

RESSOURCE EN GRANULATS : UNE DÉMARCHE POUR LA PRISE EN COMPTE D'INDICATEURS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Thomas MARTAUD, Agnès JULLIEN, Dimitri DENELEE, Vincent LEDEE

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Chantal PROUST

Polytech' Orléans

Résumé : La ressource en granulats naturels, seconde matière première consommée en France avec près de 400 millions de tonnes nécessaires chaque année, est devenue indispensable à notre vie quotidienne notamment au travers de son utilisation dans le domaine du génie civil. La production d'une telle quantité de matériaux va implicitement générer différents impacts. Or, la prise de conscience de l'importance de la protection de l'environnement et des impacts potentiels associés à un produit, favorise aujourd'hui le développement de méthodes destinées à mieux comprendre, quantifier et réduire les impacts (environnementaux, économiques et sociaux) engendrés lors de leur production. Le LCPC développe dans ce contexte des méthodologies d'approche globale tant à l'échelle de projets routiers, qu'à l'échelle des ouvrages. La mise au point d'un outil d'évaluation relatif à la ressource, basé sur des indicateurs territoriaux de développement durable, représente donc un enjeu permettant de mesurer, informer et contrôler l'état d'avancement de la ressource en granulats vers une gestion durable. Ce papier présente la démarche adoptée dans cette optique et les premiers éléments retenus qui en découlent.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte général

L'activité de construction est immanquablement liée à la notion de développement d'un pays. Ce concept s'appuie sur un certain nombre d'activités anthropiques dont une partie dépend des diverses infrastructures construites. L'existence de lycées et d'autres établissements d'enseignement est significative d'une société qui entretient et fait progresser son savoir ; l'existence d'un hôpital ou d'autres infrastructures de soins montre une société préoccupée par la santé publique ; l'existence de routes ou de voies ferrées est indispensable aux échanges commerciaux de biens matériels, base de l'enrichissement des sociétés.

L'évolution historique des techniques de construction a vu l'utilisation de divers matériaux parmi lesquels on pourra citer le torchis, le bois, la pierre de taille, l'acier et le verre pour les bâtiments, la terre battue, les dalles ou les pavés pour les infrastructures de transport. Chacun de ces matériaux trouve toujours son utilité pour des besoins spécifiques. Mais les méthodes de construction qui répondent aujourd'hui le mieux aux attentes de nos sociétés sont celles qui passent par la mise en œuvre de granulats, qui répondent à la définition de « matériaux granulaires utilisés dans la construction » [AFNOR, 2004]. Ces matériaux sont issus d'une ressource pratiquement universelle, leur élaboration est relativement simple, leur transport facile, leur mise en œuvre rapide. Aujourd'hui, les mélanges granulaires, bétons, mortiers, graves traitées ou non traitées, enrobés, représentent aujourd'hui la solution la plus logique et la plus économique pour la construction des infrastructures. Les granulats sont les composants de base de ces mélanges, dont ils constituent 90 à 100 % de la masse : la construction d'un lycée nécessite près de 3000 t de granulats, celle d'un hôpital près de 5000 t, celle d'un kilomètre de route 12000 t et celle d'un kilomètre d'autoroute environ 30 000 t [Arquié *et al.*, 1990]. De ce fait, la France consomme annuellement une quantité de granulats estimée à environ 400 millions de tonnes, soit une moyenne de 7 tonnes par habitants et par an ou bien encore 20 kg quotidiennement [UNPG, 2006].

1.2. Contexte de l'étude

A l'heure où la préservation de l'environnement est devenue une exigence sociétale, l'exploitation des granulats naturels en carrières impose donc de s'assurer de la pérennité des approvisionnements, avec une volonté affichée de concilier les impératifs économiques et environnementaux dans une perspective de développement durable.

D'un point de vue réglementaire, les Schémas Départementaux de Carrières constituent un instrument d'aide à la décision pour les Préfets ; l'environnement y est cependant abordé d'un point de vue uniquement qualitatif.

Dans ce contexte, cet article vise à présenter une méthodologie susceptible de quantifier les pressions ou impacts potentiels de l'exploitation à l'échelle de sites de carrière. Dans un premier temps, le travail a été entrepris pour un type de site afin de mettre en place la méthode d'étude. Les résultats présentés ci-après concernent la sphère environnementale (consommations de ressources et d'énergies et rejets atmosphériques).

