

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Comparaison des deux méthodes

Route en béton. Structure en deux couches	Route en béton. Structure en deux couches	Route avec couche de surface en matériau bitumineux
PHASE CONSTRUCTION	PHASE CONSTRUCTION	PHASE CONSTRUCTION
Couche de fondation	Couche de fondation	Couche de fondation
Fabrication et transport	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	Fabrication et transport : Valeurs par défaut
Mise en oeuvre	Choisissez un matériau : Gravier Bitume classe G83	Type de matériaux : Gravier bitume G83
Épaisseur	Moyen transport : Transport par camions	Moyen transport : Transport par camions
Couche de roulement	44t - Charge utile 25 t	44t - Charge utile 25 t
Fabrication et transport	Distance : 40.0 km	Distance transport : 40.0 km
Mise en oeuvre	Tarif rendu chantier : 115.0 €/m ²	Tarif du matériau de fondation : 50.0 €/t
Épaisseur	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut
Fabrication et transport	Type de matériau : Gravier bitume	Type de matériau : Gravier bitume
Mise en oeuvre	Tarif : 115.0 €/m ²	Tarif Mise en oeuvre : 115.0 €/m ²
Épaisseur	Épaisseur : 10.0cm	Épaisseur : 11.0cm
PHASE ENTRETIEN	PHASE ENTRETIEN	PHASE ENTRETIEN
Couche de surface	Couche de surface	Couche de surface
Fabrication et transport	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	Fabrication et transport : Valeurs par défaut
Mise en oeuvre	Choisissez un béton : C15/45 - XF3 - S3 - défaut	Type de matériaux : Gravier bitume G83
Épaisseur	Tarif rendu chantier : 125.0 €/m ²	Moyen transport : Transport par camions
Choisissez une mise en oeuvre : Mise en oeuvre manuelle	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	Moyen transport : Transport par camions
- Pas de sélection	Tarif : 125.0 €/m ²	44t - Charge utile 25 t
- Pas de sélection	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	Distance transport : 40.0 km
Tarif de la mise en oeuvre : 135.0 €/m ²	Tarif : 135.0 €/m ²	Distance transport de base : 50.0 €/t
Épaisseur : 20.0cm	Épaisseur : 12.0cm	Tarif du matériau de base : 50.0 €/t
Traitement de surface : Valeurs par défaut	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut
Type de traitement : Balayage	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Type de matériau : Gravier bitume
Type de traitement : non renseigné	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Tarif Mise en oeuvre : 115.0 €/m ²
Scellement des joints : Valeurs par défaut	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Épaisseur : 12.0cm
Échancres d'entretien : 10.20	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Fabrication et transport : Valeurs par défaut
Taux d'actualisation : 4.0 %	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut
Scellement : Joint sur 3 cobles	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	8 cm
Tarif : 16.0 €/m ²	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Moyen transport : Transport par camions
Régénération de surface : Valeurs par défaut	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	44t - Charge utile 25 t
Régénération de surface : Valeurs par défaut	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Distance : 40.0 km
Échancres d'entretien : 10.20	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Tarif rendu chantier : 60.0 €/t
Taux d'actualisation : 4.0 %	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut
Taux de régénération : Granulage petit chantier	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Type de matériaux : 88 ou B60G 8 cm
Tarif : 3.0 €/m ²	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Tarif : 6.0 €/m ²
	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Échancres d'entretien : Valeurs par défaut
	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Échancres d'entretien : 6.12.16.24
	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Taux d'actualisation : 4.0 %
	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Rabotage : Valeurs par défaut
	Type de matériaux : Roche massive : B60G défaut	Épaisseur : 8.0 cm



CIMbéton a le plaisir de vous adresser le numéro 6 de *Routes La Revue*, consacré à PERCEVAL. Cette nouvelle livraison vise à familiariser le lecteur avec l'utilisation du logiciel PERCEVAL dans le cadre d'un projet d'aménagement de carrefour giratoire. On se propose, au moyen d'une étude de cas, une fois identifiées les solutions les mieux adaptées au projet, d'effectuer une simulation complète à l'aide de PERCEVAL, afin de définir la meilleure technique de construction sur le plan économique et environnemental.

Nous sommes sûrs que vous saurez apprécier ce numéro montrant toutes les potentialités offertes par ce logiciel dans l'aménagement d'un carrefour giratoire.

Vous pouvez, bien entendu, retrouver l'ensemble des reportages de *Routes* et des cahiers techniques sur : www.infociments.fr/publications/routes

Bonne lecture !
Joseph ABDO

^ Carrefour giratoire de Saint-Pierre-la-Cour.
Structure BC5g sur GB3, réalisée en 2005.
(©CIMbéton)



#mieuxcirculer

#mieuxvivre

#mieuxprotégerlaplanète

#chantier

#carrefourgiratoire



Chaussées



Aménagements
routiers & urbains



Ouvrages
annexes

Ce numéro de Routes La Revue vise à familiariser le lecteur avec l'utilisation du logiciel PERCEVAL dans le cadre d'un projet d'aménagement de carrefour giratoire. Après avoir identifié les solutions adaptées à ce projet, on se propose d'effectuer une simulation complète à l'aide de PERCEVAL afin de déterminer la meilleure technique d'aménagement sur le plan économique et environnemental.

CRÉDITS

© CIMbéton 2020

Conception et calculs : Joseph Abdo

PHOTO D'OUVERTURE : Vue générale d'un chantier d'aménagement d'un carrefour giratoire en structure composite BC5g/GB3. (@Agilis)



16 bis, Boulevard Jean Jaurès
92110 Clichy
Tél. : 01 55 23 01 00
E-mail : centrinfo@cimbeton.net

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'étude d'un projet d'aménagement d'un carrefour giratoire, le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre se doivent maintenant d'établir un véritable bilan technique, économique et environnemental qui motivera le choix de la solution retenue. Aussi l'entreprise pourrait-elle faire appel à une telle analyse pour valoriser son offre ou justifier une variante.

Longtemps, cela n'a pas été pratique courante, pour des raisons aussi bien techniques qu'administratives. Mais l'éventail des solutions techniques – associé à la préoccupation, de plus en plus marquée de la part des élus et des collectivités territoriales, de rigueur dans les choix techniques, de bonne gestion et de respect de l'environnement – s'est élargi, de sorte que ce bilan est aujourd'hui dressé sur de plus en plus de projets routiers, de voiries ou d'aménagements urbains.

Il constitue l'élément de décision majeur du maître d'ouvrage. Le choix qui en découle se porte en général vers la solution la plus adaptée techniquement et qui minimise les impacts sur l'environnement comme le coût global de l'opération.

Pour chaque projet d'aménagement, il est donc nécessaire de procéder à une analyse multicritères détaillée et comparative des diverses solutions possibles afin d'en établir les atouts.

L'analyse technique doit être conduite conformément à la démarche et aux méthodes des différents guides en vigueur. L'analyse économique et environnementale peut être menée grâce au logiciel PERCEVAL, proposé par CIMbéton.

L'analyse multicritères a donc lieu en deux étapes :

- **Analyse technique** : cette étape permet d'identifier les deux techniques les plus appropriées pour satisfaire aux conditions du projet et de définir la typologie comme le dimensionnement de chacune d'elles.
- **Analyse économique et environnementale** : cette étape permet d'évaluer et de comparer, sur le plan économique et sur le plan environnemental, les deux techniques sélectionnées à l'étape précédente.



C'est un logiciel de calcul spécialement conçu pour la route (terrassements, chaussées, aménagements routiers, entretien routier et ouvrages annexes). Il permet d'effectuer :

- Soit une évaluation économique et environnementale d'une structure routière neuve, d'une technique d'entretien structurel ou d'un ouvrage routier (dispositif de retenue, ouvrage d'assainissement) ;
- Soit une comparaison économique et environnementale entre deux structures routières neuves, entre deux techniques d'entretien structurel sélectionnées ou bien entre deux dispositifs de retenue.

Mais PERCEVAL n'est pas un logiciel de conception et de dimensionnement. C'est un outil d'évaluation économique et environnementale. Il appartient donc à l'utilisateur de définir les typologies et les dimensionnements des structures à comparer.

ÉTUDE DE CAS

Pour les besoins de l'étude, l'on se référera à un projet concret mais volontairement idéalisé pour lui conférer le statut de cas d'école. Le choix des paramètres sera fait en étant le plus complet possible et, par conséquent, représentatif de différentes situations que l'on pourrait rencontrer sur le terrain.

Le lecteur se reportera utilement aux reportages de chantiers développés récemment dans Routes et Routes Info, traitant de l'aménagement d'un carrefour giratoire ou d'une aire de repos, et en particulier :

- Routes n° 140. Billom (63). « Billom : le premier giratoire en béton du Puy-de-Dôme ».
- Routes n° 143. Givry (71). « Aménagement qualitatif du centre-ville de Givry ».
- Routes n° 145. Pérourges (01). « Giratoire de Pérourges (Ain) : une chaussée composite pour résister aux trafics denses ».
- Routes Info # 11. Montalieu-Vercieu, Isère (38). « Durable et 100 % local, le premier giratoire en béton de référence de l'Isère ».
- Routes Info # 23 et 24. Aire de la Grolle RN10, Charente (16). « Une aire de repos innovante associant valorisation des sols en place et chaussée composite BC5g/GB3 ».

Ces reportages sont consultables et téléchargeables sur <https://www.infociments.fr/routes>.

ÉTAT DES LIEUX

Le projet

Situé à l'entrée d'une commune, le carrefour classique entre la route départementale « x » et la route départementale « y » connaît, depuis plusieurs années, un trafic important. Quelque 5 600 véhicules s'y croisent, dont 10 % de poids lourds. Autre phénomène préoccupant pour la sécurité : la vitesse élevée des automobilistes empruntant la route départementale « x » à l'approche du carrefour et de l'entrée de l'agglomération. Le Département a donc décidé de construire un carrefour giratoire pour sécuriser le trafic et pour ralentir la circulation aux portes de la commune. Jusqu'ici, c'était un carrefour en croix classique, mais pas vraiment bien dimensionné. Techniquement, plusieurs options s'offrent pour la transformation et la réalisation de cet ouvrage. Le conseil départemental se doit donc d'établir les avantages et les inconvénients de chacune d'elles pour retenir la solution la plus adaptée sur le plan technique, économique et environnemental.

On se propose donc, dans ce numéro de Routes La Revue, de présenter l'analyse et la démarche qu'il faut mener pour faire le meilleur choix technique, économique et environnemental.

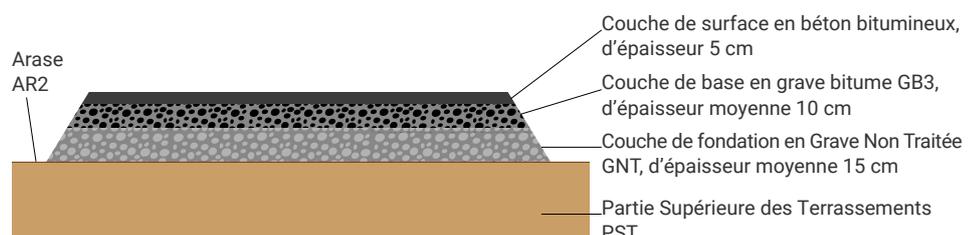
La structure de chaussée en place avant les travaux

> La constitution de la structure en place (cf. figure 1)

Les sondages préliminaires réalisés au croisement des deux routes départementales ont montré que la structure de chaussée en place est constituée de :

- Une couche de surface en béton bitumineux, d'épaisseur 5 cm ;
- Une couche de base en grave-bitume GB3, d'épaisseur moyenne 10 cm ;
- Une couche de fondation en grave non traitée GNT, d'épaisseur moyenne 15 cm ;
- Une arase constituée d'un sol limoneux de classe AR2.

➤ Figure 1. Profil en travers de la chaussée existante.



> Les caractéristiques de la structure existante

Les essais réalisés au droit du carrefour montraient un comportement mécanique médiocre, reflétant une insuffisance structurelle de la route. C'est le signe évident d'une structure de chaussée sous-dimensionnée, au droit du croisement des deux routes départementales, pour le trafic qu'elle supporte. En outre, les mesures ont montré que le support de la chaussée est de bonne qualité (portance PF2qs). Un rabotage de la chaussée existante, au droit du croisement des deux routes départementales, a donc été prévu sur une profondeur dictée par le dimensionnement de la structure de chaussée retenue.

