



Le bilan de ces A.C.V. a été présenté lors d'une demi-journée technique, le 4 juin dernier à l'E.S.T.P. à Paris. Un nombreux public de professionnels, de techniciens et de prescripteurs a participé aux débats.

bilan d'Analyse de Cycle de Vie de produits de construction en pierre

par *Shahinaz Sayagh*
Chef de projet au C.T.M.N.C

A l'heure des chantiers HQE et des labellisations environnementales qui émergent de toute part, le CTMNC a ouvert le débat sur l'évaluation environnementale des produits en pierre naturelle. Trois Analyses de Cycle de Vie de revêtement mince attaché, de mur double et de pavé de voirie en pierre ont été réalisées. Leurs résultats, publiés sur la base INIES (www.inies.fr) sous forme de Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire par produit, ont fait l'objet d'une demi-journée de présentation en juin dernier à Paris.

Qu'est-ce qu'une A.C.V. ?

Construire un ouvrage, l'entretenir, le déconstruire... génère des impacts importants sur l'environnement. L'approche en cycle de vie permet d'apprécier la qualité environnementale d'un produit sur l'ensemble de sa durée de vie.

Au sens de la norme ISO 14044 (2006), l'ACV est définie comme la compilation et l'évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie. Il s'agit d'évaluer un système de procédés et de transports associés à un produit ou un service en identifiant et en quantifiant les flux entrants (énergie, masses de matériaux) et les flux sortants émis dans chacun des compartiments du milieu environnant (eau, air, sol), puis



Didier Pallix, directeur général adjoint du C.T.M.N.C., Shahinaz Sayagh, chef de projet au C.T.M.N.C., Isabelle Moulin, responsable du pôle Matériaux et Environnement au L.E.R.M. et Jacques Chevalier, ingénieur d'études et recherche de la Division Environnement au C.S.T.B. ont expliqué ce qu'était une A.C.V. et présenté les résultats de celles réalisées sur les produits en pierre naturelle.

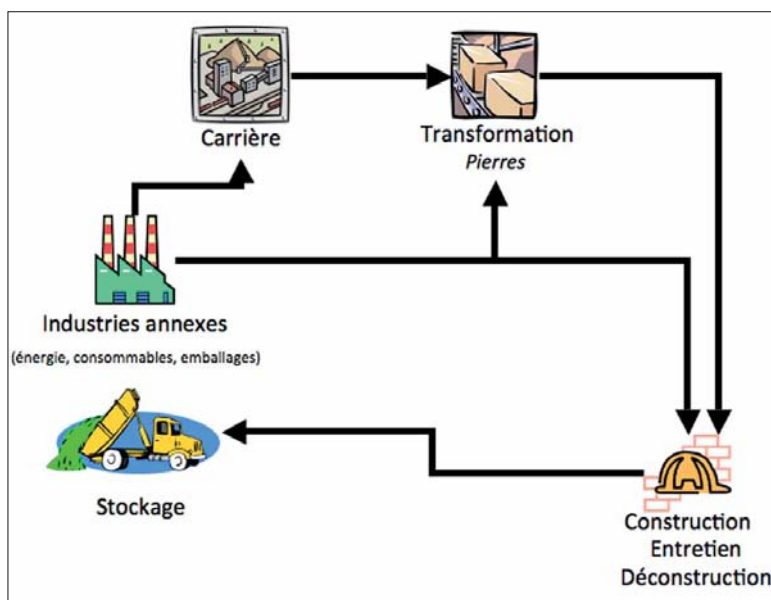


Figure 1 : système environnemental pris en compte

d'en évaluer les impacts environnementaux potentiels. En principe, toutes les phases du cycle de vie du produit ou du service sont prises en compte, depuis l'extraction et la fabrication des matières premières, jusqu'à la fin de vie (réutilisation, recyclage et/ou mise en décharge) en intégrant les étapes de transformation, transport, distribution, utilisation, maintenance...

L'ACV peut participer :

- à l'identification des possibilités d'amélioration des performances environnementales des produits à différentes étapes de leur cycle de vie,
- à l'information des décideurs de l'industrie et des organismes gouvernementaux et non gouvernementaux (par exemple pour les besoins de planification stratégique, d'établissement des priorités, de conception ou de reconception de produit ou de procédé),
- au choix d'indicateurs de performances environnementales pertinents, y compris les techniques de mesure,
- au marketing (par exemple la mise en œuvre d'un système d'étiquetage écologique, d'une revendication en matière d'environnement ou d'une déclaration environnementale relative à un produit).

L'ACV est un processus itératif constitué de quatre étapes principales :

- Définition des objectifs et du champ de l'étude
- Inventaire
- Evaluation de l'impact
- Interprétation des résultats.

Le domaine d'application, incluant la frontière

du système et le niveau de détail d'une ACV, dépend du sujet et de l'utilisation envisagée de l'étude. La profondeur et l'ampleur des ACV peuvent considérablement différer en fonction des objectifs d'une ACV particulière. La phase d'évaluation de l'impact du cycle de vie est la troisième phase de l'ACV. Son objectif consiste à fournir des informations complémentaires pour permettre d'évaluer les résultats de l'inventaire du cycle de vie d'un système de produits afin de mieux comprendre leur portée environnementale.

L'interprétation du cycle de vie est la dernière phase

de l'ACV.

Qu'est-ce qu'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire ?

Les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) ont été élaborées pour permettre aux concepteurs d'ouvrages de réaliser le meilleur choix de produit à partir d'un support scientifique environnemental et sanitaire. Une FDES fournit objectivement des indicateurs chiffrés sur les impacts générés par le produit tout au long de son cycle de vie. Elle est réalisée conformément à la norme NF P 01-010.

Analyse de Cycle de Vie et Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire de produits en pierre naturelle

Hypothèses de réalisation des 3 ACV

Trois types de produits en pierre naturelle ont été étudiés : un pavé de voirie, une pierre massive et un revêtement mince attaché. Plusieurs carrières et différents types de pierre (calcaire, grès et granit) ont été retenus.

Nous nous sommes intéressés à quantifier les impacts totaux d'un système environnemental (figure 1), mais aussi à la répartition des impacts dans chaque sous-système. Cette discrimination permet de préciser la contribution des impacts environnementaux de chaque procédé. Les unités fonctionnelles retenues pour les trois produits en pierre sont présentées dans le tableau 1 page suivante.

Présentation des résultats environnementaux des trois ACV

Nous nous sommes restreints dans cet article

	Mur double en grès des Vosges 14 x (16 à 20) x (8 à 12) cm	Pierre mince attachée en calcaire de Bourgogne 80 x 50 x 3 cm	Pavé de voirie en granit breton et calcaire dur du sud 10 x 10 x (6 à 8) cm
Unité Fonctionnelle	Assurer le revêtement de façon esthétique de 1 m2 de façade, pendant une annuité.		Assurer la fonction de 1 m2 de revêtement pendant une annuité.
Durée de Vie	200 ans	100 ans	100 ans
Typique	70 km par route - Remplissage 90 %	400 km par route	100 km par route (40 %) 400 km par route (60 %)
Transport	Joint de pose de 1 cm en mortier bâtard. 5 attaches inox/m2	5 pattes inox par m2 - Taux de perte : 3 %	Lit de pose en sable de 5 cm Joint de sable de 1,5 cm
Mise en œuvre	Un hydrogommage / 100 ans (50 % des façades)	Un lavage au jet haute pression / 50 ans (75 % des façades)	Aucun entretien
Fréquence d'entretien	Réutilisation à 95 %	Réutilisation à 70 % des pierres. Réutilisation des attaches à 100 %	Réutilisation à 90 % du revêtement et du lit de pose

Tableau 1 : hypothèses de calcul retenues pour les trois produits en pierre

à la présentation de quatre indicateurs environnementaux, à savoir la consommation d'énergie primaire, la consommation d'eau, les émissions de CO₂ et la production de déchets. L'évaluation de ces indicateurs est ramenée pour chaque produit à son unité fonctionnelle.