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Ressources exploitables à l'échelle du territoire national

Les roches susceptibles d'être transformées en granulats ordinaires sont donc par essence des cas géologiques particuliers. Or, d'une région à l'autre, leur nature ou leurs conditions de gisement peuvent être radicalement différentes. On distingue traditionnellement trois grandes catégories de granulats en fonction de leur origine géologique.

La première est celle des granulats alluvionnaires qui tapissent normalement le fond des vallées. Cette ressource présente un caractère meuble, et donc facile à extraire, en fait logiquement la ressource la plus couramment exploitée. A ce stade, il est utile de souligner que dans certaines régions de pays industrialisés, comme le grand bassin parisien en France, ces matériaux ont été exploités de longue date et les réserves tendent aujourd'hui à s'épuiser. La seconde famille est celle des roches massives siliceuses ou silicatées, regroupées en France sous le vocable restrictif d'« éruptives ». Si les conditions de gisement et d'exploitation de ces matériaux en font une ressource moins universelle que la première, les performances des granulats qui en sont issus sont excellentes et en font un matériau de premier choix. La troisième famille de granulats est issue des roches massives calcaires. Hormis leur composition minéralogique, qui leur confère quelques propriétés différentes des « éruptives » et peuvent notamment les exclure de certains usages, ces roches se distinguent des précédentes par leurs conditions de gisement.

Au delà de l'aspect géologique qui pilote la répartition géographique des gisements, la notion de ressource est aussi subordonnée à des aspects économiques. On considère en effet qu'en moyenne, le prix de la tonne de granulats rendue à sa destination finale double tous les 50 km [UNPG, 2006]. Valable pour un transport routier, cette estimation est moindre pour un transport ferroviaire, et plus faible encore pour un transport fluvial ; néanmoins ces deux derniers modes de transport ne deviennent réellement intéressants que lorsque le gisement d'une part, et une majorité des utilisateurs finaux d'autre part, se situent le long des infrastructures concernées.

2.2. Sélection d'indicateurs relatifs à l'exploitation en carrière

En face des besoins sociétaux évidents en matière de granulats et des impacts positifs associés à l'activité extractive qui en découle, différentes questions peuvent être soulevées. En matière d'environnement et selon le type d'exploitation, une carrière peut engendrer divers impacts liés aux consommations de matières premières, électricité, espace et rejets vers l'air, l'eau ainsi qu'à la production de déchets. Une carrière peut être également à l'origine d'une atteinte aux paysages et engendrer des modifications de la biodiversité du site au cours de l'exploitation et après son réaménagement. Enfin, on ne peut écarter les impacts potentiels locaux sur les personnes au travers de nuisances sonores, de vibrations, de poussières ou bien encore de nuisances visuelles. Une approche globale rigoureuse de l'exploitation de cette ressource est souhaitable afin d'assurer un équilibre entre nos besoins (à des conditions économiques acceptables) et la nécessité de protéger la richesse de notre environnement.

La mise au point d'un outil d'évaluation relatif à la ressource, basé sur des indicateurs territoriaux de développement durable, représente donc un enjeu permettant de mesurer, informer et contrôler les conditions d'exploitation de la ressource en granulats vers une gestion durable. Le tableau 1 propose un cadre de réflexion pour s'engager dans cette voie.

Tab.1 : Liste d'indicateurs potentiels relatifs à la ressource en granulats naturels