ANALYSE TECHNIQUE

Choix de la technique d'entretien

Il ressort des investigations et des essais réalisés *in situ* que la chaussée souffre, à l'endroit du carrefour, d'un déficit structurel. Le choix d'une solution d'aménagement doit alors se porter sur des techniques d'aménagement structurel qui touchent non seulement la couche de surface, mais aussi et surtout les couches d'assise (couche de base et, éventuellement, couche de fondation).

Pour aménager durablement le carrefour giratoire, plusieurs solutions techniques sont envisageables : la solution traditionnelle d'aménagement avec une structure comportant une couche de surface bitumineuse et dont les matériaux des couches d'assise peuvent être sélectionnés ou combinés parmi différents types de produits (grave-bitume GB3 ou GB4 ; enrobé à module élevé EME ; grave-ciment ou grave LHR ; béton compacté routier BCR, etc.) et la solution d'aménagement comportant un revêtement en béton et une fondation en matériau choisi parmi différents types de produits (grave-bitume GB3 ; béton maigre BC2 ou BC3 ; grave-ciment ou grave LHR ; béton compacté routier BCR, etc.).

Les différentes solutions d'aménagement ont été analysées ; et on a tenu compte des contraintes spécifiques au projet : notamment, le maintien des seuils des deux routes départementales qui débouchent sur le carrefour giratoire, incompatible avec des solutions entraînant un changement important de niveau, comme les solutions d'aménagement en couche épaisse de matériaux. Le choix s'est donc porté sur les deux solutions d'aménagement suivantes, dont l'épaisseur totale de structure est compatible avec celle du décaissement :

- Une structure classique en matériaux bitumineux, comportant une couche de fondation en grave-bitume GB3, une couche de base en grave-bitume GB3 et une couche de surface en béton bitumineux.
- Une structure de chaussée comportant un revêtement en béton de classe 5 et une fondation, soit en grave-bitume GB3, soit en béton maigre BC3.

Les hypothèses de dimensionnement

Le maître d'ouvrage retient, pour son projet, les hypothèses suivantes :

- Trafic journalier moyen annuel TMJA : 560 PL / j / sens
- Trafic cumulé : 6 330 000 NE
- Portance du support : PF2qs ($80 < EV2 \leq 120$ MPa)
- Progression annuelle du trafic : 2 %
- Durée de vie de dimensionnement : 30 ans

Les solutions d'aménagement

> Solution n° 1 : aménagement avec la solution de chaussée en béton classique BC5g/BC3

Le guide de conception et de dimensionnement des carrefours giratoires en béton, édité par l'IDRRIM en 2019, fournit le dimensionnement suivant :

- Un revêtement en béton non armé, à joints goujonnés BC5g, d'épaisseur 22 cm ;
- Une couche de fondation en béton maigre BC3, d'épaisseur 15 cm ;
- Une plate-forme support de portance minimale PF2qs.

> Solution n° 2 : aménagement avec la solution de chaussée composite BC5g/GB3

- Un revêtement en béton non armé, à joints goujonnés BC5g, d'épaisseur 20 cm ;
- Une couche de fondation en grave-bitume GB3, d'épaisseur 10 cm ;
- Une plate-forme support de portance minimale PF2qs.

> Solution n° 3 : aménagement en matériaux bitumineux

En s'appuyant sur les guides en vigueur et sur la norme NF P 98 086 « Dimensionnement des chaussées », la typologie et la structure de la solution en matériaux bitumineux sont les suivantes :

- Une couche de surface en BBSG, d'épaisseur 8 cm ;
- Une couche de base en grave-bitume GB3, d'épaisseur 12 cm ;
- Une couche de fondation en grave-bitume GB3, d'épaisseur 13 cm ;
- Une plate-forme support de portance minimale PF2qs.

Après analyse, la solution d'aménagement de la chaussée en béton classique BC5g/BC3 est écartée, car elle nécessiterait un fraisage plus profond de la structure existante (37 cm), ce qui pourrait entraîner une modification de la portance du support. Seules les solutions d'aménagement nos 2 et 3 ont été retenues par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre.

Méthodologie de reprise

> Méthodologie de reprise pour la structure composite

La méthodologie de reprise pour la structure composite est fixée comme suit :

- Fraisage de la chaussée existante sur 15 cm et évacuation des matériaux bitumineux en décharge ou sur une plate-forme de recyclage ;
- Fraisage de la couche granulaire en GNT sur une épaisseur de 15 cm ;
- Mise en œuvre d'une couche de fondation en GB3, d'épaisseur 10 cm ;
- Mise en œuvre d'un revêtement en béton non armé et à joints goujonnés, d'épaisseur 20 cm.

> Méthodologie de reprise pour la solution bitumineuse

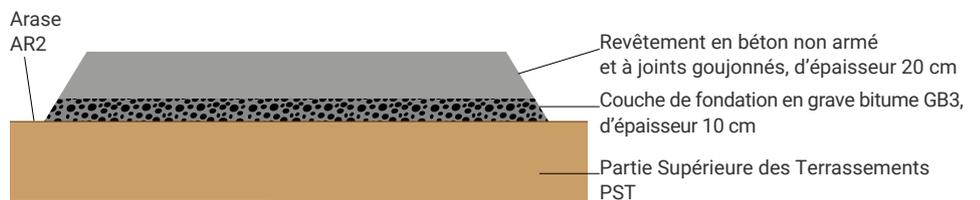
La méthodologie de reprise pour la solution bitumineuse est fixée comme suit :

- Fraisage de la chaussée existante sur 15 cm et évacuation des matériaux bitumineux en décharge ou sur une plate-forme de recyclage ;
- Fraisage de la couche granulaire en GNT sur une épaisseur de 15 cm ;
- Mise en œuvre de la couche de fondation en GB3, d'épaisseur 13 cm ;
- Mise en œuvre de la couche de base en GB3, d'épaisseur 12 cm ;
- Mise en œuvre d'un enrobé bitumineux semi-grenu BBSG sur 8 cm d'épaisseur.

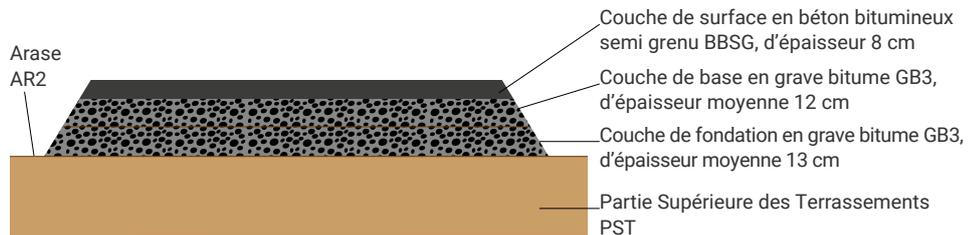
Typologies et structures des solutions retenues pour la comparaison

En s'appuyant sur les guides en vigueur et sur la norme NF P 98 086 « Dimensionnement des chaussées », les typologies et les structures des deux solutions à comparer sont données par les figures 2 et 3.

➤ Figure 2. Profil en travers de la structure composite.



➤ Figure 3. Profil en travers de la solution bitumineuse.



Scénarios d'entretien des solutions retenues pour la comparaison

En s'appuyant sur les guides en vigueur et sur les retours d'expérience accumulés, le maître d'œuvre retient les scénarios d'entretien suivants :

> Pour la solution de structure composite BC5g/GB3 :

- Un entretien des joints à 10 ans et à 20 ans ;
- Un entretien de l'adhérence à la surface du revêtement à 10 ans et à 20 ans.

> Pour la solution bitumineuse BBSG/GB3/GB3 :

- Une réfection de la couche de surface à 6 ans, 12 ans, 18 ans et 24 ans ;
- Une réfection de la couche de base à 18 ans.

L'analyse technique a confirmé que les deux solutions envisagées – à savoir la solution composite BC5g/GB3 et la solution BBSG/GB3/GB3 – conviennent à l'aménagement du carrefour giratoire. Elle a permis, en outre, de définir l'ensemble des données de dimensionnement ainsi que les scénarios d'entretien sur la période de service. Le maître d'ouvrage choisira donc la meilleure solution d'aménagement en fonction des résultats de l'analyse économique et environnementale sur le cycle de vie complet (construction + entretien), qui sera traitée dans la prochaine section.

ANALYSE ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Les hypothèses de calcul

Pour effectuer la simulation à l'aide du logiciel PERCEVAL, il est indispensable de disposer de toutes les données relatives au projet d'aménagement : techniques, économiques et, éventuellement, environnementales. En effet, l'utilisateur doit pouvoir les indiquer à chaque étape de calcul.

Les données techniques ont été identifiées et précisées lors de l'étape d'analyse technique. Les données environnementales seront entrées par l'utilisateur, s'il les connaît. Sinon, le logiciel propose, à chaque étape du calcul, un menu déroulant qui s'appuie sur une base de données et qui rassemble les différents ICV des constituants de base des matériaux routiers (ciment, LHR, granulats, bitume, eau), du gasoil, de l'acier, des matériaux routiers élaborés et des matériels de fabrication, de transport et de mise en œuvre.

En revanche, le logiciel ne comporte aucune base de données économiques, mais il intègre tout le processus d'évaluation et de comparaison. Il revient à l'utilisateur de les collecter au niveau local et de les indiquer dans le logiciel.

Pour l'étude de cas, on a rassemblé ci-dessous les différentes hypothèses de calcul ainsi que les données techniques et économiques pour chacune des deux solutions concurrentes.

Hypothèses de calcul pour la solution composite

Revêtement en dalles béton à joints goujonnés avec fondation en grave-bitume 20 cm BC5g/10 cm GB3

• Couche de fondation

- Couche de fondation : choix du matériau de fondation, fabrication et transport
 - > Matériau à propriétés spécifiées
 - > GB3 – Transport camion 44 t – Distance transport : 40 km – Tarif GB3 : 115 €/m³
- Couche de fondation : mise en œuvre
 - > Tarif de mise en œuvre : 115 €/m³
- Couche de fondation : épaisseur
 - > Épaisseur GB3 : 10 cm

• Couche de roulement en béton non armé et à joints goujonnés : fabrication et transport

- Revêtement en béton :
 - > Choix du béton : C35/45 - XF3 - S3 - 20
 - > Tarif rendu chantier : 125 €/m³
- Mise en œuvre :
 - > Standard, manuelle
 - > Armatures : 0/0/0
 - > Goujons :
 - Quantité : 9 kg/m³
 - Distance transport goujons : 300 km
 - Tarif : 800 €/t
 - > Tarif de mise en œuvre : 135 €/m³
- Épaisseur :
 - > Béton : 20 cm
- Traitement de surface :
 - > Balayage
 - > Tarif : 0 €/m²

• Entretien

- Scellement des joints :
 - > Échéances : 10 ; 20 ans
 - > Taux d'actualisation : 4 %
 - > Scellement joints : 3 côtés
 - > Coût : 6 €/m²
- Régénération des caractéristiques de surface :
 - > Échéances : 10 ; 20 ans
 - > Taux d'actualisation : 4 %
 - > Choix de la technique : Grenailage petit chantier
 - > Coût régénération de surface : 3 €/m²

Hypothèses de calcul pour la solution BBSG/GB3/GB3

Structure en matériaux bitumineux 8 cm BBSG/12 cm GB3/13 cm GB3

- **Couche de fondation**
 - Fabrication et transport :
 - > Origine des granulats : Roche massive
 - > Matériau : GB3
 - > Transport camion 44 t
 - > Distance transport : 40 km
 - > Tarif GB3 rendu chantier : 50 €/t
 - Mise en œuvre :
 - > Matériau : GB3
 - > Tarif : 115 €/m³
 - Épaisseur :
 - > Épaisseur : 13 cm
- **Couche de base**
 - Fabrication et transport :
 - > Origine des granulats : Roche massive
 - > Matériau : GB3
 - > Transport camion 44 t
 - > Distance transport : 40 km
 - > Tarif GB3 rendu chantier : 50 €/t
 - Mise en œuvre :
 - > GB3
 - > Tarif : 115 €/m³
 - Épaisseur :
 - > Épaisseur : 12 cm
- **Couche de surface**
 - Fabrication et transport :
 - > Matériau : BBSG 8 cm
 - > Transport camion 44 t
 - > Distance transport : 40 km
 - > Tarif BB rendu chantier : 60 €/t
 - Mise en œuvre :
 - > BBSG
 - > Tarif : 6 €/m²
- **Entretien**
 - Entretien superficiel :
 - > Échéances : 6 ; 12 ; 18 et 24 ans
 - > Taux d'actualisation : 4 %
 - > Rabotage
 - BBSG : 8 cm
 - Machine par défaut
 - Tarif rabotage : 5 €/m²
 - Transport camion 44 t
 - Distance transport entre le chantier et la décharge : 70 km
 - Tarif de transport jusqu'à la décharge : 0,10 €/t.km
 - Tarif de mise en décharge : 50 €/t
 - > Matériau BBSG
 - Transport camion 44 t
 - Distance centrale-chantier : 40 km
 - Tarif rendu chantier : 60 €/t
 - > Mise en œuvre BB
 - Tarif : 6 €/m²
 - Entretien structurel :
 - > Échéance : 18 ans
 - > Taux d'actualisation : 4 %
 - > Rabotage
 - GB3 : 12 cm
 - Machine par défaut
 - Tarif rabotage : 10 €/m²

- Transport camion 44 t
- Distance transport entre le chantier et la décharge : 70 km
- Tarif de transport jusqu'à la décharge : 0,10 €/t.km
- Tarif de mise en décharge : 50 €/t
- > Matériau de base
 - GB3
 - Transport camion 44 t
 - Distance centrale-chantier : 40 km
 - Tarif GB3 rendu chantier : 50 €/t
- > Mise en œuvre
 - GB3
 - Épaisseur : 12 cm
 - Tarif de mise en œuvre : 115 €/m³

LOGIGRAMME DE CALCUL DE PERCEVAL

Il a été conçu avec une architecture organisée en étapes : chacune correspond à une source de données ou à un interlocuteur – cette arborescence reprenant les différentes phases du processus de mise en œuvre et d'entretien des techniques routières à évaluer ou à comparer. Les étapes peuvent être renseignées dans n'importe quel ordre et l'utilisateur pourra à tout moment revenir à l'une d'elles pour modifier sa saisie. À chaque fois, il faut cliquer sur le bouton « OK », situé en bas de la page, pour valider et enregistrer les valeurs.