Mur double

L'étude porte sur la production de moellons en grès des Vosges éclatés pour une utilisation en mur double autoporteur (les moellons taillés constituent la paroi extérieure non porteuse du

mur, la paroi interne porteuse étant en maçonnerie ou en béton). L'arbre des procédés pris en compte pour la réalisation de l'inventaire de cycle de vie de ce produit est présenté en figure 2. Il a été défini à partir des principaux flux de matières et énergies.

Il présente l'ensemble des procédés de production des consommables nécessaires à l'extraction des blocs en pierre, la transformation des blocs en moellons, puis la mise en œuvre, l'entretien de l'ouvrage pendant sa vie en œuvre et enfin sa fin de vie.

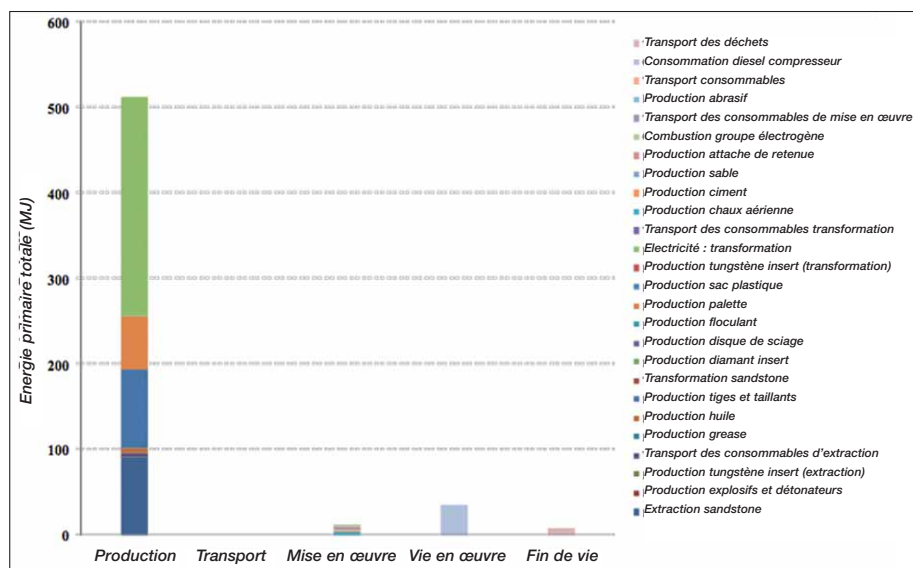


Fig. 3 : consommation énergétique (en MJ) pour toute la durée de vie (D.V.T.)

Consommation d'énergie primaire totale (MJ)
 La consommation énergétique totale ainsi que la contribution des différents procédés est présentée en figure 3.
 L'étape de production contribue à 90 % de la consommation énergétique totale, la mise en

œuvre 3 %, la vie en œuvre 6 % et la fin de vie 1 %. La part du transport est quasi négligeable. Pour la production, les quatre postes les plus consommateurs d'énergie sont : la production d'électricité (50 %), l'extraction de la pierre (18 %), la production de consommables nécessaires à

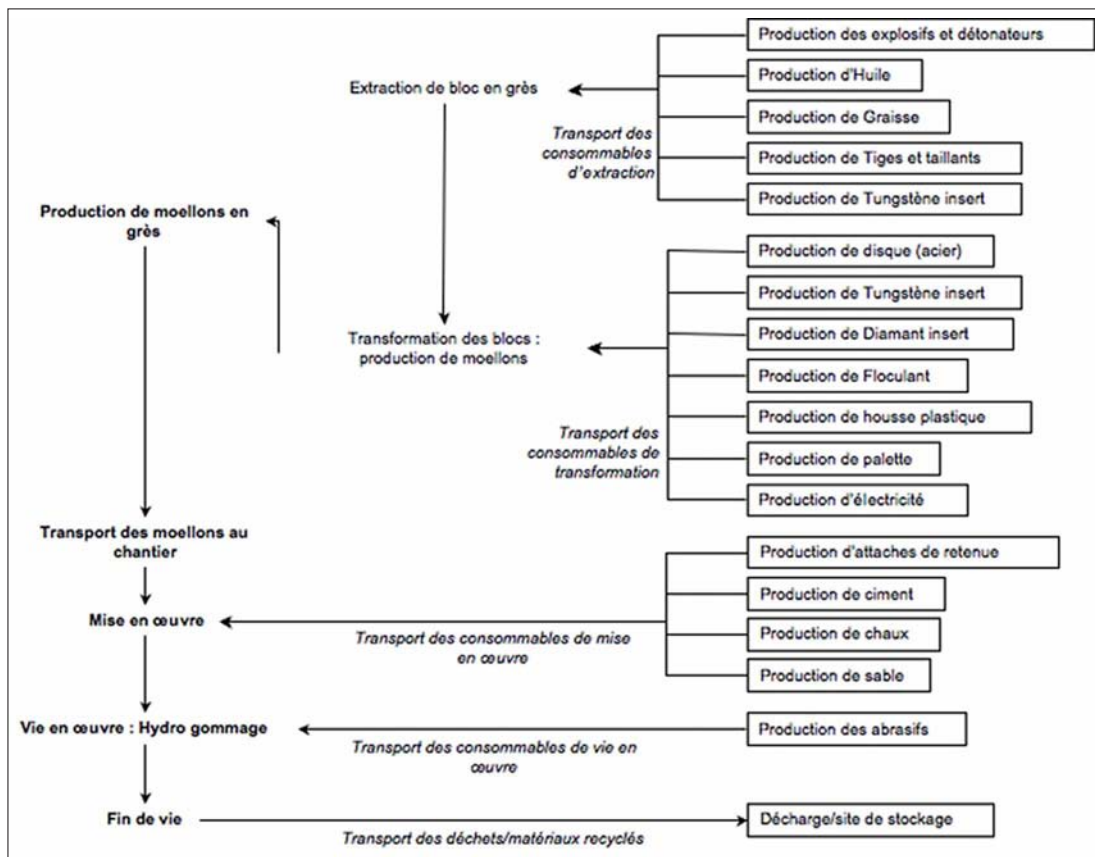


Fig. 2 : système environnemental considéré pour le mur double

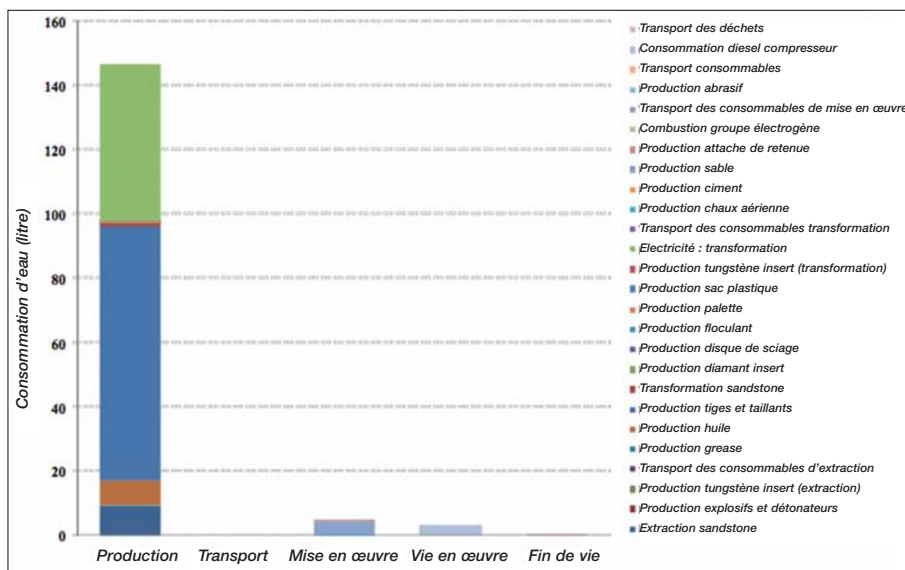


Fig. 4 : consommation d'eau (en litre) pour toute la D.V.T.

l'extraction (tiges de perforateurs, taillants) (18 %) et la production de palettes (12 %).

