

# Tir : approche environnementale en carrières et chantiers de TP

Le Synduex est à l'origine d'une étude sur l'impact environnemental des explosifs industriels en carrières et en chantiers de travaux publics. Issue des réflexions du Grenelle de l'environnement, cette analyse donne une idée de l'efficacité énergétique du poste foration minage grâce à la réalisation d'un outil d'éco-comparaison (Ecofro) des différentes méthodes de fragmentation utilisées par la profession.

Une définition commune du forage/minage est la réunion d'une foreuse, d'explosifs et... de nuisances ! C'est victime de cette réputation que le minage a parfois été considéré comme l'ultime méthode de fragmentation, lorsque la roche rend inefficace BRH, ripper, raboreuse et autres engins mécaniques. Le métier a pourtant beaucoup évolué ces dernières décennies. L'art du minage respecte aujourd'hui une technique rigoureuse grâce notamment aux nouveaux produits explosifs (émulsions vrac issues d'unité mobile de fabrication), aux nouvelles méthodes d'amorçage (détonateurs électroniques) et aux nouveaux outils de mesure (relevé laser des fronts, sonde de mesure de déviation, positionnement GPS des implantations). Cette technique apporte la maîtrise des nuisances potentiellement générées par l'utilisation des explosifs et contribue à faire du forage/minage une méthode plus généralement sélectionnée dès l'étude initiale d'un projet de BTP.

Mais cette technique maintenant acquise permet-elle de hisser le forage/minage en tête des méthodes de fragmentation des roches ? Étonnamment, c'est peut-être par la prise en compte des nouvelles contraintes environnementales que le forage/minage pourrait bien tirer son épingle du jeu.

## La démarche environnementale du Synduex

Face aux nouvelles problématiques environnementales (réchauffement climatique, eutrophisation, pollutions des sols), le Synduex a entrepris début 2008 d'analyser



Destruction d'un blockhaus à l'explosif

l'impact environnemental des explosifs industriels en carrières et chantiers de travaux publics. Conscient des avantages de cette méthode de fragmentation puissante, efficace et peu onéreuse, le syndicat de spécialité a souhaité faire un bilan des pollutions chimiques connues issues des explosifs, définir leur bilan carbone et leur efficacité énergétique.

Cette démarche s'est concrétisée par la réalisation de l'étude appelée Impact environnemental des explosifs industriels en carrières et chantiers de TP - Bilans carbone et énergétique, menée par un élève ingénieur de l'école des Mines d'Alès. Conforté par la présentation de ce travail lors du congrès européen des explosifs de l'EFEE à Budapest en 2009, le Synduex a décidé en 2010 de poursuivre sa démarche dans le domaine des gaz à effet de serre et de l'efficacité énergétique du forage/minage par la réalisation d'un outil pratique d'éco-comparaison des méthodes de fragmentation de roches : Ecofro.

À terme, l'objectif du Synduex est de disposer d'un outil permettant la comparaison environnementale globale

## Le Synduex

Le Syndicat national des entrepreneurs de travaux publics spécialisés dans l'utilisation de l'explosif (Synduex) est le syndicat de spécialité de la FNTP en charge de l'activité de forage/minage. Depuis sa création en 1990, il défend la profession auprès des organismes publics et privés, assure sa promotion auprès du public ; il prépare et accompagne le métier pour les évolutions réglementaires, sécuritaires et environnementales.

des différentes méthodes de fragmentation de roches en carrières et chantiers de TP. Cet outil abordera les problématiques des gaz à effet de serre, des poussières, des vibrations, du bruit.

Cet article présente les conclusions de la première étude menée par le Synduex ainsi que le fonctionnement et les objectifs de son nouvel éco-comparateur Ecofro. Il décrit enfin les futures voies d'amélioration de son activité que pourrait amener l'augmentation de l'énergie explosive en carrières et chantiers de TP sur les bilans carbone et énergétique des postes en aval de l'abattage.