Sur-classe	Classe	Sous-classe
Environnement	<i>Epuisement des ressources naturelles et espace utilisé</i>	<i>produit fini</i>
		<i>roche extraite</i>
		<i>découverte</i>
		<i>surface utilisée</i>
	<i>Consommations énergétiques</i>	<i>électricité</i>
		<i>carburant</i>
	<i>Eau</i>	<i>Volume consommé</i>
		<i>Volume rejeté et qualité</i>
		<i>Quantité et devenir de boues produites</i>
	<i>Déchets</i>	<i>déchet mis en décharge</i>
		<i>déchets incinérés</i>
		<i>déchets recyclés</i>
	<i>Rejets atmosphériques</i>	<i>poussières</i>
		<i>engins sur site</i>
		<i>explosifs</i>
	<i>Biodiversité</i>	
Social	<i>Employés</i>	<i>Nombre emploi direct</i>
		<i>Nombre emploi indirect</i>
		<i>Nombre/fréquence accidents de travail</i>
		<i>gravité accidents de travail</i>
	<i>Riverains</i>	<i>Bruit</i>
		<i>Visuel</i>
		<i>Vibration</i>
	<i>Remise en état</i>	<i>zones protégées/classées</i>
		<i>zones aménagées</i>
Economie	<i>Internalisation des coûts environnementaux</i>	<i>investissements fonciers</i>
		<i>coûts énergétiques</i>
		<i>redevance eau</i>
		<i>traitements des déchets</i>
		<i>rejets atmosphériques</i>
	<i>Internalisation des coûts sociaux</i>	<i>salaires</i>
		<i>dépenses pour limiter les nuisances</i>
	<i>Investissement autres que fonciers</i>	<i>investissement engins</i>
		<i>installation de traitement</i>
		<i>entretien (engins + usine)</i>
	<i>Explosifs</i>	<i>selon type</i>
	<i>Remise en état</i>	<i>garanties financières</i>

2.3. Approche à l'échelle d'une exploitation

Une exploitation de carrière peut être considérée comme un système, délimité par ses frontières au sens de l'Analyse Cycle de Vie (ACV) [AFNOR, 2006]. Différents échanges de matière et d'énergie, entrants et sortants de ce système sont relatifs à l'élaboration des granulats (Fig.1). Ces flux sont classiquement répertoriés et classés selon cinq facteurs d'impact en l'occurrence les consommations de matières premières et d'énergies, les rejets atmosphériques et aqueux et les déchets solides et/ou liquides. La quantification d'un maximum de ces flux ramenés à une unité caractéristique de la production (la tonne de granulats commercialisables) est réalisée.

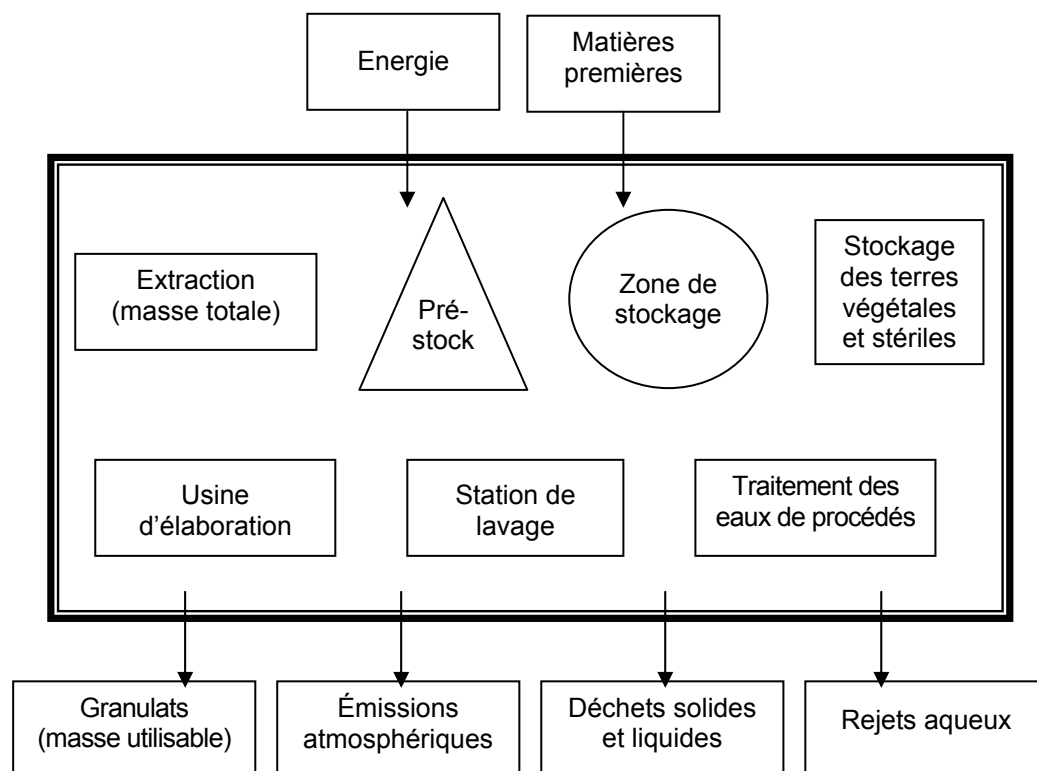


Fig. 1 : Système environnemental relatif à l'exploitation en carrière

2.3.1. Bilan matière et énergie :

L'évaluation environnementale, proposée ci-après, ne concerne que la masse de matériaux utilisables. La part non utilisable est représentée par le sous-système « Stockage des terres végétales et stériles » illustré dans la figure 1. Il sera pertinent d'être en mesure de déterminer la masse de ces matériaux vis-à-vis des masses extraites, informations non disponibles sur le site étudié.