Consommation d'eau

La figure suivante présente les données d'inventaire de consommation d'eau.

C'est l'étape de production qui est la plus consommatrice d'eau (94%), avec une contribution importante des deux postes : fabrication des consommables d'extraction (tiges et taillants) et production d'électricité.

Emissions de CO₂

L'étape de production présente près de 75 % des émissions de CO₂ pour la plupart issues des postes : extraction, production des tiges et taillants et production d'énergie.

L'étape de mise en œuvre contribue à raison

de 10 % dont 47 % pour la production du ciment et 34 % pour la production de la chaux. L'étape de vie en œuvre contribue à 12 %.

Production de déchets

L'étape de production contribue à 85 % dont 68 % sont issus de la production des tiges et taillants et 25 % de la production d'énergie.

L'étape de mise en œuvre contribue à 13 %, la vie en œuvre à 2 %.

Pierre mince attachée

Pour la pierre mince attachée en calcaire de Bourgogne, l'arbre des procédés est présenté dans la figure page suivante.

Consommation d'énergie

83 % de l'énergie consommée est due à la

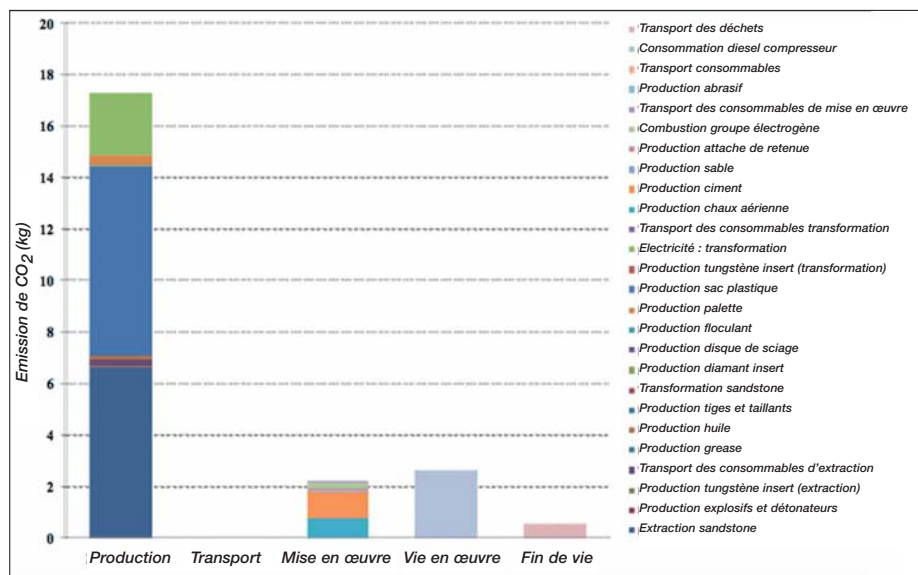


Fig. 5 : émission de CO₂ (en kg) pour toute la D.V.T.

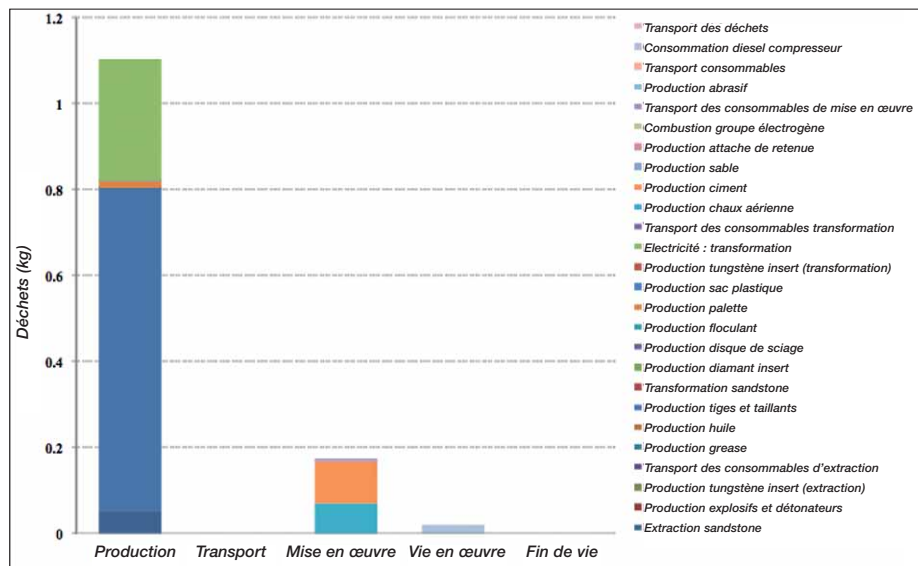


Fig. 6 : production de déchets (en kg) pour toute la D.V.T.

phase de production.
 8 % pour chacune des deux phases de vie en œuvre et fin de vie, et 1 % pour le transport.

Consommation d'eau

50 % de la consommation d'eau est due à la

vie en œuvre, 39 % à la production.

Emission de CO₂

67 % des émissions de CO₂ sont dues à la production dont 70 % à l'énergie de transformation.