## Rappels : les enjeux environnementaux

La sensibilisation grandissante aux enjeux environnementaux, l'avènement de nouvelles réglementations visant à limiter et réduire l'effet des industries sur notre environnement ont abouti à l'intégration d'un nouveau critère dans le choix des méthodes et outils en entreprises : l'impact environnemental.

Depuis longtemps, le secteur du BTP se préoccupe de son impact sur l'environnement, des nuisances et atteintes qu'il peut générer sur l'environnement. Ainsi, nombre de chantiers sont à présent labellisés HQE (haute qualité environnementale), voire THQE (très haute qualité environnementale) ou encore chantiers verts. Pour les carrières, la réglementation vise à réduire au maximum leur impact sur l'environnement, et les cimenteries sont particulièrement concernées par les nouvelles restrictions en termes de gaz à effet de serre. Pour rappel, parmi les pollutions majeures générées par les industries, la fabrication et l'utilisation d'explosifs peuvent avoir un impact vis-à-vis de :

- l'effet de serre ou du réchauffement climatique qui trouve son origine dans la production de certains gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ...);
- l'eutrophisation qui correspond à un rejet excessif en phosphate ou en nitrate, principalement dans l'eau et aboutit à une diminution sensible de la biodiversité;
- l'acidification des eaux due à l'émission d'oxyde de soufre et d'oxydes d'azote qui dégrade la flore et donc l'ensemble d'un écosystème.

Mais ces problématiques environnementales ont énormément évolué ces dernières années, notamment par la mise en place d'une politique chiffrée de limitation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) au travers d'un plan national d'attribution de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (PNAQ). Sans effacer les obligations relatives à l'émission de polluants, cette politique astreint les entreprises les plus polluantes à n'émettre qu'une quantité limitée de gaz à effet de serre. Le nombre d'entreprises concernées sera augmenté à chaque nouveau plan d'acquisition de quotas dont le dépassement aboutira à des sanctions financières ou à l'achat de quotas supplémentaires via la Bourse du  $\text{CO}_2$ , BlueNext.

Plus généralement, l'Union européenne a ratifié en décembre 2008 le pacte Climat-Energie, ou objectif des 3x20, qui vise à :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à leur niveau de 1990 à l'horizon 2020;
- réduire la consommation énergétique de 20 % (ce qui revient à améliorer l'efficacité énergétique);

- augmenter la part des énergies renouvelables à 20 % de la consommation.

## Impact environnemental des explosifs

### Composition des explosifs

Afin de correspondre au mieux à la réalité des marchés français et européen, les explosifs étudiés sont les émulsions encartouchées, l'ANFO ou nitrate fioul, la dynamite et l'émulsion vrac ou nitrate fioul alourdi. La masse globale d'explosif civil utilisé en France est de 45 000 tonnes par an. Cette quantité fluctue légèrement d'année en année selon la réalisation de grands chantiers de travaux publics en France nécessitant des explosifs (grands chantiers de terrassement pour la réalisation d'autoroutes, lignes de TGV, etc.). La masse d'explosifs utilisée pour l'abattage des roches en carrières est, elle, globalement stable au fil du temps.



Etude Synduex 2008

Cette quantité globale d'explosifs civils se répartit ainsi :

- 10 % de dynamite ;
- 40 % de nitrate fioul ;
- 30 % d'émulsion en vrac (ou bouillie) ;
- 20 % d'émulsion encartouchée.

Les explosifs civils modernes sont des composés chimiques alliant à la fois combustible et comburant, et dont les molécules de base contiennent les atomes suivants :

- le carbone C ;
- l'oxygène O ;
- l'azote N ;
- l'hydrogène H.