Pour la plupart des exploitations de carrières, les consommations énergétiques sont de deux types.

(i) Les consommations de carburant sont engendrées par l'utilisation des différents engins de carrières. Leurs consommations respectives peuvent être obtenues directement auprès de l'exploitant (ou du sous-traitant) ou déterminées, lors de campagnes de mesures, par un relevé quotidien à la fois du nombre de litres consommés et du nombre d'heures de fonctionnement des engins. En ramenant ces consommations respectives aux productions journalières de l'exploitation, il est alors possible de déterminer les besoins en carburant pour élaborer une tonne de granulat.

(ii) Afin de déterminer les dépenses en énergie électrique, deux types de données apparaissent indispensables, en l'occurrence les consommations réelles des différents moteurs électriques et les flux (débits) de matériaux parcourant l'usine de traitement. Les premières peuvent être obtenues par mesures directes, au niveau de la centrale électrique, de l'intensité traversant chacun des moteurs du poste considéré. Les puissances consommées peuvent alors être déterminées grâce à la formule suivante :

$$\text{Puissance active } P \text{ (kW)} = T \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (1)$$

Les flux de matériaux peuvent être obtenus par le recoupement des vitesses (m.s^{-1}) des bandes transporteuses (calculées à l'aide d'un tachymètre), le poids de matériaux sur un mètre de bande transporteuse (prélèvements effectués selon AFNOR, [1996]) et les analyses granulométriques [AFNOR, 1997] menées sur chacun des prélèvements réalisés.

La méthode de calcul des consommations énergétiques par tonne de granulats produite a consisté à sommer les consommations journalières des différents postes considérés, à comptabiliser les temps de fonctionnement des moteurs puis à les ramener aux quantités qui sont passées dans ce poste.

2.3.2. Bilan des émissions atmosphériques :

L'essentiel des polluants émis vers l'air sur le site de la carrière provient des rejets dégagés lors d'explosions (dans le cas d'utilisation d'explosifs) et de l'utilisation des engins de chantiers.

(i) Les rejets lors de l'utilisation d'explosifs sont de quantité et de nature variables selon le type d'explosif utilisé. La quantité (Q_i) de gaz de détonation dégagée par tonnes de roches abattues peut être déterminée en appliquant de la formule suivante :

$$Q_i = \sum_i \frac{q_i \cdot M_i \cdot S}{V \cdot M_{V_r}} \quad (\text{g.t}^{-1}) \quad (2)$$

avec : q_i , nombre de moles du gaz i émises par kg de l'explosif x (mol.kg^{-1}) ; M_i , masse molaire du gaz i (g.mol^{-1}) ; S , quantité de l'explosif x utilisé (kg) ; V , volume théorique de roche abattue (m^3) et M_{V_r} , masse volumique de la roche (t.m^{-3})

Les types d'explosifs utilisés ainsi que les plans de tir peuvent être collectés auprès de l'exploitant. Les données concernant les volumes de gaz dégagés ainsi que leurs compositions idéales théoriques (car obtenues lors d'essais en laboratoire) sont obtenues auprès des fabricants d'explosifs.

(ii) Lorsqu'elle n'est pas mesurée, l'évaluation des rejets des moteurs d'engins de chantiers peut être basée sur la consommation en carburant des engins de carrière, sachant que ces paramètres sont reliés selon le type de carburant consommé, le type et la puissance des engins, l'âge du moteur... Les émissions (HC, CO, COV, Nox et PM) des engins de carrière sont basées sur différents facteurs d'émissions (g.kWh^{-1}) des véhicules de travaux publics. Ainsi, les facteurs pris en compte dans les calculs sont les valeurs limites d'émissions proposées par la réglementation européenne et pour les moteurs fabriqués avant 1999, les valeurs limites d'émissions proposées par l'U.S. Environmental Protection Agency [EPA, 2004]. Toutefois, ces valeurs correspondent aux émissions des véhicules neufs. Or, il convient de considérer le fait qu'elles vont augmenter avec l'âge des engins.