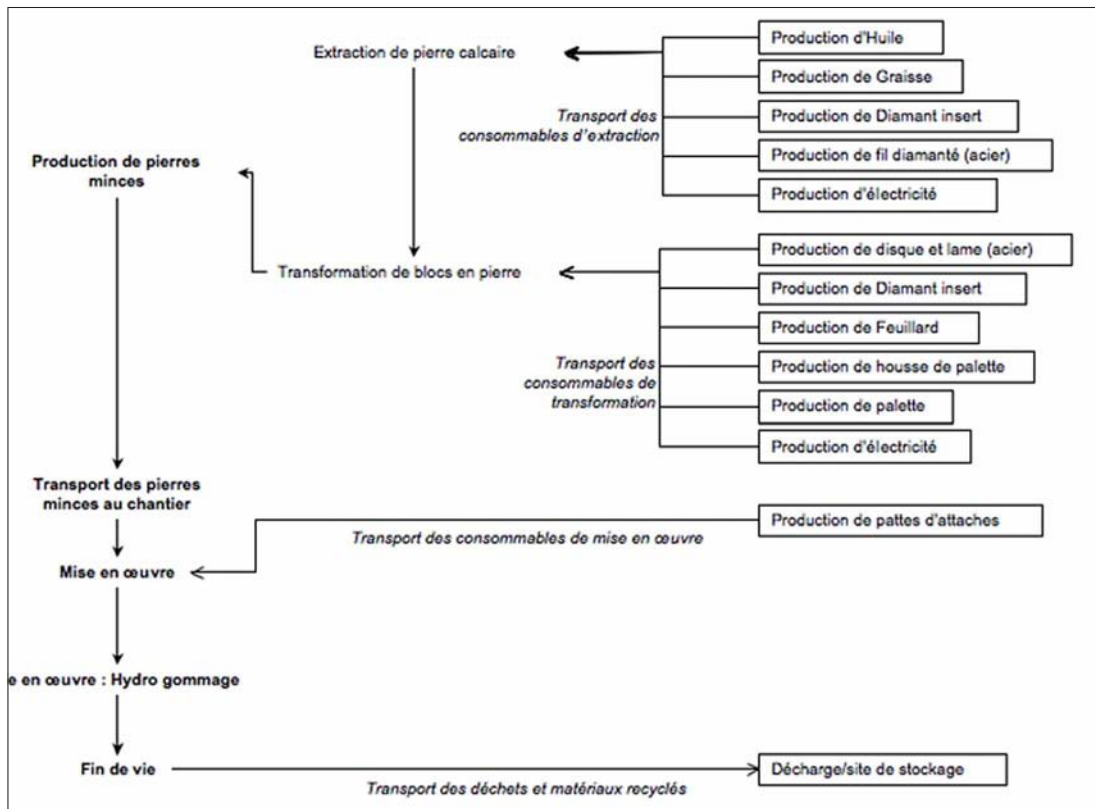


Fig. 7 : système environnemental retenu pour la pierre attachée

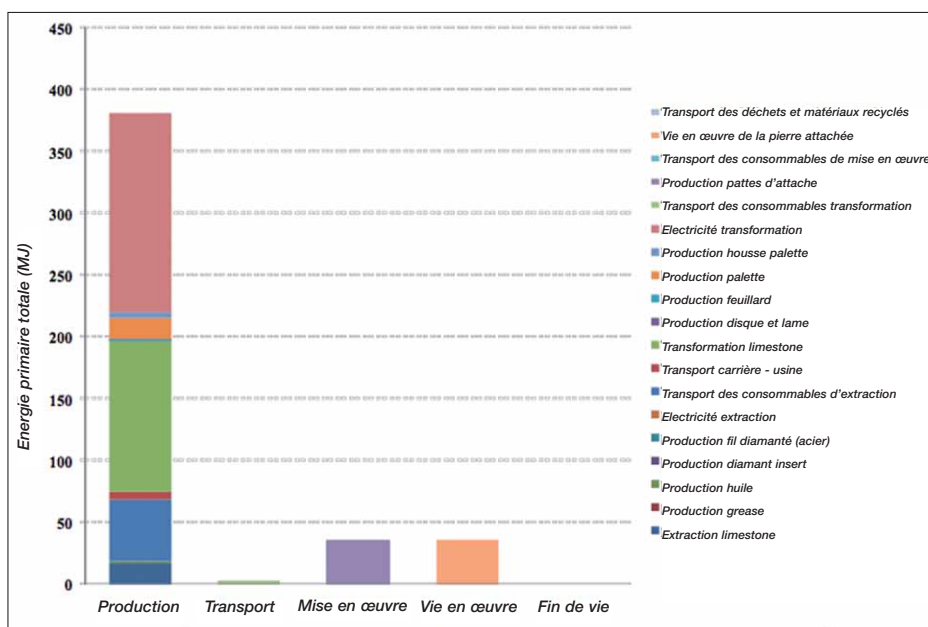


Fig. 8 : consommation énergétique (en MJ) pour toute la D.V.T.

Production de déchets

75 % de la production de déchets est due à la phase production dont 65 % à la production d'énergie de transformation de la pierre. 19 % à la phase mise en œuvre et 6 % à la vie en œuvre.

phase production dont 60 % à la production d'énergie de transformation des pavés.

Pavés de voirie

La figure page suivante en bas, présente le système environnemental pris en compte pour le pavé de voirie en granit breton et calcaire dur du sud.

Consommation d'eau

76 % d'eau consommée sont dûs à la phase production et 26 % à la phase mise en œuvre.

Emission de CO₂

81 % des émissions de CO₂ sont dûes à la phase production et 12 % à la phase de mise en œuvre.

Consommation d'énergie

93 % de l'énergie consommée sont dus à la

Production de déchets

Près de 100 % des déchets produits sont dûs

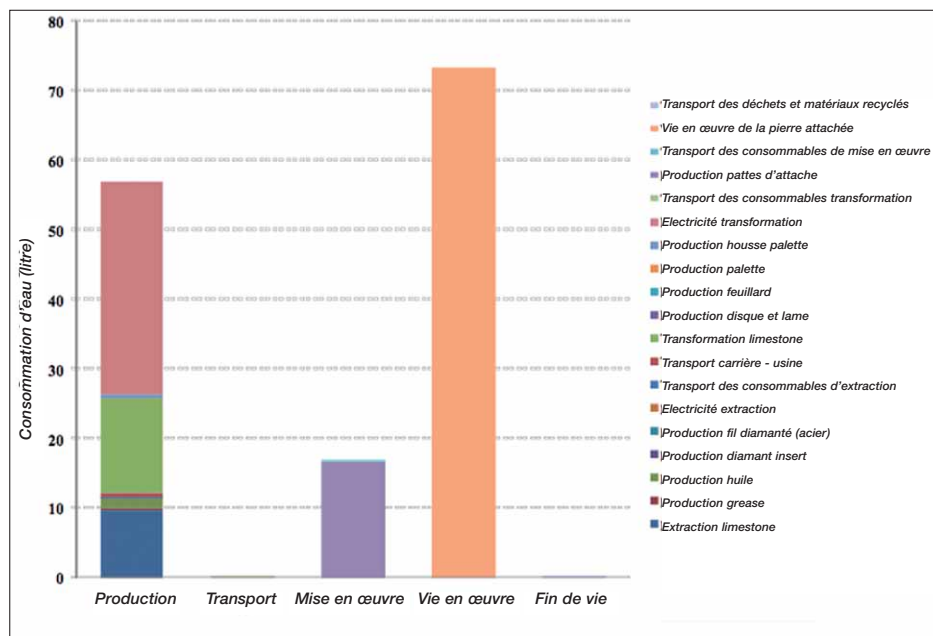


Fig. 9 : consommation d'eau (en litre) pour toute la D.V.T.

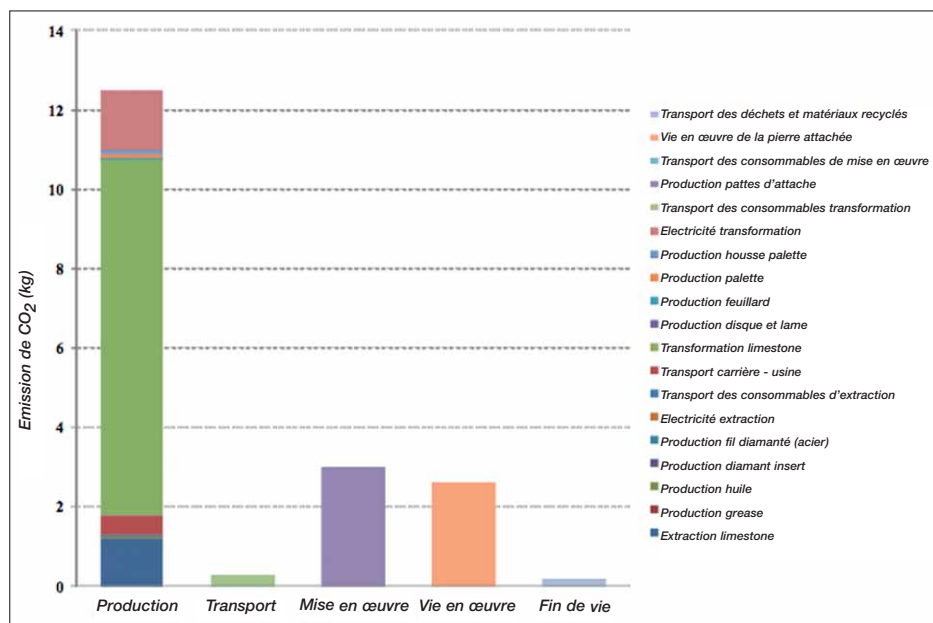


Fig. 10 : émission de CO₂ (en kg) pour toute la D.V.T.

à la phase de production (transformation de pavés).

Comparaison de produits : exemple pavé béton/pavé pierre

Les résultats d'analyse du pavé de voirie en pierre ont été comparés à ceux du béton. Les

hypothèses prises en compte pour les deux produits sont présentées dans le tableau ci-dessus.

