valeurs des impacts qu'elles représentent (figure 8).

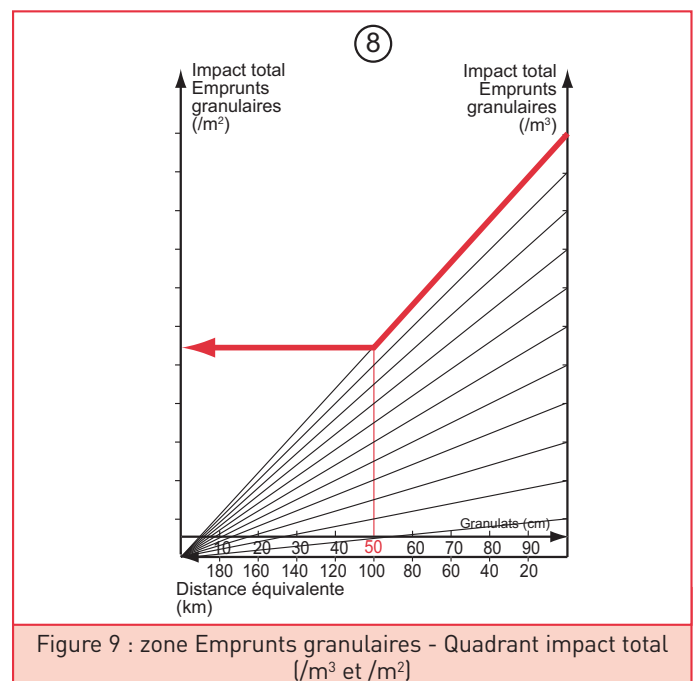
L'impact extraction, fabrication et transport ayant été déterminé au Quadrant 6, et connaissant localement, dans le cadre de ce projet, l'impact de la mise en œuvre, le Quadrant 7 permet d'évaluer, de façon cumulée, l'impact total de mise en décharge d'un m<sup>3</sup> de sols excédentaires et d'extraction, fabrication, transport et mise en œuvre d'un m<sup>3</sup> de granulats. C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact

de la technique d'Emprunts granulaires à celui du Traitement des sols, dans le cas de l'utilisation en remblais.



## ≡ Quadrant 8

Il permet de passer, moyennant une construction géométrique simple (théorème de Thalès), de l'impact au m<sup>3</sup> de couche granulaire à l'impact au m<sup>2</sup> de couche granulaire (figure 9). C'est cette valeur qui sera considérée pour comparer l'impact de la technique d'Emprunts granulaires à celui du Traitement des sols, dans le cas de l'utilisation en couche de forme.



## APPLICATION AUX REMBLAIS ET COUCHES DE FORME

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les impacts de la technique de Traitement des sols et ceux de la technique des Emprunts granulaires.

Pour le cas de l'utilisation en **remblais**, la comparaison s'effectue au **m<sup>3</sup>** de matériau (figure 10).

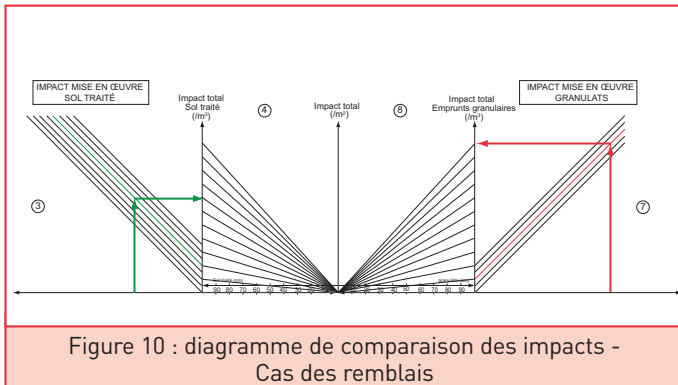


Figure 10 : diagramme de comparaison des impacts - Cas des remblais

Pour le cas de l'utilisation en **couche de forme**, la comparaison s'effectue au **m<sup>2</sup>** de matériau (figure 11).