C'est la raison pour laquelle, un facteur de détérioration des moteurs [EPA, 2004], basé sur le pourcentage de vie utilisée des engins (durée de vie estimée à 10 ans ou 8000 h d'utilisation selon EPA [1997]) a été appliqué aux résultats.

Les émissions de chaque polluant considéré (E_i) peuvent être déterminées par l'expression suivante :

$$E_i = \frac{F_i \cdot P \cdot [1 + (DF \cdot \%_{vie})]}{Q} \quad (\text{g.t}^{-1}) \quad (3)$$

Avec : F_i , facteur d'émission qui est fonction de l'année de fabrication du moteur et de sa puissance (g.kWh^{-1}) ; P , puissance de l'engin (kWh) ; DF , facteur de détérioration pour 100 % de vie utilisée et Q , production de granulat horaire (t.)

Les émissions de SO_2 et de CO_2 peuvent, quand à elles, être appréciées directement à partir de la consommation en carburant. Beardsley M. et Lindhjem C. [1998] proposent la méthode de calcul suivante :

$$\text{SO}_2 = \frac{(C \cdot a \cdot b \cdot c - \text{HC}) \cdot P}{Q} \quad (\text{g.t}^{-1}) \quad (4)$$

avec : C , consommation en carburant (g.kWh^{-1}) ; a , ajustement correspondant à la partie du soufre qui va être émis sous forme de particules = 1-0,022 ; HC , facteur d'émission d'hydrocarbures (g.kWh^{-1}) ; b , valeur par

défaut du soufre dans le diesel = 0,0033 ; c, nombre de grammes de SO₂ formé à partir d'un gramme de soufre = 2 ; P, puissance de l'engin (kWh) et Q : production de granulat horaire (t)

Connaissant la consommation de l'engin, Beardsley M. et Lindhjem C. [1998] émettent, afin de calculer les émissions de CO₂, l'hypothèse que tout le carbone contenu dans le fuel consommé va être émis sous forme de CO₂.

$$CO_2 = \frac{0,87 \cdot \frac{44}{12} \cdot C \cdot (0,85 \cdot 1000)}{Q} \quad (g.t^{-1}) \quad (5)$$

avec : 0,87, teneur massique en carbone dans le gasoil ; C, consommation en carburant (l.h⁻¹) ; 44, correspond à la masse moléculaire du CO₂ ; 12, la masse atomique du C ; 0,85, la densité du FOD en kg.l⁻¹ et Q (t.) la production horaire de granulat

Cependant, une combustion n'étant jamais efficace à 100 %, les valeurs ainsi obtenues pour ce polluant doivent être soustraites des résultats de CO, COV et HC (cf(3)).

2.4. Résultats et discussion pour un exemple d'une carrière de roches massives

2.4.1. Présentation du site d'étude

Le site considéré lors de cette étude, localisé en Bretagne (Côte d'Armor), est composé d'un ensemble de formations plus ou moins métamorphisées du domaine Nord-Armoricain, domaine extrêmement complexe composé d'unités d'âge compris entre 2 milliards d'années (Ga) et 540 millions d'années (Ma). La carrière exploite des roches relativement homogènes : les amphibolites du Membre du Roselier [Égal et al., 1996].

Avec une production de 180 000 tonnes en 2003, l'exploitation se situe dans la moyenne inférieure des zones d'exploitation bretonnes qui ont une production moyenne annuelle de l'ordre de 220 000 à 250 000 tonnes. Les caractéristiques géotechniques (tab.2) de la roche exploitée autorisent les différents usages possibles pour un granulat : couche de roulement de chaussée, ouvrage d'art...

Tab. 2 : Caractéristiques géotechniques des granulats produits

CPA	Los Angeles	Micro Deval	Masse volumique (t.m ⁻³)
0,54	14 à 16	14 à 22	2,84

2.4.2. Consommations énergétiques

Les résultats obtenus en terme de consommation de carburant (Tab.3) montrent que le transport depuis le front de taille jusqu'à l'usine d'élaboration est majoritairement responsable des besoins en carburant. En effet, 169,18 g.t⁻¹ sont nécessaires, ce poste représentant environ 50 % des consommations totales, soit 335,22 g.t⁻¹ ou 3,91 kWh.t⁻¹.