Les résultats de comparaisons pour les quatre indicateurs étudiés sont présentés en figure 17, 18, 19 et 20. Il en ressort que le pavé de voirie présente des indicateurs d'impacts environne-

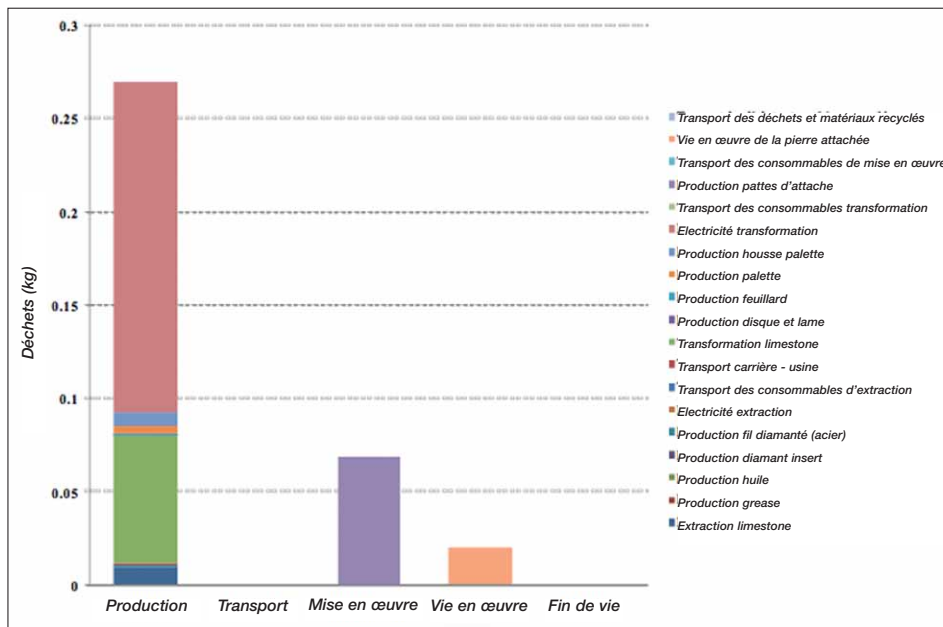


Fig. 11 : production de déchets (en kg) pour toute la D.V.T.

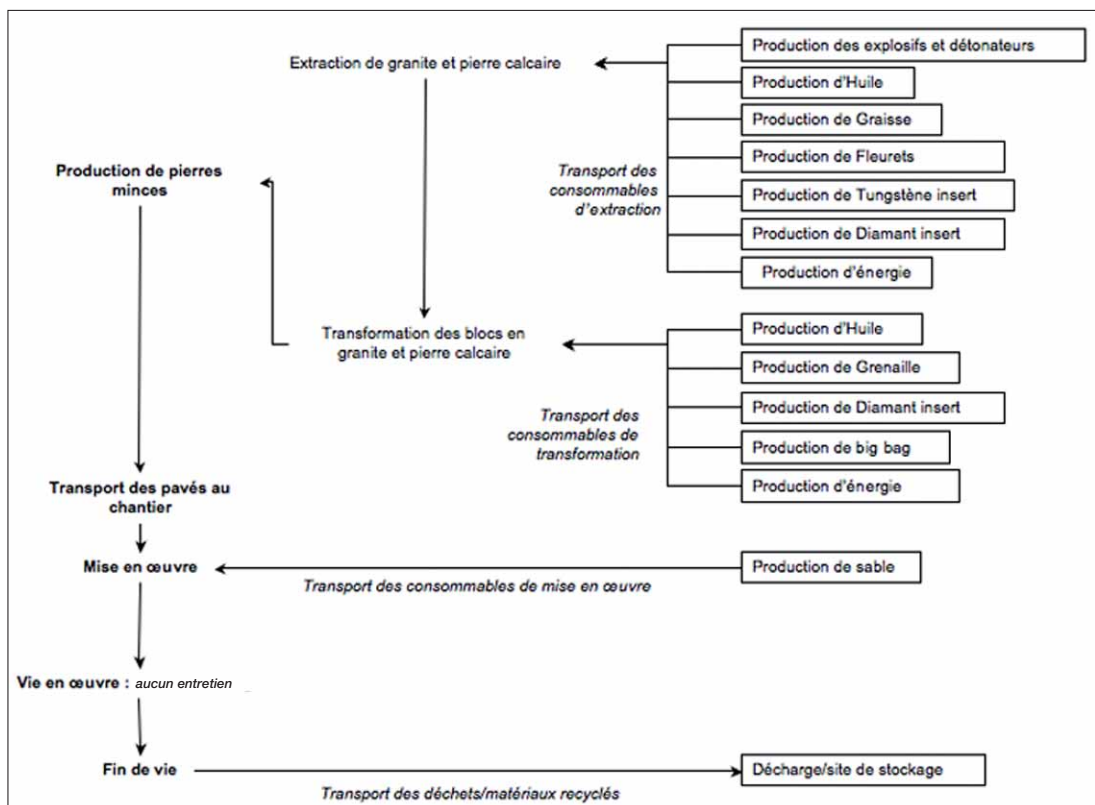


Fig. 12 : système environnemental retenu pour le pavé de voirie en pierre naturelle

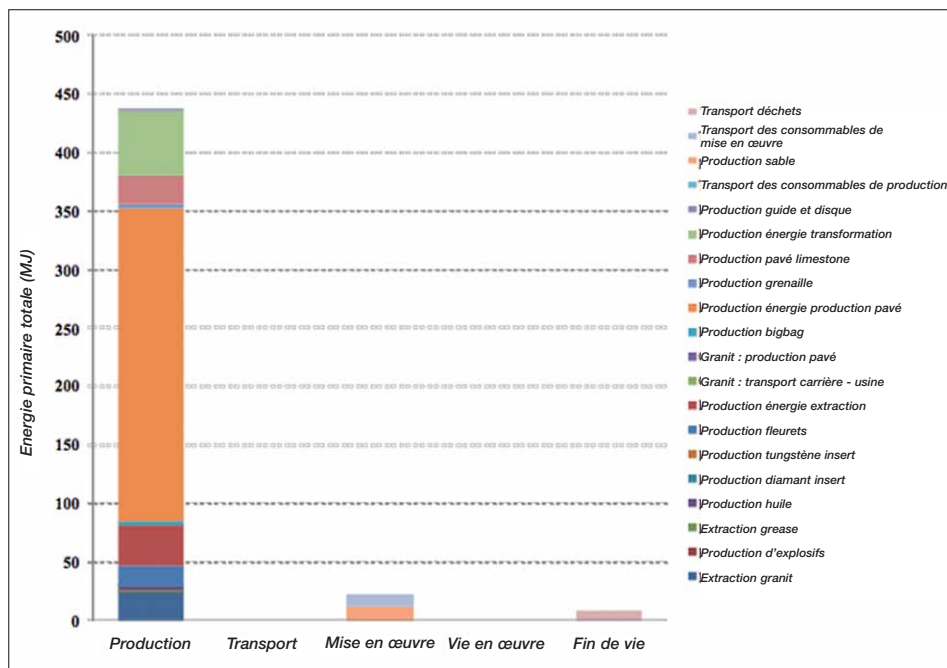


Fig. 13 : consommation énergétique (en MJ) pour toute la D.V.T.