L'utilisation du logiciel est rendue conviviale grâce à la présence d'un menu interactif (illustrant les stades de la simulation), repris à l'identique sur tous les écrans de calcul et de simulation. Chaque étape est accompagnée d'une notice explicative située en bas de page. De plus, des liens d'aide, matérialisés par un point d'interrogation encadré, sont prévus pour la majorité des champs d'entrée.

COMMENT UTILISER PERCEVAL

Pour réaliser une simulation, il faut se connecter sur <https://www.infociments.fr/calculateur-perceval>, renseigner son identifiant et son mot de passe. (C'est un logiciel gratuit mais dont l'utilisation nécessite une première inscription.) La page d'accueil de PERCEVAL s'affiche et donne les 3 domaines d'application couverts ainsi que la liste des 11 modules d'évaluation et de comparaison. Pour le cas d'école, il faut choisir, dans le domaine « Routes, voiries et aménagements urbains », le module n° 1 « Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux ». (cf. figure 4).

➤ Figure 4.



▼ Figure 5.

Impacts environnementaux	Fabrication	
	Graves Bitume classe GB3	
	Émissions de GES (Net hors déchets)	87.7 kgCO ₂ éq/m ³
	Énergie primaire totale	6050 MJ/m ³
	Consommation d'eau	299 litre/m ³
	Épuisement des ressources	0.000316 kgSb éq/m ³
	Acidification	0.301 kgSO ₂ éq/m ³
	Eutrophisation	0.0273 kgPO ₄ éq/m ³
	Transport site production chantier	
	Transport par camions 44t - Charj	
	Émissions de GES (Net hors déchets)	0.102 kgCO ₂ éq/m ³ .km
	Énergie primaire totale	1.37 MJ/m ³ .km
Consommation d'eau	0.129 litre/m ³ .km	
Épuisement des ressources	1.42e-7 kgSb éq/m ³ .km	
Acidification	0.0002 kgSO ₂ éq/m ³ .km	
Eutrophisation	1.39e-5 kgPO ₄ éq/m ³ .km	
Distance	40 km	
Tarif rendu chantier	115 €/m ³	

Cliquer sur ce module pour ouvrir la simulation. Une page s'affiche, qui comprend :

- Un menu à gauche de l'écran correspondant aux différentes étapes nécessaires à la réalisation de la solution composite BC5g/GB3.
- Un menu à droite de l'écran correspondant aux différentes étapes nécessaires à la réalisation de la solution BBSG/GB3/GB3.

Ces deux menus s'afficheront sur toutes les pages de la simulation. Ils constitueront le fond d'écran, alors que la partie centrale – qui correspond à une étape particulière du processus de simulation – constitue la variable de l'écran. Pour chaque étape, l'utilisateur va renseigner les données techniques, économiques et environnementales. Une fois l'étape remplie et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante. On voit alors apparaître dans le menu que l'étape est soit validée (étape cochée par « ✓ »), soit jugée incomplète (étape signalée par un avertissement sous forme de triangle orange).

Évaluation économique et environnementale de la solution de structure composite

Dans le cas d'école, la première étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport de la couche de fondation de la solution composite BC5g/GB3. Pour cela, l'utilisateur va indiquer successivement les données relatives à la couche de fondation (cf. figure 5) :

- Choix de la nature du matériau de la couche de fondation : Matériau à propriétés spécifiées ;
- Choix du matériau de la couche de fondation dans le menu déroulant : GB3 ;
- Transport de la grave-bitume :
 - Choix du moyen de transport de la GB3 dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
 - Distance de transport : 40 km ;
- Tarif de la grave-bitume rendu chantier : 115 €/m³.

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La deuxième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux ainsi que le coût de la mise en œuvre de la couche de fondation de la structure composite. Pour cela, l'utilisateur va sélectionner successivement (cf. figure 6) :

- La grave-bitume GB3 dans le menu déroulant « Type de matériau » : le logiciel fournira alors les impacts environnementaux de la mise en œuvre ;
- Le coût de la mise en œuvre pour un mètre cube de grave-bitume GB3 (115 €/m³).

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

➤ Figure 6.

Route en béton. Structure en deux couches	Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux	Route avec couche de surface en matériau bitumineux
PHASE CONSTRUCTION	Mise en oeuvre du matériau de fondation	PHASE CONSTRUCTION
Couche de fondation		Couche de fondation
Fabrication et transport		Fabrication et transport
Mise en oeuvre		Mise en oeuvre
Épaisseur		Épaisseur
Couche de roulement		Couche de base
Fabrication et transport		Fabrication et transport
Mise en oeuvre		Mise en oeuvre
Épaisseur		Épaisseur
Traitement de surface		Couche de surface
Sous total		Fabrication et transport
PHASE ENTRETIEN		Mise en oeuvre
Scellement des joints		Sous total
Régénération de surface		PHASE ENTRETIEN
Résultat		Couche de surface
		Échéances d'entretien
		Rabotage
		Fabrication et transport
		Mise en oeuvre
		Couche de structure

Impacts environnementaux

Grave bitume

Émissions de GES (Net hors déchets) 1.06 kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale 14.2 MJ/m³

Consommation d'eau 1.33 litre/m³

Épuisement des ressources 1.47e-6 kgSb éq/m³

Acidification 0.00207 kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation 0.000144 kgPO₄ éq/m³

Tarif 115 €/m³

▼ Figure 7.

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Épaisseur de la couche de fondation

Épaisseur de la couche de fondation cm

La troisième étape a pour but de déterminer les impacts environnementaux et le coût au mètre carré de chaussée. L'utilisateur est invité à compléter l'épaisseur du matériau de la couche de fondation (10 cm), identifiée dans le paragraphe « Analyse technique » (cf. figure 7).

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La quatrième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport du béton de revêtement. L'utilisateur va indiquer successivement les données relatives au revêtement en béton (cf. figure 8).

- Choix du type de béton de revêtement : Béton à propriétés spécifiées ou béton à composition prescrite ;
- Choix du béton dans le menu déroulant : C35/45 - XF3 - S3 - 20 ;
- Tarif du béton rendu chantier : 125 €/m³.

➤ Figure 8.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de roulement

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Traitement de surface

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints

Régénération de surface

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Fabrication et transport du béton de la couche de roulement : béton à propriétés spécifiées

Attention : deux possibilités vous sont offertes : soit "Béton à propriétés spécifiées" soit "Béton à composition prescrite". Veuillez utiliser le menu déroulant ci-dessous pour passer d'un mode à l'autre.

Béton à propriétés spécifiées

C35/45 - XF3 - S3 - 20

Impacts environnementaux fabrication et transport

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale MJ/m³

Consommation d'eau litre/m³

Épuisement des ressources kgSb éq/m³

Acidification kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation kgPO₄ éq/m³

Tarif rendu chantier €/m³

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

▼ Figure 9.

Mise en oeuvre standard

Mise en oeuvre manuelle

Impacts environnementaux

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale MJ/m³

Consommation d'eau litre/m³

Épuisement des ressources kgSb éq/m³

Acidification kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation kgPO₄ éq/m³

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La cinquième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la mise en œuvre du revêtement en béton. L'utilisateur va indiquer successivement les données suivantes :

- Les impacts environnementaux de la mise en œuvre du revêtement en béton : choisir « Standard » puis « Manuel » dans les menus déroulants (cf. figure 9) ;
- La quantité d'armatures : 0 kg/m³ ; distance : 0 km ; tarif : 0 €/tonne (cf. figure 10) ;
- La quantité de goujons : 9 kg/m³ (cf. figure 10) ;
- Distance de transport goujons : 300 km (cf. figure 10) ;
- Tarif goujons rendu chantier : 800 €/t (cf. figure 10) ;
- Coût de la mise en œuvre du revêtement en béton : 135 €/m² (cf. figure 10).

➤ Figure 10.

Armatures ?	Quantité	<input type="text" value="0"/>	kg/m ³
	Distance usine chantier	<input type="text" value="0"/>	km
	Tarif armatures	<input type="text" value="0"/>	€/t
Goujons ?	Quantité	<input type="text" value="9"/>	kg/m ³
	Distance usine chantier	<input type="text" value="300"/>	km
	Tarif goujons	<input type="text" value="800"/>	€/t
Tarif de la mise en œuvre ?	<input type="text" value="135"/>	€/m ³	
<input type="button" value="OK"/>			

Rabotage
Fabrication et transport
Mise en œuvre
Résultat

▼ Figure 11.

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Épaisseur de la couche de roulement

Épaisseur de la couche de roulement ?	<input type="text" value="20"/>	cm
<input type="button" value="OK"/>		

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La sixième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût au mètre carré du revêtement en béton. L'utilisateur va indiquer la donnée relative à l'épaisseur du revêtement (cf. figure 11) :

- Épaisseur du revêtement béton : 20 cm.

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La septième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs au traitement de surface. L'utilisateur va entrer successivement les données suivantes (cf. figure 12) :