Tab. 3 : Besoins énergétiques de carburant

Lieu	Butte extraction	Chargement client	Déstockage	Foration
Consommation (g.t ⁻¹)	169,18	85,06	33,95	47,03
Consommation (kWh.t ⁻¹)	1,97	0,99	0,40	0,55

Les consommations électriques (Tab.4) montrent que plus le matériau est élaboré et plus sa demande électrique sera grande. Cette dernière varie de 0,83 kWh.t⁻¹ pour un produit primaire à 3,68 kWh.t⁻¹ pour les matériaux tertiaires les plus élaborés : soit un facteur 4. L'essentiel voire la quasi totalité de la production (du site considéré) étant destinée à être acheminée vers une centrale d'enrobage, les proportions de matériaux primaire et secondaire peuvent être considérées comme négligeables.

Tab. 4 : Besoins énergétiques électriques

Matériaux	Fractions granulométriques	Énergie (kWh.t ⁻¹)
Primaire	0/31,5 P	0,83
Secondaire	< 6,3 S	2,22
Tertiaire	10/14 T	3
	6,3/10 T	3,68
	4/6,3 T	3,68
	0/4 T	3,68

Les consommations énergétiques globales, estimées selon la présente méthodologie, montrent un besoin identique en électricité (3 à 3,68 kWh.t⁻¹) et en carburant (3,91 kWh.t⁻¹) (Fig.2). Rappelons que les quantités de carburant nécessaires dépendent considérablement des différents engins utilisés (nombre, puissance, âge, ...) et peuvent ainsi varier d'un poste à l'autre. Au regard d'autres d'activités ces consommations restent faibles ; à titre d'exemple, les consommations énergétiques nécessaires à l'élaboration d'une tonne de ciment sont de l'ordre de 1 500 kWh soit plus de deux ordres de grandeur supérieures aux résultats obtenus pour les granulats [ABDO et al., 2005].

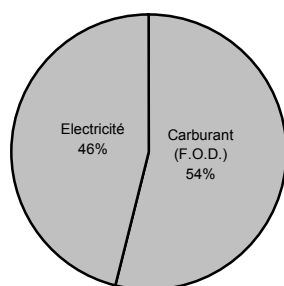


Fig. 2 : Répartition des demandes énergétiques

2.4.3. Émissions atmosphériques :

Les résultats obtenus (Tab.5 et Fig.3) montrent que la majorité des rejets dégagés lors des tirs d'explosifs se trouvent sous forme d'eau (47,5 %), de N₂ (30,9 %), de CO₂ (13,5 %), d'oxydes d'aluminium (6,6 %) puis de CO (1,1 %). Les autres gaz émis (NO, O₂, NH₃, H₂) représentent moins de 0,5 % des émissions totales¹. Il ressort des résultats présentés (Fig.3) que les rejets engendrés lors des tirs d'abattage, n'auront que peu d'effets néfastes sur le milieu de part leurs quantités mais aussi de part leurs natures. En effet, près de 80 % de ces émissions ne vont pas avoir d'impacts négatifs sur l'environnement (47,5 % d'eau et 30,9 % d'azote).

Tab. 5 : Rejets atmosphériques (en g.t⁻¹) dus à l'utilisation d'explosifs

H ₂ O	N ₂	CO ₂	"AlO"	CO	NO	NH ₃	H ₂	O ₂
44,78	29,13	12,77	6,19	1	0,12	0,11	0,1	0,05

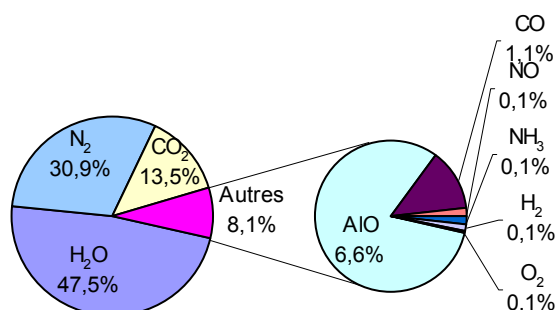


Fig. 3 : Répartition des principaux rejets atmosphériques dus à l'utilisation d'explosifs

¹ Notons toutefois, qu'à défaut de données sur les dynamites pour cette présente étude, ces résultats ne considèrent que 80 % des explosifs utilisés.