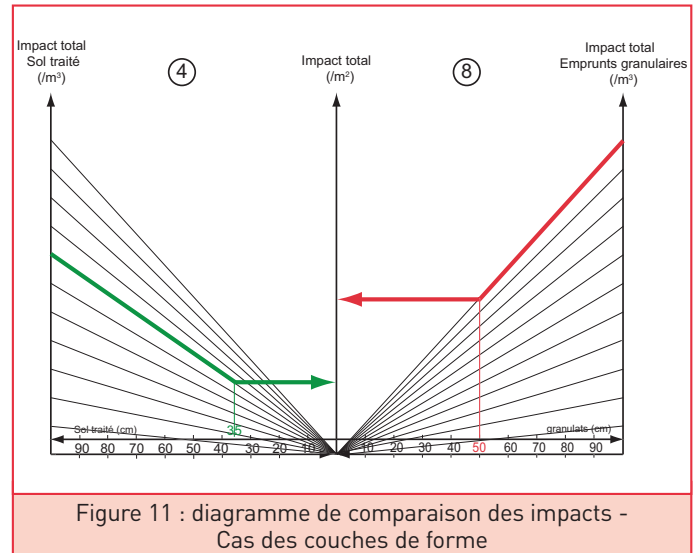


Figure 11 : diagramme de comparaison des impacts - Cas des couches de forme

## COMPARAISON ÉCONOMIQUE

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les coûts de la technique de Traitement des sols et ceux de la technique des Emprunts granulaires telle qu'illustrée sur le diagramme de la figure 12.