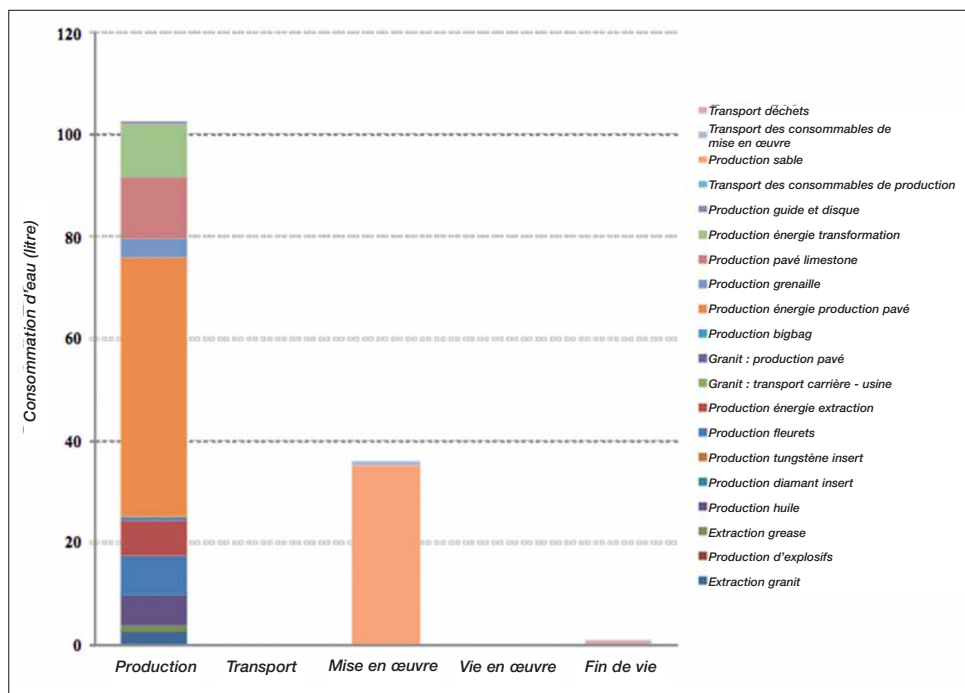


Fig. 14 : consommation d'eau (en litre) pour toute la D.V.T.

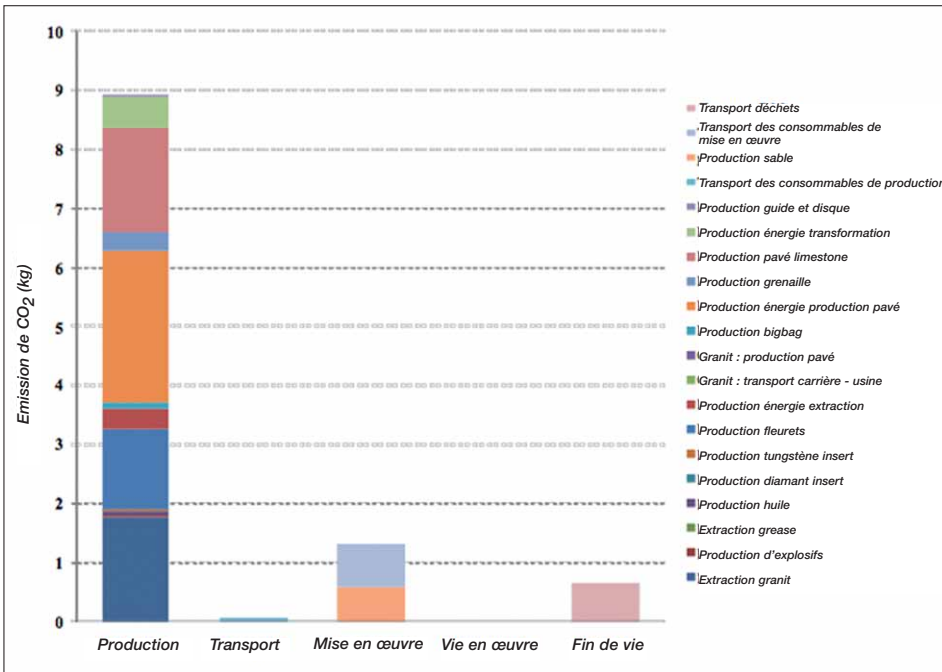


Fig. 15 :
émission de
CO₂ (en kg)
pour toute la
D.V.T.

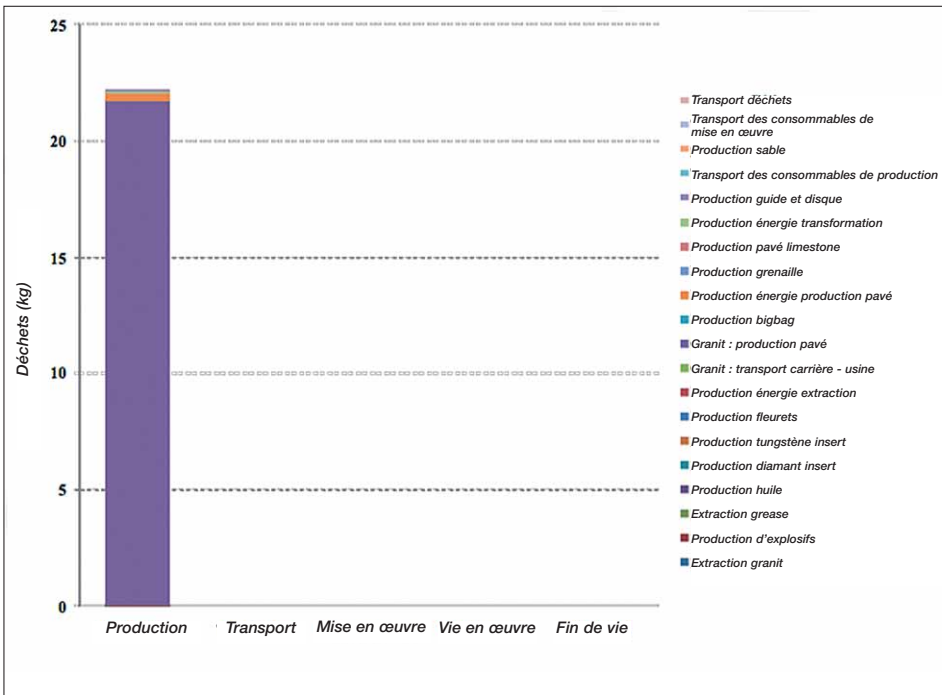


Fig. 16 : pro-
duction de
déchets (en
kg) pour toute
la D.V.T.

	Pavé de voirie 10 x 10 x (6 à 8) cm	Pavé de voirie rouge en béton bicouche 20 x 20 x 6 cm
Unité Fonctionnelle	Assurer le revêtement de 1 m ² pendant une annuité.	Assurer la fonction de 1 m ² de revêtement pendant une annuité.
Durée de Vie	200 ans	50 ans
Typique	100 km par route (40 %) 400 km par route (60 %)	176 km par route du ciment 70 km par route des granulats 150 km par route des pavés
Transport	Lit de pose en sable de 5 cm Joint de sable de 1,5 cm	Lit de pose en sable de 4 cm Joint de sable
Mise en œuvre	Aucun entretien	Regarnissage des joints tous les 5 ans Nettoyage voirie non pris en compte
Fréquence d'entretien	Réutilisation à 90 % du revêtement et du lit de pose	Totalité des déchets stockés en décharge de classe 3

Tableau 2 : unités fonctionnelles prises en compte pour les deux produits de pavage

mentaux à l'avantage de la pierre et ce pour l'ensemble des indicateurs étudiés.

Influence du mode de transport : exemple du pavé en granit

Quatre différents modes de transport ont été évalués : routier, fluvial, maritime et ferroviaire. Les résultats obtenus sont illustrés, dans le tableau page suivante, à partir d'études de cas de distribution (tableau 3).

- Dans le premier cas, seul le transport routier est pris en compte.
- Dans le deuxième cas, le granit est acheminé depuis les carrières vosgiennes jusqu'au port

de Colmar (100 km) par camion, et par péniche de Colmar à Paris (600 km).