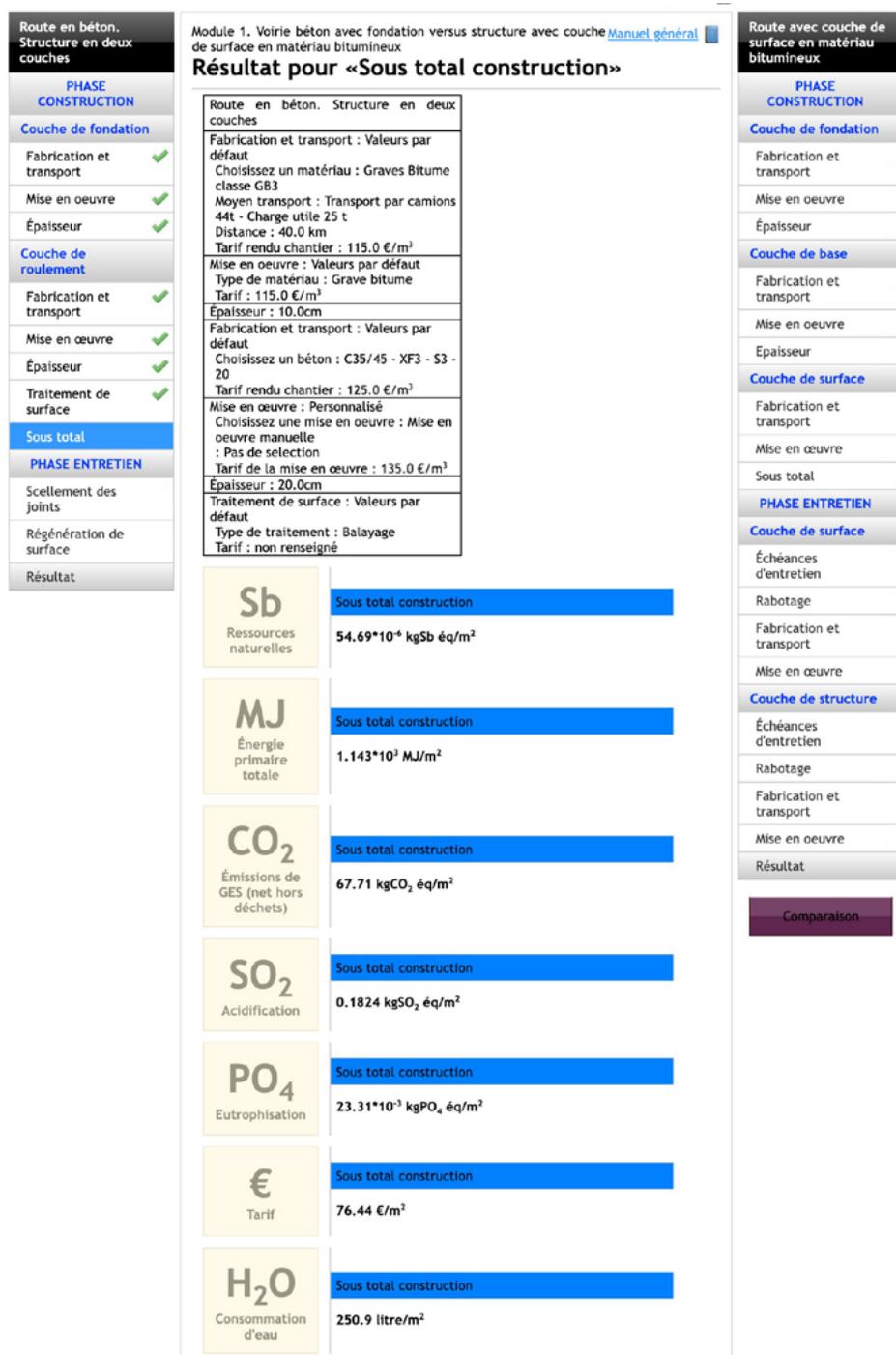
- Traitement de surface : Balayage ;
- Coût : 0 €/m².

➤ Figure 12.

Route en béton. Structure en deux couches	Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux	Route avec couche de surface en matériau bitumineux																						
PHASE CONSTRUCTION	Traitement de surface	PHASE CONSTRUCTION																						
Couche de fondation	<table border="1"> <tr> <td rowspan="10">Impacts environnementaux ?</td> <td>Émissions de GES (Net hors déchets) ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>kgCO₂ éq/m²</td> </tr> <tr> <td>Énergie primaire totale ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>MJ/m²</td> </tr> <tr> <td>Consommation d'eau ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>litre/m²</td> </tr> <tr> <td>Épuisement des ressources ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>kgSb éq/m²</td> </tr> <tr> <td>Acidification ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>kgSO₂ éq/m²</td> </tr> <tr> <td>Eutrophisation ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>kgPO₄ éq/m²</td> </tr> <tr> <td>Tarif ?</td> <td><input type="text" value="0"/></td> <td>€/m²</td> </tr> </table>	Impacts environnementaux ?	Émissions de GES (Net hors déchets) ?	<input type="text" value="0"/>	kgCO ₂ éq/m ²	Énergie primaire totale ?	<input type="text" value="0"/>	MJ/m ²	Consommation d'eau ?	<input type="text" value="0"/>	litre/m ²	Épuisement des ressources ?	<input type="text" value="0"/>	kgSb éq/m ²	Acidification ?	<input type="text" value="0"/>	kgSO ₂ éq/m ²	Eutrophisation ?	<input type="text" value="0"/>	kgPO ₄ éq/m ²	Tarif ?	<input type="text" value="0"/>	€/m ²	Couche de fondation
Impacts environnementaux ?			Émissions de GES (Net hors déchets) ?	<input type="text" value="0"/>	kgCO ₂ éq/m ²																			
			Énergie primaire totale ?	<input type="text" value="0"/>	MJ/m ²																			
			Consommation d'eau ?	<input type="text" value="0"/>	litre/m ²																			
			Épuisement des ressources ?	<input type="text" value="0"/>	kgSb éq/m ²																			
			Acidification ?	<input type="text" value="0"/>	kgSO ₂ éq/m ²																			
			Eutrophisation ?	<input type="text" value="0"/>	kgPO ₄ éq/m ²																			
			Tarif ?	<input type="text" value="0"/>	€/m ²																			
			Fabrication et transport	Fabrication et transport																				
			Mise en œuvre	Mise en œuvre																				
	Épaisseur	Épaisseur																						
Couche de roulement	Couche de base																							
Fabrication et transport	Fabrication et transport																							
Mise en œuvre	Mise en œuvre																							
Épaisseur	Épaisseur																							
Traitement de surface	Couche de surface																							
Sous total	Fabrication et transport																							
PHASE ENTRETIEN	Mise en œuvre																							
Scellement des joints	Sous total																							
Régénération de surface	PHASE ENTRETIEN																							
Résultat	Couche de surface																							
	Échéances d'entretien																							
	Rabotage																							
	Fabrication et transport																							
	Mise en œuvre																							
	Couche de structure																							

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche les résultats économiques et environnementaux de la solution « structure composite » pour le cycle de construction (cf. figure 13).

➤ Figure 13.



La huitième étape concerne l'entretien de la structure composite. Elle a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs au scellement des joints du revêtement en béton. L'utilisateur va indiquer successivement les données suivantes (cf. figure 14) :

- Échéances : 10 ; 20 ans ;
- Taux d'actualisation : 4 % ;
- Scellement joints : 3 côtés ;
- Coût : 6 €/m².

→ Figure 14.

**Route en béton.
Structure en deux couches**

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de roulement

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Traitement de surface

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints

Régénération de surface

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Scellement des joints

Échéances d'entretien

Taux d'actualisation %

Impacts environnementaux

Joint sur 3 côtés

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m²

Énergie primaire totale MJ/m²

Consommation d'eau litre/m²

Époussement des ressources kgSb éq/m²

Acidification kgSO₂ éq/m²

Eutrophisation kgPO₄ éq/m²

Tarif €/m²

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Résultat

▼ Figure 15.

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Régénération de surface

Échéances d'entretien

Taux d'actualisation %

Impacts environnementaux

Grenaillage petit chantier

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m²

Énergie primaire totale MJ/m²

Consommation d'eau litre/m²

Époussement des ressources kgSb éq/m²

Acidification kgSO₂ éq/m²

Eutrophisation kgPO₄ éq/m²

Tarif €/m²

La neuvième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la régénération des caractéristiques de surface du revêtement en béton. L'utilisateur va indiquer successivement les données suivantes (cf. figure 15):

- Échéances : 10 ; 20 ans ;
- Taux d'actualisation : 4 % ;
- Coût régénération de surface : 3 €/m².

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche les résultats économiques et environnementaux de la structure composite pour le cycle complet « construction + entretien » (cf. figure 16).

➤ Figure 16.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✔

Mise en oeuvre ✔

Épaisseur ✔

Couche de roulement

Fabrication et transport ✔

Mise en oeuvre ✔

Épaisseur ✔

Traitement de surface ✔

Sous total ✔

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✔

Régénération de surface ✔

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux Manuel général

Résultat pour «Route en béton. Structure en deux couches»

Route en béton. Structure en deux couches
Fabrication et transport : Valeurs par défaut
Choisissez un matériau : Graves Bitume classe GB3
Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t
Distance : 40.0 km
Tarif rendu chantier : 115.0 €/m ³
Mise en oeuvre : Valeurs par défaut
Type de matériau : Grave bitume
Tarif : 115.0 €/m ³
Épaisseur : 10.0cm
Fabrication et transport : Valeurs par défaut
Choisissez un béton : C35/45 - XF3 - S3 - 20
Tarif rendu chantier : 125.0 €/m ³
Mise en oeuvre : Personnalisé
Choisissez une mise en oeuvre : Mise en oeuvre manuelle
: Pas de selection
Tarif de la mise en oeuvre : 135.0 €/m ³
Épaisseur : 20.0cm
Traitement de surface : Valeurs par défaut
Type de traitement : Balayage
Tarif : non renseigné
Scellement des joints : Valeurs par défaut
Échéances d'entretien : 10 20
Taux d'actualisation : 4.0 %
Scellement : Joint sur 3 côtés
Tarif : 6.0 €/m ²
Régénération de surface : Valeurs par défaut
Échéances d'entretien : 10 20
Taux d'actualisation : 4.0 %
Type de régénération : Grenailage petit chantier
Tarif : 3.0 €/m ²

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Résultat

Comparaison

Sb Ressources naturelles	Route en béton. Structure en deux couches	55.98*10 ⁶ kgSb éq/m ²
MJ Énergie primaire totale	Route en béton. Structure en deux couches	1.16*10 ³ MJ/m ²
CO₂ Émissions de GES (net hors déchets)	Route en béton. Structure en deux couches	68.46 kgCO ₂ éq/m ²
SO₂ Acidification	Route en béton. Structure en deux couches	0.184 kgSO ₂ éq/m ²
PO₄ Eutrophisation	Route en béton. Structure en deux couches	23.42*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²
€ Tarif	Route en béton. Structure en deux couches	86.63 €/m ²
H₂O Consommation d'eau	Route en béton. Structure en deux couches	252.0 litre/m ²

Évaluation économique et environnementale de la solution en matériaux bitumineux

La première étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport de la couche de fondation GB3 de la solution en matériaux bitumineux BBSG/GB3/GB3. Pour cela, l'utilisateur va indiquer successivement les données relatives à la couche de fondation en GB3 (cf. figure 17) :

- Choix de l'origine des granulats dans le menu déroulant : Roche massive ;
- Choix du matériau de la couche de fondation dans le menu déroulant : GB3 ;
- Choix du moyen de transport de la GB3 dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- Distance de transport entre la centrale d'enrobage et le chantier : 40 km ;
- Tarif de la grave-bitume rendu chantier : 50 €/t.

➤ Figure 17.

Route en béton.
Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de roulement

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Traitement de surface ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✓

Régénération de surface ✓

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation

Impacts environnementaux

Fabrication [?]

Origine des granulats

Grave bitume GB3

Émissions de GES (Net hors déchets) [?] kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale [?] MJ/m³

Consommation d'eau [?] litre/m³

Épuisement des ressources [?] kgSb éq/m³

Acidification [?] kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation [?] kgPO₄ éq/m³

Impacts environnementaux

Transport [?]

Transport par camions 44t - Char[?]

Émissions de GES (Net hors déchets) [?] kgCO₂ éq/m³.km

Énergie primaire totale [?] MJ/m³.km

Consommation d'eau [?] litre/m³.km

Épuisement des ressources [?] kgSb éq/m³.km

Acidification [?] kgSO₂ éq/m³.km

Eutrophisation [?] kgPO₄ éq/m³.km

Distance transport [?] km

Tarif du matériau de fondation [?] €/t

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport **✓**

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Résultat

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La deuxième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux ainsi que le coût de la mise en œuvre de la couche de fondation de la solution bitumineuse. Le logiciel fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de fondation est la grave-bitume GB3. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra de choisir le coût de la mise en œuvre pour un mètre cube de matériau (115 €/m³) (cf. figure 18).

➤ Figure 18.

The screenshot shows a software interface for 'Mise en oeuvre du matériau de fondation'. It features three main panels: a left sidebar with a checklist of construction and maintenance phases, a central data entry area, and a right sidebar with a checklist of construction and maintenance phases. The central area displays environmental impact data for 'Grave bitume' and a cost of 115 €/m³.

Impact	Valeur	Unité
Émissions de GES (Net hors déchets)	1.58	kgCO ₂ éq/m ³
Énergie primaire totale	21.3	MJ/m ³
Consommation d'eau	2	litre/m ³
Épuisement des ressources	2.2e-6	kgSb éq/m ³
Acidification	0.0031	kgSO ₂ éq/m ³
Eutrophisation	0.000215	kgPO ₄ éq/m ³

Tarif Mise en oeuvre: 115 €/m³

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La troisième étape a pour but de déterminer les impacts environnementaux et le coût au mètre carré de chaussée. L'utilisateur est invité à indiquer l'épaisseur du matériau de la couche de fondation (13 cm), identifiée dans le paragraphe « Analyse technique » (cf. figure 19).

➤ Figure 19.

The screenshot shows a software interface for 'Épaisseur de la couche de fondation'. It features three main panels: a left sidebar with a checklist of construction phases, a central data entry area, and a right sidebar with a checklist of construction phases. The central area displays the thickness of the foundation layer as 13 cm and an 'OK' button.