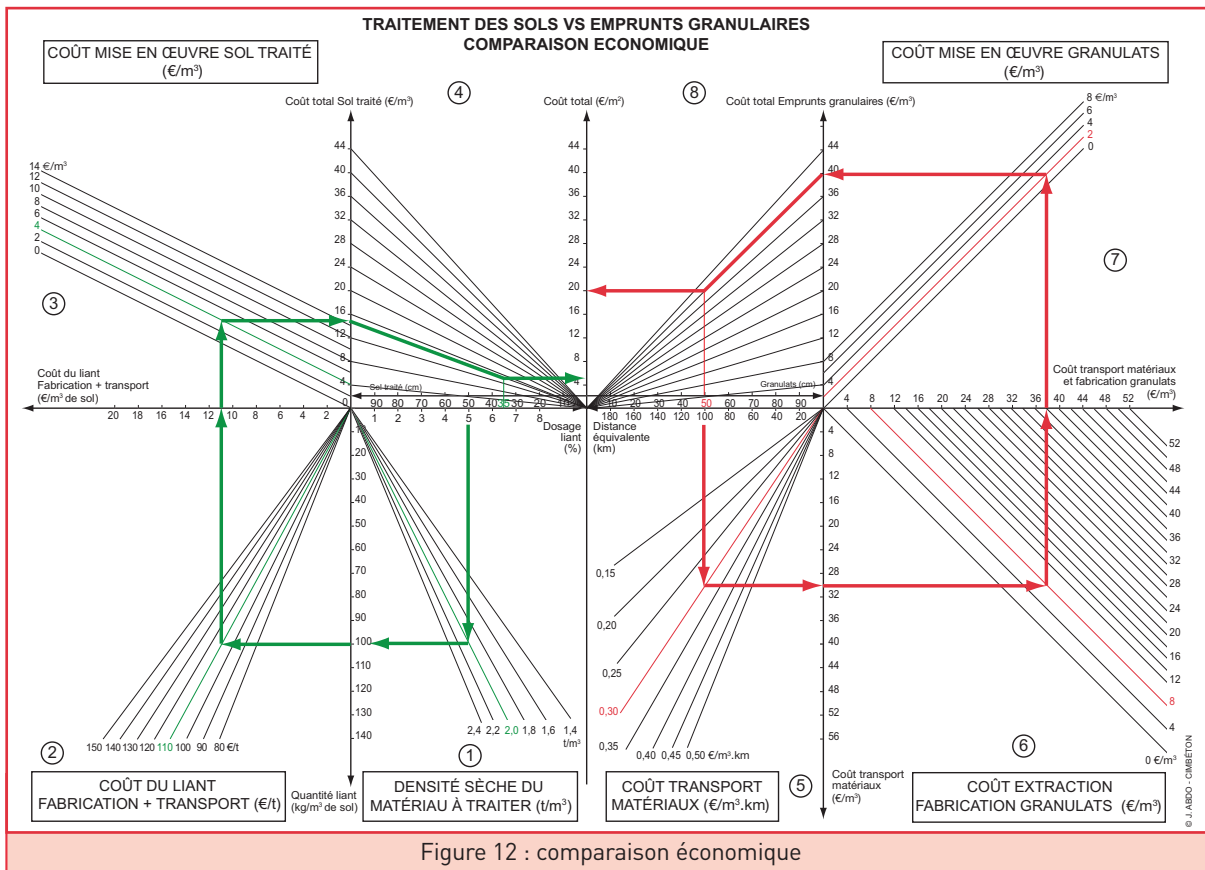


Figure 12 : comparaison économique

© J. JARRO - CMBÉTON

## COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE - INDICATEUR ENERGIE

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les énergies de la technique de Traitement des sols et celles de la technique des Emprunts granulaires telle qu'illustrée sur le diagramme de la figure 13.

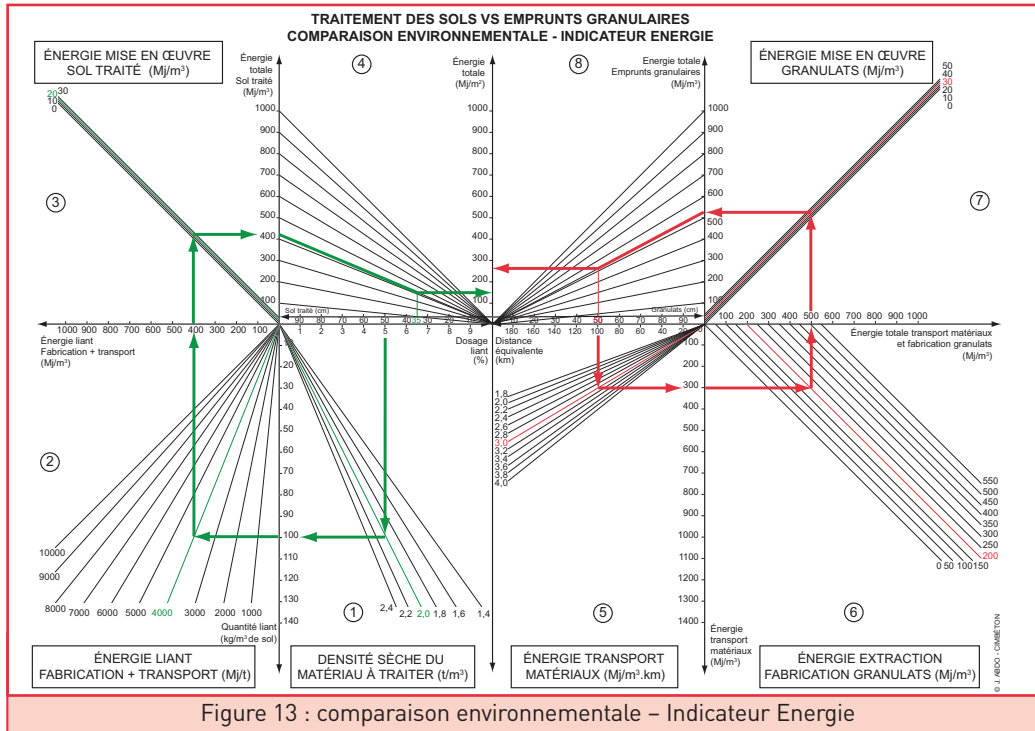


Figure 13 : comparaison environnementale - Indicateur Energie

## COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE - INDICATEUR CO<sub>2</sub>

L'application de la méthode sur les 4 Quadrants de la Zone 1 et sur ceux de la Zone 2 permet d'effectuer une comparaison entre les impacts CO<sub>2</sub> de la technique de Traitement des sols et ceux de la technique des Emprunts granulaires telle qu'illustrée sur le diagramme de la figure 14.