- Dans le troisième cas, les pavés sont transportés depuis les carrières du Sidobre jusqu'à la gare de Toulouse par route, puis jusqu'au chantier par rail.
 - Dans le dernier cas, on considère que les pavés sont transportés par route depuis la carrière du Fujian (Chine) jusqu'au port (Xiamen par exemple : 100 km routiers), puis par bateau (Xiamen - Anvers : 9 000 km), et enfin par route (Anvers - Paris : 400 km routiers)
- Selon le mode de transport, la consommation énergétique de transport d'une tonne de granit,

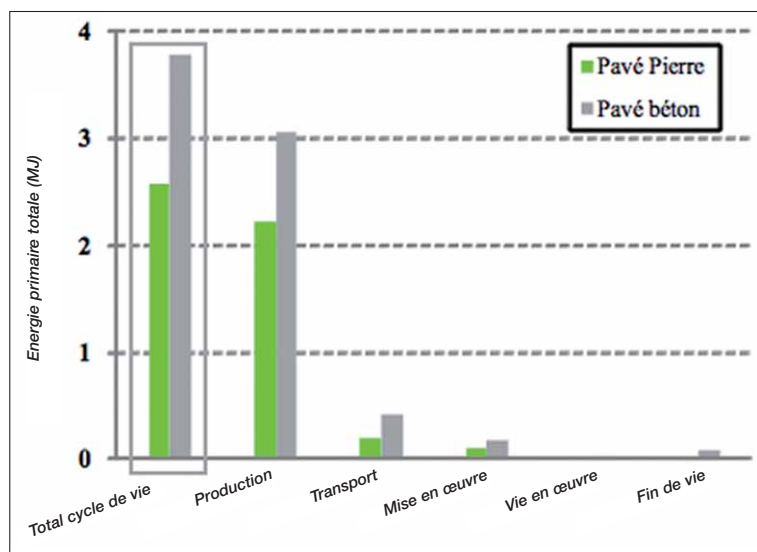


Fig. 17 : consommation énergétique (en MJ) pendant une annuité

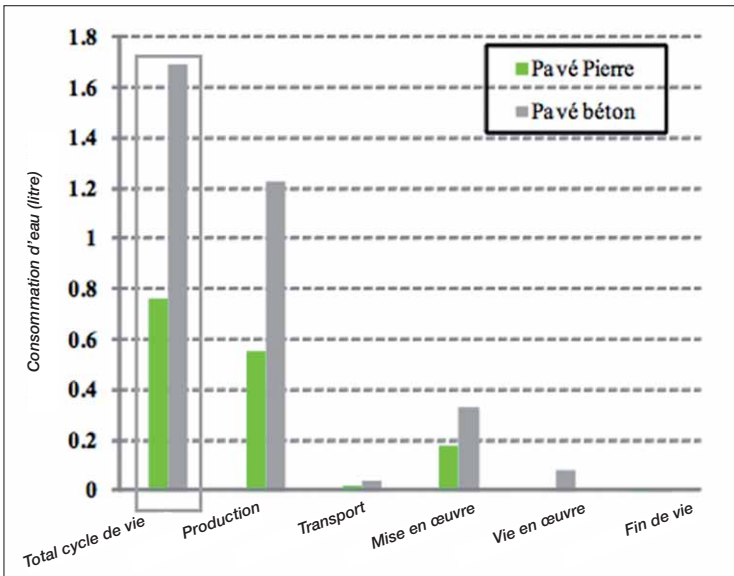


Fig. 18 : consommation d'eau (en litre) pendant une annuité

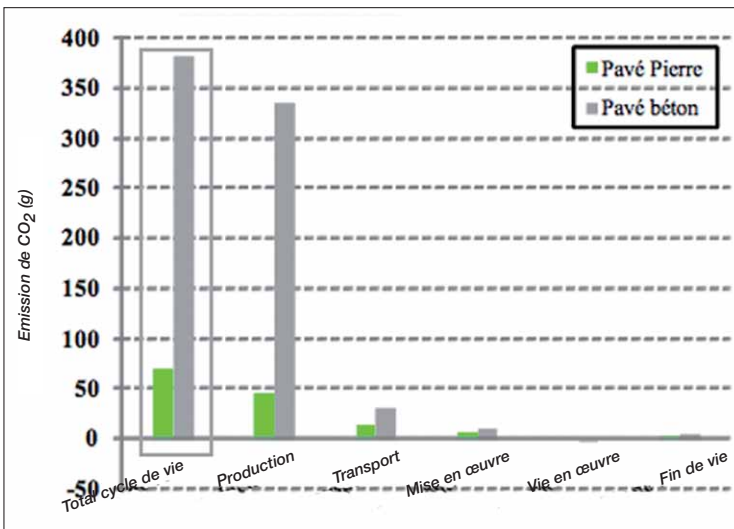


Fig. 19 : émission de CO₂ (en g) pendant une annuité

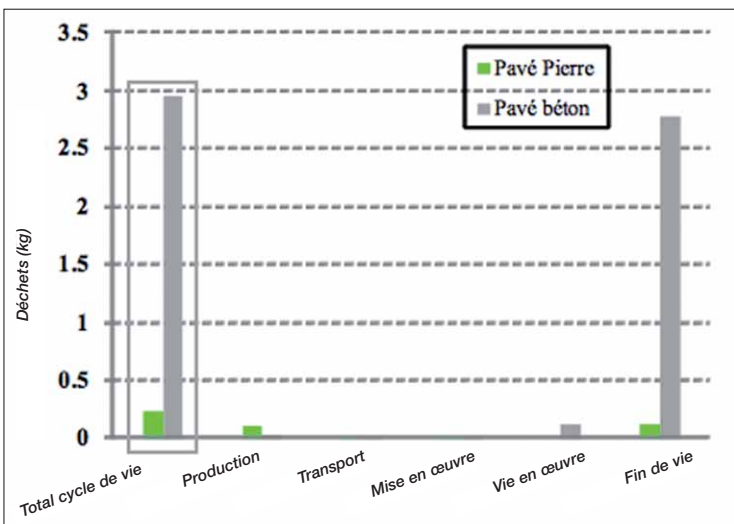


Fig. 20 : production de déchets (en kg) pendant une annuité

Cas	Départ	Destination	Mode de transport	km parcourus
1	Carrières de Bretagne	Paris	Routier	400 km
2	Carrières des Vosges	Paris	Routier / Fluvial	100 km / 600 km
3	Carrières du Sidobre	Paris	Routier / Ferroviaire	100 km / 700 km
4	Carrières du Fujian (Chine)	Paris	Routier / Maritime	500 km / 9 000 km

Tableau 3 : évaluation des différents modes de transport

ramenée au kilomètre parcouru est comme suit :

- routier : 1,722 MJ/km
- fluvial : 0,846 MJ/km
- maritime : 0,175 MJ/km
- ferroviaire : 0,414 MJ/km

Pour les quatre cas pris en compte, la consommation énergétique est présentée en figure 21.

Pour les émissions de CO₂, cela représente au kilomètre parcouru :

- routier : 128,476 g CO₂/km
- fluvial : 64,444 g CO₂/km
- maritime : 12,765 g CO₂/km

ferroviaire : 4,000 g CO₂/km

Et pour les quatre cas de figure, le résultat est illustré en figure 22.

Concernant les émissions de Gaz à Effet de Serre, cela représente au kilomètre parcouru :

- Routier : 365,466 g éq. CO₂/km
- Fluvial : 139,062 g éq. CO₂/km
- Maritime : 37,411 g éq. CO₂/km
- Ferroviaire : 4,169 g éq. CO₂/km

Pour les quatre cas étudiés, le résultat est illustré en figure 23.