Épaisseur de la couche de fondation: 13 cm

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La quatrième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport de la couche de base en GB3. L'utilisateur va entrer successivement les données relatives à la couche de base en GB3 (cf. *figure 20*) :

- Choix de l'origine des granulats dans le menu déroulant : Roche massive ;
- Choix du matériau de la couche de base dans le menu déroulant : GB3 ;
- Choix du moyen de transport de la GB3 dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- Distance de transport : 40 km ;
- Tarif de la grave-bitume rendu chantier : 50 €/t.

➤ Figure 20.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de roulement

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Traitement de surface ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✓

Régénération de surface ✓

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Fabrication et transport du matériau de la couche de base

Impacts environnementaux Fabrication

Origine des granulats

Grave bitume GB3

Émissions de GES (Net hors déchets) $87.7 \text{ kgCO}_2 \text{ éq/m}^3$

Énergie primaire totale 6050 MJ/m^3

Consommation d'eau 299 litre/m^3

Épuisement des ressources $0.000316 \text{ kgSb éq/m}^3$

Acidification $0.301 \text{ kgSO}_2 \text{ éq/m}^3$

Eutrophisation $0.0273 \text{ kgPO}_4 \text{ éq/m}^3$

Transport par camions 44t - Char

Émissions de GES (Net hors déchets) $0.102 \text{ kgCO}_2 \text{ éq/m}^3 \cdot \text{km}$

Énergie primaire totale $1.37 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{km}$

Consommation d'eau $0.129 \text{ litre/m}^3 \cdot \text{km}$

Épuisement des ressources $1.42\text{e-}7 \text{ kgSb éq/m}^3 \cdot \text{km}$

Acidification $0.0002 \text{ kgSO}_2 \text{ éq/m}^3 \cdot \text{km}$

Eutrophisation $1.39\text{e-}5 \text{ kgPO}_4 \text{ éq/m}^3 \cdot \text{km}$

Distance Transport 40 km

Tarif du matériau de base 50 €/t

OK

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Résultat

Comparaison

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La cinquième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux ainsi que le coût de la mise en œuvre de la couche de base de la solution bitumineuse. Le logiciel fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de base est la grave-bitume GB3. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra d'indiquer le coût de la mise en œuvre pour un mètre cube de matériau (115 €/m³) (cf. figure 21).

→ Figure 21.

↘ Figure 22.

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux
Épaisseur de la couche de base

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La sixième étape a pour but de déterminer les impacts environnementaux et le coût au mètre carré de chaussée. L'utilisateur est invité à indiquer l'épaisseur du matériau de la couche de base (12 cm), identifiée dans le paragraphe « Analyse technique » (cf. figure 22).

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La septième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport de la couche de surface en BBSG. L'utilisateur va indiquer successivement les données relatives à la couche de surface en BBSG (cf. figure 23) :

- Choix de l'origine des granulats dans le menu déroulant : Roche massive ;
- Choix du matériau de la couche de surface dans le menu déroulant : BBSG ;
- Choix du moyen de transport du BBSG dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- Distance de transport entre la centrale d'enrobage et le chantier : 40 km ;
- Tarif du BBSG rendu chantier : 60 €/t.

➤ Figure 23.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de roulement

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Traitement de surface ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✓

Régénération de surface ✓

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Fabrication et transport du matériau de surface

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de base

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Résultat

Comparaison

Impacts environnementaux Fabrication

Origine des granulats: Roche massive : BBSG 8 cr

Émissions de GES (Net hors déchets): 93.17 kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale: 7322 MJ/m³

Consommation d'eau: 333.6 litre/m³

Épuisement des ressources: 0.0003673 kgSb éq/m³

Acidification: 0.3381 kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation: 0.03023 kgPO₄ éq/m³

Impacts environnementaux Transport

Transport par camions 44t - Char:

Émissions de GES (Net hors déchets): 0.102 kgCO₂ éq/m³.km

Énergie primaire totale: 1.37 MJ/m³.km

Consommation d'eau: 0.129 litre/m³.km

Épuisement des ressources: 1.42e-7 kgSb éq/m³.km

Acidification: 0.0002 kgSO₂ éq/m³.km

Eutrophisation: 1.39e-5 kgPO₄ éq/m³.km

Distance: 40 km

Tarif rendu chantier: 60 €/t

OK

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La huitième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la mise en œuvre de la couche de surface. Le logiciel fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de surface est le béton bitumineux semi-greux BBSG. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra d'indiquer le coût de la mise en œuvre pour un mètre carré de matériau (6 €/m²) (cf. figure 24).

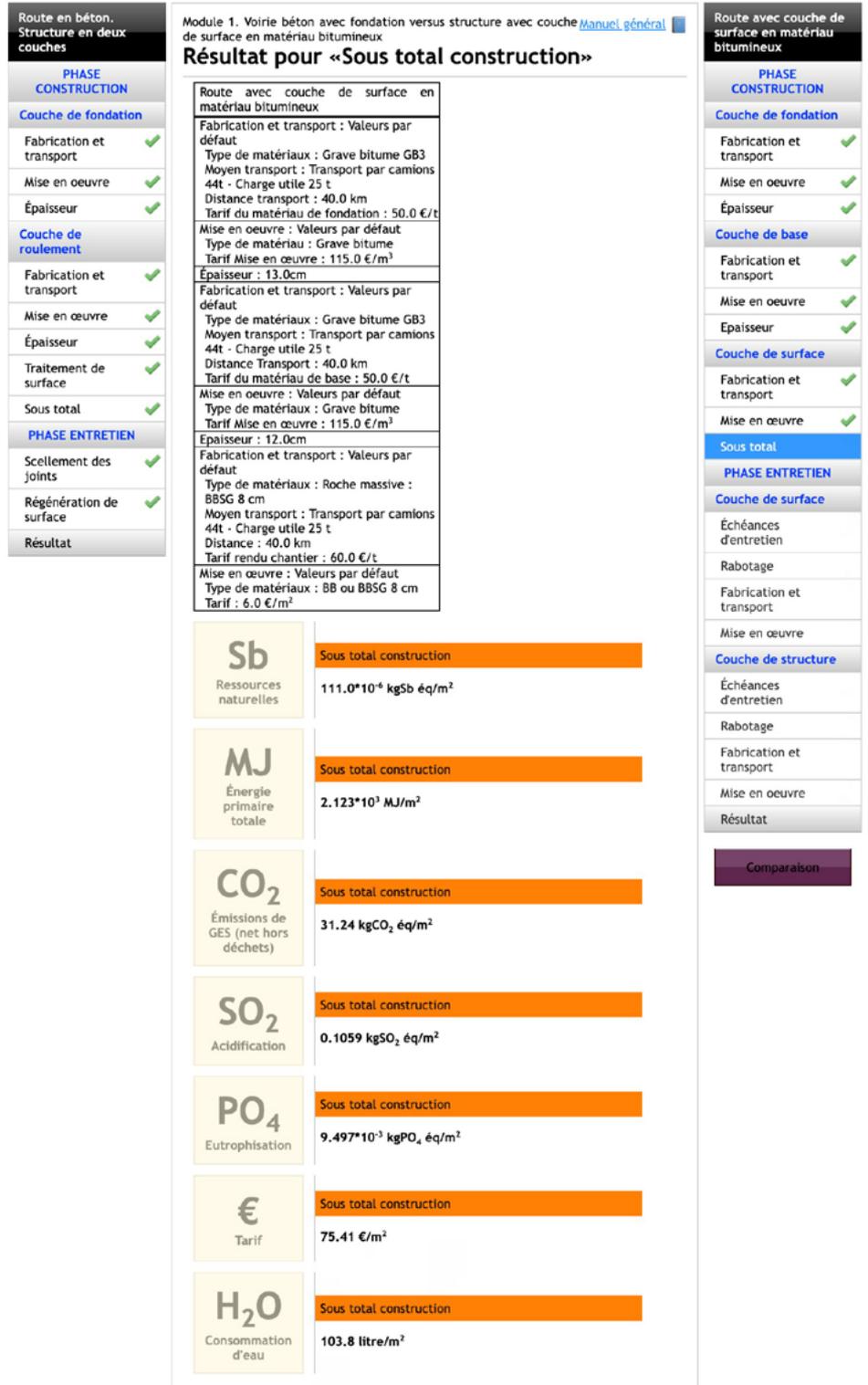
➤ Figure 24.

The screenshot shows a software interface for calculating environmental impacts and costs for a surface material layer. The interface is divided into three main sections:

- Left Sidebar (Checklist):**
 - PHASE CONSTRUCTION**
 - Couche de fondation
 - Fabrication et transport ✓
 - Mise en oeuvre ✓
 - Épaisseur ✓
 - Couche de roulement
 - Fabrication et transport ✓
 - Mise en oeuvre ✓
 - Épaisseur ✓
 - Traitement de surface ✓
 - Sous total ✓
 - PHASE ENTRETIEN**
 - Scellement des joints ✓
 - Régénération de surface ✓
 - Résultat
- Central Panel (Data Entry and Calculation):**
 - Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux
 - Mise en œuvre du matériau de surface**
 - BB ou BBSG 8 cm
 - Impacts environnementaux Mise en œuvre
 - Émissions de GES (Net hors déchets): 0.1186 kgCO₂ éq/m²
 - Énergie primaire totale: 1.594 MJ/m²
 - Consommation d'eau: 0.1497 litre/m²
 - Épuisement des ressources: 1.808e-7 kgSb éq/m²
 - Acidification: 0.0002326 kgSO₂ éq/m²
 - Eutrophisation: 1.614e-5 kgPO₄ éq/m²
 - Tarif: 6 €/m²
- Right Sidebar (Checklist):**
 - PHASE CONSTRUCTION**
 - Couche de fondation
 - Fabrication et transport ✓
 - Mise en oeuvre ✓
 - Épaisseur ✓
 - Couche de base
 - Fabrication et transport ✓
 - Mise en oeuvre ✓
 - Épaisseur ✓
 - Couche de surface
 - Fabrication et transport ✓
 - Mise en oeuvre (highlighted)
 - Sous total
 - PHASE ENTRETIEN**
 - Couche de surface
 - Échéances d'entretien
 - Rabotage
 - Fabrication et transport
 - Mise en oeuvre
 - Couche de structure

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche les résultats économiques et environnementaux de la solution bitumineuse pour le cycle construction (cf. figure 25).

➤ Figure 25.



▼ Figure 26.

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Couche de surface : Échéances d'entretien

Échéances d'entretien [?]

Taux d'actualisation [?] %

OK

La neuvième étape concerne l'entretien de surface de la structure bitumineuse. Elle a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs aux renouvellements périodiques de la couche de surface en BBSG. Pour cela, l'utilisateur va indiquer successivement (cf. figure 26) :

- Échéances d'entretien : 6 ; 12 ; 18 ; 24 ans ;
- Taux d'actualisation : 4 %.

Après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement la phase relative au rabotage de la couche de surface. Pour cela, l'utilisateur va indiquer successivement (cf. *figure 27*) :

- L'épaisseur de la couche de surface en BBSG à raboter : 8 cm ;
- Le choix de la machine de rabotage dans le menu déroulant (caractéristiques par défaut) ;
- Le coût du rabotage : 5 €/m² ;
- Le choix du moyen de transport dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- La distance de transport entre le chantier et la décharge : 70 km ;
- Le coût du transport : 0,10 €/t.km ;
- Le coût de mise en décharge : 50 €/t.

➤ Figure 27.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de roulement

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Traitement de surface ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✓

Régénération de surface ✓

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Rabotage

Épaisseur cm

Échéances d'entretien

Impacts environnementaux Rabotage

Consommation de fuel litres/jour

Rendement tonnes/jour

Tarif du rabotage €/m²

Impacts environnementaux Transport

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m³.km

Énergie primaire totale MJ/m³.km

Consommation d'eau litre/m³.km

Épuisement des ressources kgSb éq/m³.km

Acidification kgSO₂ éq/m³.km

Eutrophisation kgPO₄ éq/m³.km

Distance km

Tarif du transport €/t.km

Tarif de mise en décharge €/t

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de base

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de surface

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien ✓

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Résultat

La dixième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport du nouveau matériau de la couche de surface. Le logiciel rappellera les échéances d'entretien et fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de surface est le béton bitumineux semi-grenu BBSG. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra d'indiquer successivement les données suivantes (cf. figure 28) :

- Choix du moyen de transport du BBSG dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- Distance de transport entre la centrale d'enrobage et le chantier : 40 km ;
- Tarif du BBSG 8 cm, rendu chantier : 60 €/t.