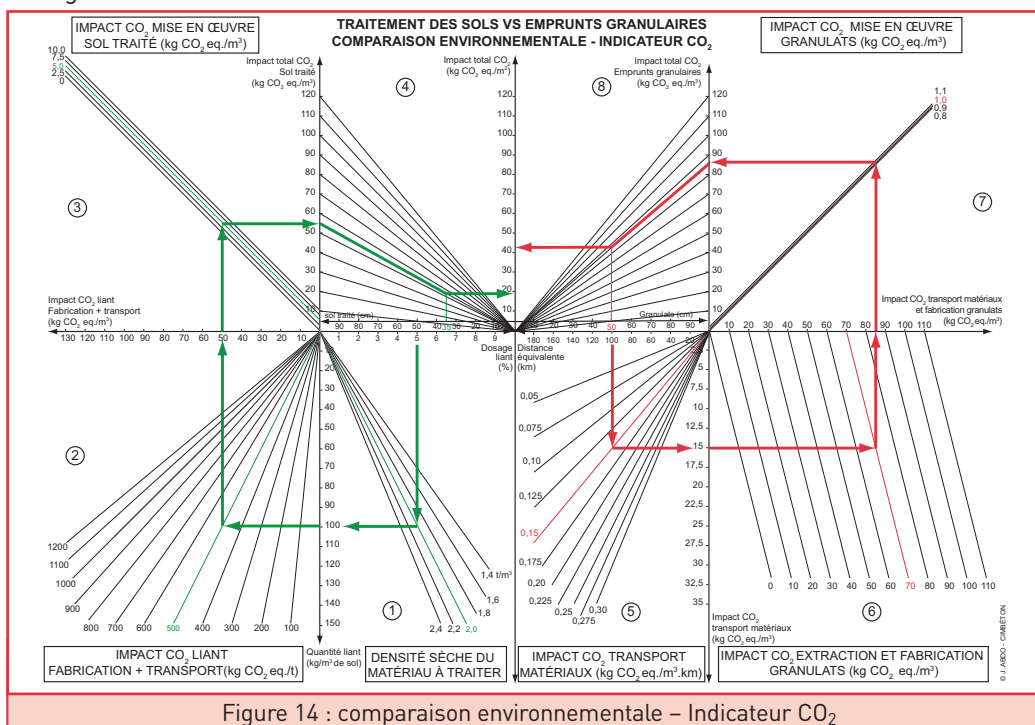


Figure 14 : comparaison environnementale - Indicateur CO<sub>2</sub>

## CONCLUSION GÉNÉRALE

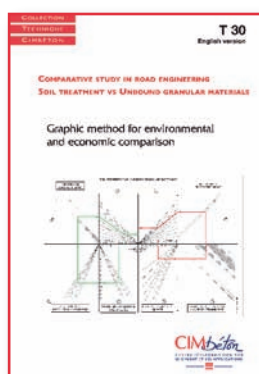
Cette étude a pour objectif de proposer une méthode visuelle simple, permettant à l'utilisateur de prendre des décisions pertinentes et rapides, quant aux choix des techniques de construction, dans le domaine des terrassements routiers. Elle traite les trois impacts ou indicateurs qui sont aujourd'hui considérés comme étant les plus importants : l'économie, l'énergie et le CO<sub>2</sub>. Pour compléter cette étude, d'autres impacts ou indicateurs pourront, dans l'avenir, être étudiés : l'eau, les ressources naturelles, les déchets, l'acidification, l'eutrophisation, l'éco-toxicité, la toxicité humaine...

### POUR EN SAVOIR PLUS

Cimbéton a publié deux documents sur la méthode graphique de comparaison économique et environnementale.



**Étude comparative en technique routière**  
**Traitement des sols VS Emprunts granulaires**  
**Méthode graphique de comparaison économique et environnementale**  
Référence : T30



**Comparative study in road engineering**  
**Soil treatment VS unbound granular materials**  
**Graphic method for environmental and economic comparison**  
Référence : T 30 - English version

Ces documents sont disponibles gratuitement auprès de Cimbéton par téléchargement sur le site [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