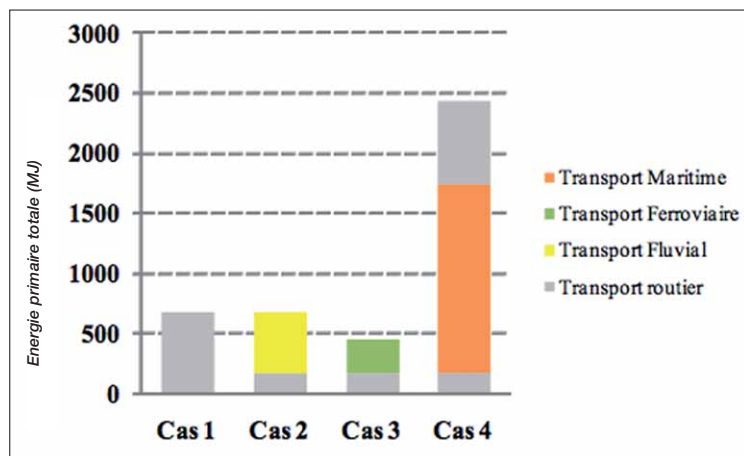


Fig. 21 : énergie de transport d'une tonne de pavés en granit (MJ)

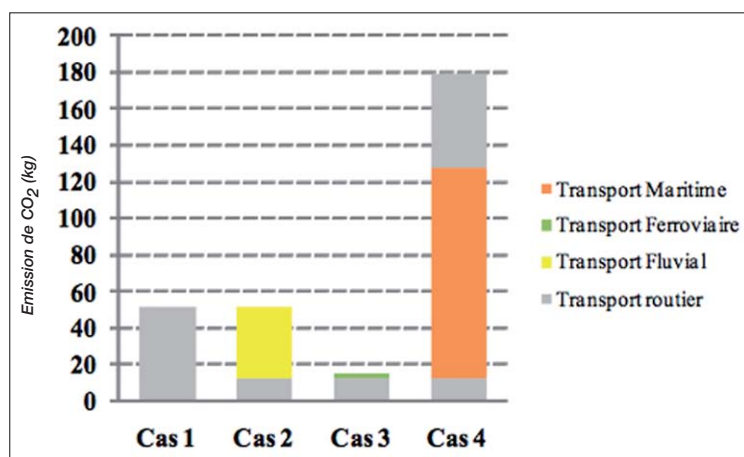


Fig. 22 : émissions de CO₂ de transport d'une tonne de pavés en granit (kg)

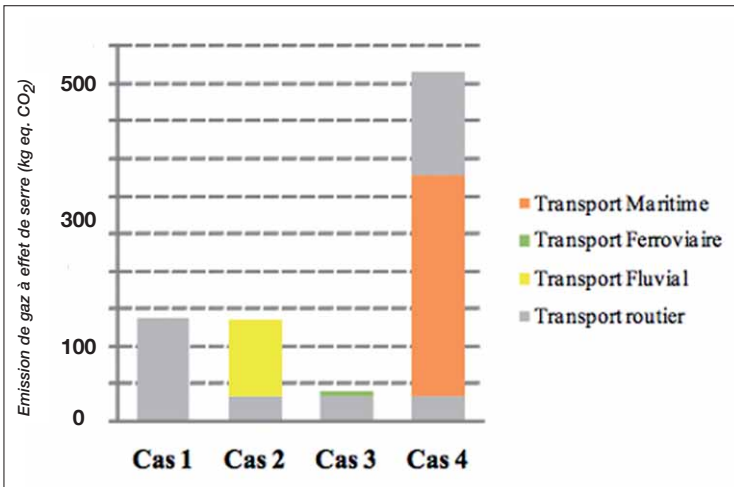


Fig. 23 : émissions de gaz à effet de serre de transport d'une tonne de pavés en granit (kg eq. CO₂)

Conclusion

Cet article a permis d'examiner et de quantifier l'impact environnemental que pouvait générer la production et l'emploi de produits en pierre naturelle. Pour ce faire, des hypothèses objectives concernant toutes les étapes de cycle de vie des produits ont été prises en compte afin d'obtenir des données représentatives des pierres produites en France.

Il en ressort que 70 à 90 % de l'énergie, de l'eau consommée, des émissions de CO₂, et de la production de déchets sont dues à la phase de production des produits en pierre. Comparés à des produits d'autres matériaux rendant le même usage, comme dans le cas du pavé par exemple, le bilan environnemental est

tout à l'avantage de la pierre naturelle.

Concernant l'influence du mode de transport, il en ressort que le mode routier est le plus défavorable. Les modes ferroviaire ou maritime sont les plus favorables ramenés aux kilomètres parcourus. Toutefois, quand il s'agit de trajets importants couplant plusieurs modes de transport, comme c'est le cas des produits importés de Chine, le bilan est nettement défavorable.

La pierre naturelle matériau écologique (n.d.l.r.)

Cela va sans le dire, mais cela va encore mieux en le disant et en le démontrant chiffres à l'appui. D'autant plus que les analyses réalisées



C'est la phase de transformation de la pierre qui est la plus énergivore et qui produit le plus de déchets. Au niveau du transport, c'est la route qui est la moins favorable en terme environnemental. En terme d'émissions polluantes, 9 000 km de bateau sont à peu près équivalents à 900 km de route.

par le C.T.M.N.C. prennent vraiment tous les éléments en compte, ce dont on peut plus que douter pour certains autres produits, qui ne tiennent pas toujours compte des consommations nécessaires à la production de la matière première. C'est par exemple ce que reproche le W.W.F. à certains produits en béton.

Les roches ornementales ont donc aujourd'hui toute leur place dans le cadre d'une construc-

tion qui souhaite respecter l'environnement et s'inscrire dans une démarche de développement durable.

Les données sont aujourd'hui à la disposition des professionnels et des prescripteurs. A tous maintenant d'en faire bon usage. Le coût environnemental des produits est sans doute l'un des derniers atouts dont dispose la filière pierre naturelle pour convaincre les maîtres d'ou-

Pavé en pierre, pavé en béton : qui est le plus vert ?

Comparons les fiches de déclaration environnementale et sanitaire (base INIES) de pavés de voirie en pierre naturelle et de pavés de voirie en

béton, pour assurer le revêtement d'un mètre carré de voirie ou d'espace public (Unité Fonctionnelle).

	Pavé en pierre	Pavé en béton
	Valeur totale cycle de vie / U.F. par annuité	Valeur totale cycle de vie / U.F. par annuité
<i>Epuisement de ressources</i>	0,000492 kg Antimoine éq.	0,00124 kg Antimoine éq.
<i>Consommation de ressources énergétique - Energie primaire totale</i>	2,58 MJ	3,8 MJ
<i>Consommation de ressources énergétiques - Energie renouvelable</i>	0,0804 MJ	0,29 MJ
<i>Consommation de ressources énergétiques - Energie non renouvelable</i>	2,5 MJ	3,51 MJ
<i>Consommation d'eau</i>	0,703 L	1,69 L
<i>Déchets solides valorisés</i>	1,1 kg	1,89 kg
<i>Déchets dangereux éliminés</i>	0,000239 kg	0,000455 kg
<i>Déchets non dangereux éliminés</i>	0,00436 kg	0,00379 kg
<i>Déchets inertes éliminés</i>	0,228 kg	2,94 kg
<i>Déchets radioactifs éliminés</i>	0,0000277 kg	0,0000324 kg
<i>Changement climatique</i>	0,0748 kg éq. CO ₂	0,39 kg éq. CO ₂
<i>Acidification atmosphérique</i>	0,000555 kg éq SO ₂	0,0015 kg éq SO ₂
<i>Pollution de l'air</i>	39,5 m3	35,48 m3
<i>Pollution de l'eau</i>	0,0211 m3	0,17 m3
<i>Destruction de la couche d'ozone stratosphérique</i>	Néant	Néant
<i>Formation d'ozone photochimique</i>	0,0000774 kg éq. éthylène	0,000152 kg éq. éthylène