Concernant les rejets liés à l'utilisation de différents engins, il apparaît clairement qu'ils se trouvent très majoritairement sous forme de CO_2 (Tab.6 et Fig.4), ce gaz représentant plus de 90 % des émissions totales. Viennent ensuite et par ordre d'importance, les oxydes d'azote (4.8 %), le monoxyde de carbone (1.6 %), les composés organiques volatils, les hydrocarbures, les particules solides puis le SO_2 .

Tab. 6 : Rejets atmosphériques (en g.t^{-1}) dus aux engins de chantiers

CO_2	NO_x	CO	COV	HC	PM	SO_2
1032,29	53,58	18,48	7,8	4,01	2,69	2,14

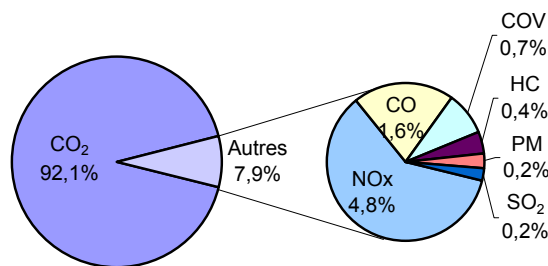


Fig. 4 : Répartition des principaux rejets atmosphériques dus à l'utilisation des engins de chantiers

3. CONCLUSIONS

La présente étude, entreprise dans le cadre d'un doctorat, nous permet de présenter des données liées aux besoins énergétiques ainsi que les émissions atmosphériques associés à l'extraction et l'élaboration de granulats pour une carrière de roches massives. La démarche méthodologique proposée sera complétée par d'autres indicateurs environnementaux et intégrera les approches économiques et sociales. Elle sera alors appliquée à d'autres exploitations de carrières, de manière à intégrer les aspects production, nature de la roche et développements technologiques et industriels. Cette approche vise à proposer des indicateurs de développement durable qui seront ensuite regroupés dans un outil. Cet outil pourrait trouver une utilisation potentielle auprès des maîtres d'ouvrages ou maîtres d'œuvre, pour la sélection d'exploitation lors de la réalisation d'ouvrages de génie civil voire des exploitants désireux d'inscrire leur activité selon une démarche de développement durable.

4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDO J., AGNESINA F., BERNARD-GELY A., CASABIEL L., DERACHE C., DUMUR P., GEGOUT P., GRAND É., LAPORTE F., PIGEAT M., POTIER J-M., REDON J-C. (2005) – Analyse du cycle de vie de structures routières. *Collection Technique CIMBÉTON*, Référence T 89, 54 pp. + Annexes.
- AFNOR (1996) - Norme NF EN 932-1 : Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 1 : méthodes d'échantillonnage.
- AFNOR (1997) - Norme NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage.
- AFNOR (2004) - Norme XP P 18-545 : Granulats – Éléments de définition, conformité et codification.
- AFNOR (2006) - Norme NF EN ISO 14040: Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadres.
- ARQUIE G., CAMUS A., CHARREAU M., DUBUS J.L., DUPONT P., PIKETTY C. (1990) - Le marché des granulats en France. *Granulats*, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 5-35 pp.

- BEARDSLEY M. et LINDHJEM (1998) – Exhaust Emission Factors for Nonroad Engine Modeling - Compression-Ignition - *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, 11 pp. + annexes.
- ÉGAL E., GUENNOG P., LE GOFF É., THIÉBLEMONT D., HOULGATTE É., AUGRIS C., HAMON D., LEBRET P., HALLÉGOUËT B. (1996) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Pontrieux – Étables-sur-mer (204). Orléans : BRGM.
- EPA (1997) – Emission Standards Reference Guide for Heavy-Duty and Nonroad Engines. *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, Référence N° EPA420-F-97-014, 16 pp.
- EPA (2004) - Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling – Compression - Ignition. *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, Rapport N°NR009c, 24 pp. et annexes.
- UNPG (2006) - Les Granulats – Géologie, Industrie, Environnement, 31 pp.