➤ Figure 28.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Épaisseur

Couche de roulement

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Épaisseur

Traitement de surface

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints

Régénération de surface

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Fabrication et transport

Échéances d'entretien: 6ans 12ans 18ans 24ans

Impacts environnementaux Fabrication

Origine des granulats: Roche massive : BBSG 8 cm

Émissions de GES (Net hors déchets): 93.17 kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale: 7322 MJ/m³

Consommation d'eau: 333.6 litre/m³

Épuisement des ressources: 0.0003673 kgSb éq/m³

Acidification: 0.3381 kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation: 0.03023 kgPO₄ éq/m³

Impacts environnementaux Transport

Transport par camions 44t - Char:

Émissions de GES (Net hors déchets): 0.102 kgCO₂ éq/m³.km

Énergie primaire totale: 1.37 MJ/m³.km

Consommation d'eau: 0.129 litre/m³.km

Épuisement des ressources: 1.42e-7 kgSb éq/m³.km

Acidification: 0.0002 kgSO₂ éq/m³.km

Eutrophisation: 1.39e-5 kgPO₄ éq/m³.km

Distance: 40 km

Tarif rendu chantier: 60 €/t

OK

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Épaisseur

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en œuvre

Résultat

Comparaison

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La onzième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux ainsi que le coût de mise en œuvre du BBSG. Le logiciel rappellera les échéances d'entretien et fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de surface est le BBSG 8 cm. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra d'indiquer le coût de la mise en œuvre pour un mètre carré de matériau (6 €/m²) (cf. figure 29).

➤ Figure 29.

Route en béton. Structure en deux couches

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de roulement

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Traitement de surface ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✓

Régénération de surface ✓

Résultat

Mise en œuvre

Échéances d'entretien: 6ans 12ans 18ans 24ans

Impacts environnementaux Mise en œuvre ?

BB ou BBSG 8 cm

Émissions de GES (Net hors déchets) ? 0.1186 kgCO₂ éq/m²

Énergie primaire totale ? 1.594 MJ/m²

Consommation d'eau ? 0.1497 litre/m²

Épuisement des ressources ? 1.808e-7 kgSb éq/m²

Acidification ? 0.0002326 kgSO₂ éq/m²

Eutrophisation ? 1.614e-5 kgPO₄ éq/m²

Tarif ? 6 €/m²

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de base

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de surface

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien ✓

Rabotage ✓

Fabrication et transport ✓

Mise en œuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

▼ Figure 30.

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Couche de structure : Échéances d'entretien

Échéances d'entretien ? 18ans

Taux d'actualisation ? 4 %

OK

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La douzième étape concerne l'entretien structurel de la structure bitumineuse. Elle a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs au renouvellement de la couche de base en GB3. Pour cela, l'utilisateur va compléter successivement (cf. figure 30) :

- Échéances d'entretien : 18 ans ;
- Taux d'actualisation : 4 %.

Après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement la phase relative au rabotage de la couche de base. Il rappellera les échéances de l'entretien structurel ainsi que l'épaisseur de la couche de base à raboter. Pour cela, l'utilisateur va compléter successivement (cf. figure 31) :

- Le choix de la machine de rabotage dans le menu déroulant (caractéristiques par défaut) ;
- Le coût du rabotage : 10 €/m² ;
- Le choix du moyen de transport dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- La distance de transport entre le chantier et la décharge : 70 km ;
- Le coût du transport : 0,10 €/t.km ;
- Le coût de mise en décharge : 50 €/t.

➤ Figure 31.

**Route en béton.
Structure en deux couches**

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de roulement

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Traitement de surface

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints

Régénération de surface

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Rabotage

Échéances d'entretien ans

Épaisseur cm

Impacts environnementaux Rabotage

Caractéristiques par défaut

Consommation de fuel litres/jour

Rendement tonnes/jour

Tarif du rabotage €/m²

Impacts environnementaux Transport

Transport par camions 44t - Char

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m³.km

Énergie primaire totale MJ/m³.km

Consommation d'eau litre/m³.km

Épuisement des ressources kgSb éq/m³.km

Acidification kgSO₂ éq/m³.km

Eutrophisation kgPO₄ éq/m³.km

Distance km

Tarif du transport €/t.km

Tarif de mise en décharge €/t

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de base

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Épaisseur

Couche de surface

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Sous total

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Couche de structure

Échéances d'entretien

Rabotage

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Résultat

La treizième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux et le coût relatifs à la fabrication et au transport du nouveau matériau de la couche de base. Le logiciel rappellera les échéances d'entretien ainsi que l'épaisseur de la couche de base à raboter et fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de base est la grave-bitume GB3. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra d'indiquer successivement les données suivantes (cf. figure 32) :

- Choix du moyen de transport de la GB3 dans le menu déroulant : Camion 44 t ;
- Distance de transport entre la centrale d'enrobage et le chantier : 40 km ;
- Tarif de la GB3, rendu chantier : 50 €/t.

➤ Figure 32.

Route en béton. Structure en deux couches

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de roulement

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Traitement de surface ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Scellement des joints ✓

Régénération de surface ✓

Résultat

Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux

Fabrication et transport

Échéances d'entretien ans

Impacts environnementaux Fabrication ?

Origine des granulats

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m³

Énergie primaire totale MJ/m³

Consommation d'eau litre/m³

Épuisement des ressources kgSb éq/m³

Acidification kgSO₂ éq/m³

Eutrophisation kgPO₄ éq/m³

Épaisseur cm

Impacts environnementaux Transport ?

Transport par camions 44t - Char

Émissions de GES (Net hors déchets) kgCO₂ éq/m³.km

Énergie primaire totale MJ/m³.km

Consommation d'eau litre/m³.km

Épuisement des ressources kgSb éq/m³.km

Acidification kgSO₂ éq/m³.km

Eutrophisation kgPO₄ éq/m³.km

Distance km

Tarif rendu chantier €/t

Route avec couche de surface en matériau bitumineux

PHASE CONSTRUCTION

Couche de fondation

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de base

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Épaisseur ✓

Couche de surface

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Sous total ✓

PHASE ENTRETIEN

Couche de surface

Échéances d'entretien ✓

Rabotage ✓

Fabrication et transport ✓

Mise en oeuvre ✓

Couche de structure

Échéances d'entretien ✓

Rabotage ✓

Fabrication et transport

Mise en oeuvre

Résultat

Comparaison

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche automatiquement l'étape suivante.

La quatorzième étape a pour but de calculer les impacts environnementaux ainsi que le coût de mise en œuvre de la GB3. Le logiciel rappellera les échéances d'entretien, l'épaisseur de la couche de base et fournira automatiquement les impacts environnementaux de la mise en œuvre, ayant enregistré que le matériau de la couche de base est la grave-bitume GB3. Quant à l'utilisateur, il lui reviendra d'indiquer le coût de mise en œuvre pour un mètre cube de matériau (115 €/m^3) (cf. figure 33).

➤ Figure 33.

The screenshot shows a software interface for calculating environmental impacts and costs for a road construction phase. The interface is divided into three main sections:

- Left Sidebar (Progress Checklist):**
 - Route en béton. Structure en deux couches** (Completed)
 - PHASE CONSTRUCTION**
 - Couche de fondation (Completed)
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Completed)
 - Épaisseur (Completed)
 - Couche de roulement**
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Completed)
 - Épaisseur (Completed)
 - Traitement de surface (Completed)
 - Sous total (Completed)
 - PHASE ENTRETIEN**
 - Scellement des joints (Completed)
 - Régénération de surface (Completed)
 - Résultat (Completed)
- Central Main Panel (Data Entry):**
 - Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux**
 - Mise en œuvre**
 - Échéances d'entretien:** 18ans
 - Épaisseur:** 12 cm
 - Impacts environnementaux Mise en œuvre:**
 - Matériau: Grave bitume
 - Émissions de GES (Net hors déchets): 1.58 $\text{kgCO}_2 \text{ éq/m}^3$
 - Énergie primaire totale: 21.3 MJ/m^3
 - Consommation d'eau: 2 litre/ m^3
 - Épuisement des ressources: 2.2e-6 kgSb éq/m^3
 - Acidification: 0.0031 $\text{kgSO}_2 \text{ éq/m}^3$
 - Eutrophisation: 0.000215 $\text{kgPO}_4 \text{ éq/m}^3$
 - Tarif:** 115 €/m^3
 - OK** button
- Right Sidebar (Detailed Phase Checklist):**
 - Route avec couche de surface en matériau bitumineux** (Completed)
 - PHASE CONSTRUCTION**
 - Couche de fondation (Completed)
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Completed)
 - Épaisseur (Completed)
 - Couche de base**
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Completed)
 - Épaisseur (Completed)
 - Couche de surface**
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Completed)
 - Sous total (Completed)
 - PHASE ENTRETIEN**
 - Couche de surface (Completed)
 - Échéances d'entretien (Completed)
 - Rabotage (Completed)
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Completed)
 - Couche de structure**
 - Échéances d'entretien (Completed)
 - Rabotage (Completed)
 - Fabrication et transport (Completed)
 - Mise en œuvre (Selected)
 - Résultat (Completed)
 - Comparison** button

Une fois l'étape complétée et après avoir confirmé la saisie en cliquant sur « OK » en bas de l'écran, le logiciel affiche les résultats économiques et environnementaux de la structure bitumineuse pour le cycle complet « construction + entretien » (cf. figure 34).

➤ Figure 34.

Route en béton. Structure en deux couches	Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface en matériau bitumineux Manuel général	Route avec couche de surface en matériau bitumineux
PHASE CONSTRUCTION		PHASE CONSTRUCTION
Couche de fondation		Couche de fondation
Fabrication et transport ✔	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	Fabrication et transport ✔
Mise en oeuvre ✔	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	Mise en oeuvre ✔
Épaisseur ✔	Type de matériaux : Grave bitume GB3	Épaisseur ✔
Couche de roulement	Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t	Couche de base
Fabrication et transport ✔	Distance transport : 40.0 km	Fabrication et transport ✔
Mise en oeuvre ✔	Tarif du matériau de fondation : 50.0 €/t	Mise en oeuvre ✔
Épaisseur ✔	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	Épaisseur ✔
Traitement de surface ✔	Type de matériau : Grave bitume	Couche de surface
Sous total ✔	Tarif Mise en oeuvre : 115.0 €/m ³	Fabrication et transport ✔
PHASE ENTRETIEN	Épaisseur : 13.0cm	Mise en oeuvre ✔
Scellement des joints ✔	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	Sous total ✔
Régénération de surface ✔	Type de matériaux : Grave bitume GB3	PHASE ENTRETIEN
Résultat ✔	Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t	Couche de surface
	Distance : 40.0 km	Échéances d'entretien ✔
	Tarif rendu chantier : 60.0 €/t	Rabotage ✔
	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	Fabrication et transport ✔
	Type de matériaux : BB ou BBSG 8 cm	Mise en oeuvre ✔
	Tarif : 6.0 €/m ²	Couche de structure
	Échéances d'entretien : Valeurs par défaut	Échéances d'entretien ✔
	Échéances d'entretien : 6 12 18 24	Rabotage ✔
	Taux d'actualisation : 4.0 %	Fabrication et transport ✔
	Rabotage : Valeurs par défaut	Mise en oeuvre ✔
	Épaisseur : 8.0 cm	Résultat
	Échéances d'entretien : 6 12 18 24	Comparaison
	Machine de rabotage : Caractéristiques par défaut	
	Tarif du rabotage : 5.0 €/m ²	
	Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t	
	Distance : 70.0 km	
	Tarif du transport : 0.1 €/t.km	
	Tarif de mise en décharge : 50.0 €/t	
	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	
	Échéances d'entretien : 6 12 18 24	
	Type de matériaux : Roche massive : BBSG 8 cm	
	Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t	
	Distance : 40.0 km	
	Tarif rendu chantier : 60.0 €/t	
	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	
	Échéances d'entretien : 6 12 18 24	
	Type de matériaux : BB ou BBSG 8 cm	
	Tarif : 6.0 €/m ²	
	Échéances d'entretien : Valeurs par défaut	
	Échéances d'entretien : 18	
	Taux d'actualisation : 4.0 %	
	Rabotage : Valeurs par défaut	
	Échéances d'entretien : 18	
	Épaisseur : 12.0 cm	
	Machine de rabotage : Caractéristiques par défaut	
	Tarif du rabotage : 10.0 €/m ²	
	Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t	
	Distance : 70.0 km	
	Tarif du transport : 0.1 €/t.km	
	Tarif de mise en décharge : 50.0 €/t	
	Fabrication et transport : Valeurs par défaut	
	Échéances d'entretien : 18	
	Type de matériaux : Grave bitume GB3	
	Épaisseur : 12.0 cm	
	Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t	
	Distance : 40.0 km	
	Tarif rendu chantier : 50.0 €/t	
	Mise en oeuvre : Valeurs par défaut	
	Échéances d'entretien : 18	
	Épaisseur : 12.0 cm	
	Type de matériaux : Grave bitume	
	Tarif : 115.0 €/m ³	

➤ Figure 34 (suite).

Sb Ressources naturelles	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 275.0*10 ⁻⁶ kgSb éq/m ²
MJ Énergie primaire totale	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 5.274*10 ³ MJ/m ²
CO₂ Émissions de GES (net hors déchets)	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 77.68 kgCO ₂ éq/m ²
SO₂ Acidification	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 0.2622 kgSO ₂ éq/m ²
PO₄ Eutrophisation	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 23.28*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²
€ Tarif	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 177.9 €/m ²
H₂O Consommation d'eau	Route avec couche de surface en matériau bitumineux 254.1 litre/m ²

COMPARAISON DES DEUX SOLUTIONS « STRUCTURE COMPOSITE » ET « STRUCTURE BITUMINEUSE »

Elle comprend l'ensemble des données saisies ou choisies par l'utilisateur dans le menu déroulant ; les résultats du calcul des impacts de chacune des deux techniques comparées ; les résultats de la simulation sous forme de tableaux comparant les deux techniques sur le plan économique et environnemental ; et une présentation des résultats sous forme graphique (cf. figure 35).

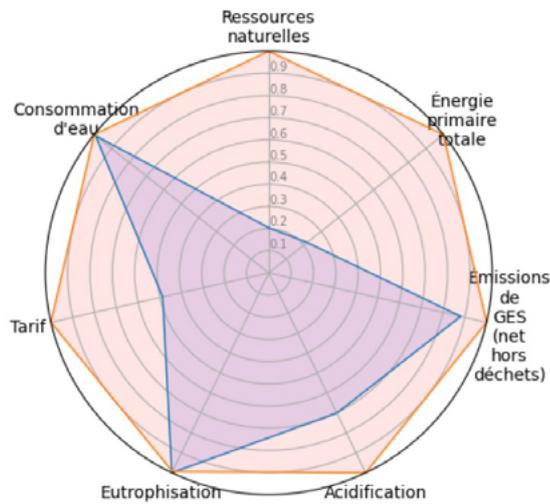
➤ Figure 35.

Route en béton. Structure en deux couches	Module 1. Voirie béton avec fondation versus structure avec couche de surface Exports	Route avec couche de surface en matériau bitumineux
PHASE CONSTRUCTION	Comparaison des deux méthodes	PHASE CONSTRUCTION
Couche de fondation		Couche de fondation
Fabrication et transport <input checked="" type="checkbox"/>	Route en béton. Structure en deux couches Fabrication et transport : Valeurs par défaut Choisissez un matériau : Graves Bitume classe GB3 Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance : 40.0 km Tarif rendu chantier : 115.0 €/m ³	Route avec couche de surface en matériau bitumineux Fabrication et transport : Valeurs par défaut Type de matériaux : Grave bitume GB3 Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance transport : 40.0 km Tarif du matériau de fondation : 50.0 €/t
Mise en œuvre <input checked="" type="checkbox"/>	Mise en œuvre : Valeurs par défaut Type de matériau : Grave bitume Tarif : 115.0 €/m ³	Mise en œuvre : Valeurs par défaut Type de matériau : Grave bitume Tarif Mise en œuvre : 115.0 €/m ³
Épaisseur <input checked="" type="checkbox"/>	Épaisseur : 10.0cm	Épaisseur : 13.0cm
Couche de roulement		Couche de base
Fabrication et transport <input checked="" type="checkbox"/>	Fabrication et transport : Valeurs par défaut Choisissez un béton : C35/45 - XF3 - S3 - 20 Tarif rendu chantier : 125.0 €/m ³	Fabrication et transport : Valeurs par défaut Type de matériaux : Grave bitume GB3 Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance Transport : 40.0 km Tarif du matériau de base : 50.0 €/t
Mise en œuvre <input checked="" type="checkbox"/>	Mise en œuvre : Personnalisé Choisissez une mise en œuvre : Mise en œuvre manuelle Pas de sélection Tarif de la mise en œuvre : 135.0 €/m ³	Mise en œuvre : Valeurs par défaut Type de matériaux : Grave bitume Tarif Mise en œuvre : 115.0 €/m ³
Épaisseur <input checked="" type="checkbox"/>	Épaisseur : 20.0cm	Épaisseur : 12.0cm
Traitement de surface <input checked="" type="checkbox"/>	Traitement de surface : Valeurs par défaut Type de traitement : Balayage Tarif : non renseigné	Fabrication et transport : Valeurs par défaut Type de matériaux : Roche massive : BBSG 8 cm Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance : 40.0 km Tarif rendu chantier : 60.0 €/t
Sous total <input checked="" type="checkbox"/>	Scellement des joints : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 10 20 Taux d'actualisation : 4.0 % Scellement : Joint sur 3 côtés Tarif : 6.0 €/m ²	Mise en œuvre : Valeurs par défaut Type de matériaux : BB ou BBSG 8 cm Tarif : 6.0 €/m ²
PHASE ENTRETIEN		PHASE ENTRETIEN
Scellement des joints <input checked="" type="checkbox"/>	Régénération de surface : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 10 20 Taux d'actualisation : 4.0 % Type de régénération : Grenaillage petit chantier Tarif : 3.0 €/m ²	Échéances d'entretien : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 6 12 18 24 Taux d'actualisation : 4.0 % Rabotage : Valeurs par défaut
Régénération de surface <input checked="" type="checkbox"/>		Rabotage <input checked="" type="checkbox"/>
Résultat <input checked="" type="checkbox"/>		Fabrication et transport <input checked="" type="checkbox"/>
		Mise en œuvre <input checked="" type="checkbox"/>
		Couche de surface
		Échéances d'entretien <input checked="" type="checkbox"/>
		Rabotage <input checked="" type="checkbox"/>
		Fabrication et transport <input checked="" type="checkbox"/>
		Mise en œuvre <input checked="" type="checkbox"/>
		Couche de

➤ Figure 35 (suite).

Chantier	Tarif : 3.0 €/m ²	Taux d'actualisation : 4.0 %	Mise en oeuvre
		Rabotage : Valeurs par défaut Épaisseur : 8.0 cm Échéances d'entretien : 6 12 18 24 Machine de rabotage : Caractéristiques par défaut Tarif du rabotage : 5.0 €/m ² Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance : 70.0 km Tarif du transport : 0.1 €/t.km Tarif de mise en décharge : 50.0 €/t	<input checked="" type="checkbox"/> Couche de structure <input checked="" type="checkbox"/> Échéances d'entretien <input checked="" type="checkbox"/> Rabotage <input checked="" type="checkbox"/> Fabrication et transport <input checked="" type="checkbox"/> Mise en oeuvre <input type="checkbox"/> Résultat
		Fabrication et transport : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 6 12 18 24 Type de matériaux : Roche massive : BBSG 8 cm Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance : 40.0 km Tarif rendu chantier : 60.0 €/t	<input type="button" value="Comparaison"/>
		Mise en oeuvre : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 6 12 18 24 Type de matériaux : BB ou BBSG 8 cm Tarif : 6.0 €/m ²	
		Échéances d'entretien : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 18 Taux d'actualisation : 4.0 %	
		Rabotage : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 18 Épaisseur : 12.0 cm Machine de rabotage : Caractéristiques par défaut Tarif du rabotage : 10.0 €/m ² Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance : 70.0 km Tarif du transport : 0.1 €/t.km Tarif de mise en décharge : 50.0 €/t	
		Fabrication et transport : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 18 Type de matériaux : Grave bitume GB3 Épaisseur : 12.0 cm Moyen transport : Transport par camions 44t - Charge utile 25 t Distance : 40.0 km Tarif rendu chantier : 50.0 €/t	
		Mise en oeuvre : Valeurs par défaut Échéances d'entretien : 18 Épaisseur : 12.0 cm Type de matériaux : Grave bitume Tarif : 115.0 €/m ²	
Sb Ressources naturelles	Route en béton. Structure en deux couches	55.98*10 ⁴ kgSb éq/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	275.0*10 ⁴ kgSb éq/m ²	
MJ Énergie primaire totale	Route en béton. Structure en deux couches	1.16*10 ³ MJ/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	5.274*10 ³ MJ/m ²	
CO₂ Émissions de GES (net hors déchets)	Route en béton. Structure en deux couches	68.46 kgCO ₂ éq/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	77.68 kgCO ₂ éq/m ²	
SO₂ Acidification	Route en béton. Structure en deux couches	0.184 kgSO ₂ éq/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	0.2622 kgSO ₂ éq/m ²	
PO₄ Eutrophisation	Route en béton. Structure en deux couches	23.42*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	23.28*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²	
€ Tarif	Route en béton. Structure en deux couches	86.63 €/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	177.9 €/m ²	
H₂O Consommation d'eau	Route en béton. Structure en deux couches	252.0 litre/m ²	
	Route avec couche de surface en matériau bitumineux	254.1 litre/m ²	

➤ Figure 35 (suite).



Ressources naturelles

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	321.7*10 ⁶ kgSb éq/m ²	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	321.7*10 ⁶ kgSb éq/m ²
Mise en œuvre du matériau de fondation	1.47*10 ⁶ kgSb éq/m ²	Mise en œuvre du matériau de fondation	2.2*10 ⁶ kgSb éq/m ²
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	29.8*10 ⁶ kgSb éq/m ²	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	321.7*10 ⁶ kgSb éq/m ²
Mise en œuvre de la couche de roulement	82.07*10 ⁶ kgSb éq/m ²	Mise en œuvre de la couche de base	2.2*10 ⁶ kgSb éq/m ²
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 kgSb éq/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	29.84*10 ⁶ kgSb éq/m ²
Sous total construction	54.69*10 ⁶ kgSb éq/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	180.8*10 ⁹ kgSb éq/m ²
Scellement des joints	926.0*10 ⁹ kgSb éq/m ²	Sous total construction	111.0*10 ⁶ kgSb éq/m ²
Régénération de surface	368.0*10 ⁹ kgSb éq/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	4.0 cycle(s)
Résultat final	55.98*10 ⁶ kgSb éq/m ²	Rabotage	921.7*10 ⁹ kgSb éq/m ²
		Fabrication et transport	29.84*10 ⁶ kgSb éq/m ²
		Mise en œuvre	180.8*10 ⁹ kgSb éq/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	1.0 cycle(s)
		Rabotage Structure	1.383*10 ⁶ kgSb éq/m ²
		Fabrication et transport	38.6*10 ⁶ kgSb éq/m ²
		Mise en œuvre	264.0*10 ⁹ kgSb éq/m ²
		Résultat final	275.0*10 ⁶ kgSb éq/m ²

Énergie primaire totale

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	6.105*10 ³ MJ/m ²	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	6.105*10 ³ MJ/m ²
Mise en œuvre du matériau de fondation	14.2 MJ/m ²	Mise en œuvre du matériau de fondation	21.3 MJ/m ²
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	2.36*10 ³ MJ/m ²	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	6.105*10 ³ MJ/m ²
Mise en œuvre de la couche de roulement	295.5 MJ/m ²	Mise en œuvre de la couche de base	21.3 MJ/m ²
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 MJ/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	590.1 MJ/m ²
Sous total construction	1.143*10 ³ MJ/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	1.594 MJ/m ²
Scellement des joints	13.24 MJ/m ²	Sous total construction	2.123*10 ³ MJ/m ²
Régénération de surface	3.54 MJ/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	4.0 cycle(s)
Résultat final	1.16*10 ³ MJ/m ²	Rabotage	8.893 MJ/m ²
		Fabrication et transport	590.1 MJ/m ²
		Mise en œuvre	1.594 MJ/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	1.0 cycle(s)
		Rabotage Structure	13.34 MJ/m ²
		Fabrication et transport	732.6 MJ/m ²
		Mise en œuvre	2.556 MJ/m ²
		Résultat final	5.274*10 ³ MJ/m ²

Émissions de GES (net hors déchets)

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	91.78 kgCO ₂ éq/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	91.78 kgCO ₂ éq/m ³
Mise en œuvre du matériau de fondation	1.06 kgCO ₂ éq/m ³	Mise en œuvre du matériau de fondation	1.58 kgCO ₂ éq/m ³
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	267.0 kgCO ₂ éq/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	91.78 kgCO ₂ éq/m ³
Mise en œuvre de la couche de roulement	25.11 kgCO ₂ éq/m ³	Mise en œuvre de la couche de base	1.58 kgCO ₂ éq/m ³
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 kgCO ₂ éq/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	7.78 kgCO ₂ éq/m ²
Sous total construction	67.71 kgCO ₂ éq/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	0.1186 kgCO ₂ éq/m ²
Scellement des joints	0.488 kgCO ₂ éq/m ²	Sous total construction	31.24 kgCO ₂ éq/m ²
Régénération de surface	0.264 kgCO ₂ éq/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	4.0 cycle(s)
Résultat final	68.46 kgCO₂ éq/m²	Rabotage	0.662 kgCO ₂ éq/m ²
		Fabrication et transport	7.78 kgCO ₂ éq/m ²
		Mise en œuvre	0.1186 kgCO ₂ éq/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	1.0 cycle(s)
		Rabotage Structure	0.993 kgCO ₂ éq/m ²
		Fabrication et transport	11.01 kgCO ₂ éq/m ²
		Mise en œuvre	0.1896 kgCO ₂ éq/m ²
		Résultat final	77.68 kgCO₂ éq/m²

Acidification

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	0.309 kgSO ₂ éq/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	0.309 kgSO ₂ éq/m ³
Mise en œuvre du matériau de fondation	2.07*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ³	Mise en œuvre du matériau de fondation	3.1*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ³
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	0.599 kgSO ₂ éq/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	0.309 kgSO ₂ éq/m ³
Mise en œuvre de la couche de roulement	0.1576 kgSO ₂ éq/m ³	Mise en œuvre de la couche de base	3.1*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ³
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 kgSO ₂ éq/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	27.69*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ²
Sous total construction	0.1824 kgSO ₂ éq/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	232.6*10 ⁻⁶ kgSO ₂ éq/m ²
Scellement des joints	1.108*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ²	Sous total construction	0.1059 kgSO ₂ éq/m ²
Régénération de surface	516.0*10 ⁻⁶ kgSO ₂ éq/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	4.0 cycle(s)
Résultat final	0.184 kgSO₂ éq/m²	Rabotage	1.298*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ²
		Fabrication et transport	27.69*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ²
		Mise en œuvre	232.6*10 ⁻⁶ kgSO ₂ éq/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	1.0 cycle(s)
		Rabotage Structure	1.947*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ²
		Fabrication et transport	37.08*10 ⁻³ kgSO ₂ éq/m ²
		Mise en œuvre	372.0*10 ⁻⁶ kgSO ₂ éq/m ²
		Résultat final	0.2622 kgSO₂ éq/m²

Eutrophisation

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	27.86*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	27.86*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ³
Mise en œuvre du matériau de fondation	144.0*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ³	Mise en œuvre du matériau de fondation	215.0*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ³
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	94.6*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	27.86*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ³
Mise en œuvre de la couche de roulement	7.928*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ³	Mise en œuvre de la couche de base	215.0*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ³
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 kgPO ₄ éq/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	2.463*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²
Sous total construction	23.31*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	16.14*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²
Scellement des joints	79.4*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²	Sous total construction	9.497*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²
Régénération de surface	35.8*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	4.0 cycle(s)
Résultat final	23.42*10⁻³ kgPO₄ éq/m²	Rabotage	90.2*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²
		Fabrication et transport	2.463*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²
		Mise en œuvre	16.14*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	1.0 cycle(s)
		Rabotage Structure	135.3*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²
		Fabrication et transport	3.343*10 ⁻³ kgPO ₄ éq/m ²
		Mise en œuvre	25.8*10 ⁻⁶ kgPO ₄ éq/m ²
		Résultat final	23.28*10⁻³ kgPO₄ éq/m²

Tarif

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	115.0 €/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	117.5 €/m ³
Mise en œuvre du matériau de fondation	115.0 €/m ³	Mise en œuvre du matériau de fondation	115.0 €/m ³
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	125.0 €/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	117.5 €/m ³
Mise en œuvre de la couche de roulement	142.2 €/m ³	Mise en œuvre de la couche de base	115.0 €/m ³
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 €/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	11.28 €/m ²
Sous total construction	76.44 €/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	6.0 €/m ²
Scellement des joints	6.792 €/m ²	Sous total construction	75.41 €/m ²
Régénération de surface	3.396 €/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	2.299 Coefficient
Résultat final	86.63 €/m²	Rabotage	15.72 €/m ²
		Fabrication et transport	11.28 €/m ²
		Mise en œuvre	6.0 €/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	0.4936 Coefficient
		Rabotage Structure	26.07 €/m ²
		Fabrication et transport	14.1 €/m ²
		Mise en œuvre	13.8 €/m ²
		Résultat final	177.9 €/m²

Consommation d'eau

Route en béton. Structure en deux couches		Route avec couche de surface en matériau bitumineux	
Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	304.2 litre/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de fondation	304.2 litre/m ³
Mise en œuvre du matériau de fondation	1.33 litre/m ³	Mise en œuvre du matériau de fondation	2.0 litre/m ³
Épaisseur de la couche de fondation	10.0 cm	Épaisseur couche de fondation	13.0 cm
Fabrication et transport du béton de la couche de roulement	1.04*10 ³ litre/m ³	Fabrication et transport du matériau de la couche de base	304.2 litre/m ³
Mise en œuvre de la couche de roulement	61.53 litre/m ³	Mise en œuvre de la couche de base	2.0 litre/m ³
Épaisseur de la couche de roulement	20.0 cm	Épaisseur de la couche de base	12.0 cm
Traitement de surface	0.0 litre/m ²	Fabrication et transport du matériau de surface	27.1 litre/m ²
Sous total construction	250.9 litre/m ²	Mise en œuvre du matériau de surface	0.1497 litre/m ²
Scellement des joints	0.774 litre/m ²	Sous total construction	103.8 litre/m ²
Régénération de surface	0.332 litre/m ²	Couche de surface : Échéances d'entretien	4.0 cycle(s)
Résultat final	252.0 litre/m²	Rabotage	0.837 litre/m ²
		Fabrication et transport	27.1 litre/m ²
		Mise en œuvre	0.1497 litre/m ²
		Couche de structure : Échéances d'entretien	1.0 cycle(s)
		Rabotage Structure	1.256 litre/m ²
		Fabrication et transport	36.5 litre/m ²
		Mise en œuvre	0.24 litre/m ²
		Résultat final	254.1 litre/m²

CONCLUSION

Cette étude de cas montre tout l'intérêt de comparer les solutions d'aménagement d'un carrefour giratoire. C'est la solution en structure composite BC5g/GB3 qui affiche – pour les hypothèses et les données retenues dans la simulation – les meilleurs résultats, tant sur le plan économique que sur le plan environnemental.

POUR ALLER PLUS LOIN

PROCÉDURE D'INSCRIPTION

> Pour vous inscrire et commencer à utiliser PERCEVAL
<https://www.infociments.fr/calculateur-perceval>

☰ Direction de la publication : François Redron

☰ Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Cédric Le Gouil,
Joseph Abdo

☰ Reportages, rédaction : Joseph Abdo, Étienne Diemert

☰ Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T

☰ Crédits photos : CIMbéton, Agilis

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton : 16 bis, boulevard Jean Jaurès - 92110 Clichy. Tél. : 01 55 23 01 00 - E-mail : centrinfo@cimbeton.net



AGENDA / JOURNÉES TECHNIQUES CIMBÉTON 2023

OPTIMISER VOS PROJETS ROUTIERS TRAVAUX NEUFS ET ENTRETIEN

> Le matin : conférences techniques axées sur l'entretien des infrastructures.

> L'après-midi :

- Conférence technique axée sur la construction neuve et l'aménagement urbain.
- Présentation de l'éco-comparateur PERCEVAL, suivie d'une étude de cas.

Invitations disponibles sur simple demande auprès de CIMbéton.

LIEUX

Compiègne : 16 mars 2023.

Orléans : 25 mai 2023.

Bordeaux : 8 juin 2023.

Paris Est : 22 juin 2023.

Dijon : 9 novembre 2023.

Marseille : 23 novembre 2023.



REMUE-MÉNINGES #07

Problème posé : la diversité du temps (suite 3)

Pour augmenter le degré de complexité du problème, caractérisons le temps à l'aide de quatre indices :

- 1^{er} indice : le ciel est couvert ou dégagé ;
- 2^e indice : le matin ou l'après-midi ;
- 3^e indice : la température de l'air ambiant est négative ou positive ;
- 4^e indice : la vitesse du vent est faible ou modérée.

Autrement dit, distinguons seulement les demi-journées claires et les demi-journées nuageuses associées à des températures négatives ou positives et à la présence d'un vent faible ou modéré. Peut-on, dans ces conditions, avoir beaucoup de semaines avec des alternances de temps différents ? À première vue, non. Au bout de quelques semaines, toutes les combinaisons de demi-journées claires et de demi-journées nuageuses associées à des températures négatives ou positives et à un vent faible ou modéré seront probablement épuisées, et l'une des combinaisons déjà observées se répétera inévitablement.

Calculer alors le nombre de semaines avec des alternances de temps différents pour les quatre indices retenus.

(Réponse dans le prochain numéro : Routes La Revue #07.)

SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES #06

Problème posé : la diversité du temps (suite 2)

Pour augmenter le degré de complexité du problème, caractérisons le temps à l'aide de trois indices :

- 1^{er} indice : le ciel est couvert ou dégagé ;
- 2^e indice : le matin ou l'après-midi ;
- 3^e indice : la température de l'air ambiant est négative ou positive.

Autrement dit, distinguons seulement les demi-journées claires et les demi-journées nuageuses associées à des températures négatives ou positives. Peut-on, dans ces conditions, avoir beaucoup de semaines avec des alternances de temps différents ? À première vue, non. Au bout de quelques semaines, toutes les combinaisons de demi-journées claires et de demi-journées nuageuses associées à des températures négatives ou positives seront probablement épuisées, et l'une des combinaisons déjà observées se répétera inévitablement.

Calculer alors le nombre de semaines avec des alternances de temps différents pour les trois indices retenus.

>>> SOLUTION EN PAGE 37

LE SAVIEZ-VOUS ?

SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES #06

Avec trois indices pour caractériser le temps, à savoir :

- 1^{er} indice : le ciel est couvert ou dégagé ;
- 2^e indice : le matin ou l'après-midi ;
- 3^e indice : température négative ou température positive.

On peut donc procéder en déterminant le nombre d'alternances de temps différents.

Considérons un jour ; les alternances de temps peuvent être :

Couvert – couvert – température négative ;
Couvert – couvert – température positive ;
Couvert – dégagé – température négative ;
Couvert – dégagé – température positive ;
Dégagé – couvert – température négative ;
Dégagé – couvert – température positive ;
Dégagé – dégagé – température négative ;
Dégagé – dégagé – température positive.

Sur 1 jour, il y a donc $2 \times 2 \times 2 = 8$ possibilités ou 8^1 d'alternances de temps différents.

Considérons maintenant la suite de deux jours consécutifs ; on peut avoir les alternances de temps obtenues en combinant les 8 alternances du 1er jour avec les 8 alternances du 2^e jour, soit $8 \times 8 = 64 = 8^2$.

Voici le détail des 64 alternances possibles sur 2 jours :

Couvert – couvert – temp. nég. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Couvert – couvert – temp. pos. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – couvert – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Couvert – dégagé – temp. nég. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Couvert – dégagé – temp. pos. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Couvert – dégagé – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Dégagé – couvert – temp. nég. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Dégagé – couvert – temp. pos. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – couvert – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Dégagé – dégagé – temp. nég. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. nég. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Dégagé – dégagé – temp. pos. – couvert – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – couvert – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – couvert – dégagé – temp. pos. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – dégagé – couvert – temp. pos. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. nég. ;
Dégagé – dégagé – temp. pos. – dégagé – dégagé – temp. pos. ;

Sur 2 jours consécutifs, il y a donc soixante-quatre possibilités d'alternances de temps différents ou 8^2 possibilités d'alternances de temps différents. Avec le même raisonnement, on peut affirmer que, sur 7 jours consécutifs, il y a donc 8^7 ou 2 097 152 possibilités d'alternances de temps différents.

En d'autres termes, sur la base de trois indices (couvert ou dégagé ; matin ou après-midi ; température négative ou positive), il y aura 2 097 152 semaines avec des alternances de temps différents. Au bout de 2 097 152 semaines, soit 14 680 064 jours ou environ 40 330 ans, toutes les combinaisons seront probablement épuisées, et l'une des combinaisons déjà observées se répétera inévitablement.