L'aluminium que l'on peut rencontrer dans de nombreux explosifs ne joue pas un rôle direct dans la réaction chimique engendrant l'explosion ; c'est un catalyseur. Ainsi la formulation d'un explosif repose idéalement sur un équilibre comburant combustible, appelé balance d'oxygène, qui se veut être nulle. Dans les faits, il sera préférable de disposer d'une balance d'oxygène légèrement négative pour limiter la production d'oxydes gazeux, tels que les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ). De nombreuses compositions de dynamite sont possibles. La composition générale admise pour une dynamite est un mélange de nitroglycéroglycol (nitroglycé-

rine + dinitroglycol), nitrate d'ammonium, coton azotique, farine de bois, dinitrotoluène ou trinitrotoluène, tourbe, sel et aluminium.

- Le nitrate fioul est, lui, composé de nitrate d'ammonium technique, de fioul domestique ou autres combustibles tels que la nitroparaffine, éventuellement d'aluminium et d'antimassant. La proportion idéale est de 96 % de nitrate d'ammonium pour 4 % d'huile minérale.

- Les émulsions encartouchées contiennent une large proportion de nitrate d'ammonium, nitrate minéral ou organique équivalent, de l'huile minérale ou de la cire pour le combustible, des tensioactifs, de l'eau et divers additifs tels que l'aluminium. Les émulsions vrac ou nitrate fioul alourdi respectent la même composition mais dans des proportions différentes.

- Les détonateurs sont des composés plus puissants (vitesse de détonation de 8 000 m/s contre 6 000 m/s pour les dynamites et émulsions encartouchées, et 3 000 m/s minimum pour les nitrates fioul) et plus sensibles. Ils se composent de penthrite (ou PETN), hexogène, octogène et d'hexolite, fibre de verre, carbone.

### Toxicité des composants

L'étude des propriétés chimiques des composants des explosifs a permis de définir la toxicité pré-explosion. Celle-ci se décline en différents degrés d'impact :

- les composants sans effet sur l'environnement (l'eau, l'aluminium, la cire) ;
- les composants à effet immédiat sans altération des organismes vivants (la nitroglycérine, le nitrate d'ammonium à faible dose) ;

- les composants induisant des effets irréversibles pour l'environnement et les organismes vivants (le trinitrotoluène, le dinitrotoluène).

Cette dernière catégorie ne concerne plus la France du fait de la disparition de ces composants dans la réalisation des dynamites.

L'impact des explosifs pré-détonation est aujourd'hui inexistant dans le cadre d'une utilisation normale des explosifs (voir plus loin le paragraphe consacré aux "autres pollutions").

### Les polluants produits par un tir et leur effet

Les recherches bibliographiques et l'étude des réactions chimiques de détonation ont permis de définir les résidus gazeux émis lors de la détonation. Ceux-ci diffèrent quant à leur impact sur l'environnement :

- les gaz inertes, dont le seul danger est une concentration trop importante pouvant conduire à une asphyxie :
  - N<sub>2</sub> l'azote ;
  - H<sub>2</sub> le dihydrogène ;
  - CH<sub>4</sub> le méthane ;
  - O<sub>2</sub> le dioxygène ;
  - CO<sub>2</sub> le dioxyde de carbone ou gaz carbonique ;
  - H<sub>2</sub>O la vapeur d'eau ;
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ;
  - Na<sub>2</sub>O ;
- les gaz nocifs à court terme sans effet d'accumulation :
  - NH<sub>3</sub> (irritation) l'ammoniac ;
  - CO (toxique) le monoxyde de carbone ;
  - NOx (toxiques) les oxydes d'azote ;

**EXPLOROC**  
POWER CONTROL

**Minage en carrières**

**Nouveau !**  
Rendez-vous sur [www.exploroc.com](http://www.exploroc.com)  
pour un film de présentation de la société

[www.exploroc.com](http://www.exploroc.com)

| SIEGE SOCIAL  | AGENCE NORMANDIE   | AGENCE BRETAGNE  | AGENCE EST   |
|---|--|--|--|
| 30, Z.I. de la Liane<br>62200 Boulogne-sur-Mer<br>Tél. : 03 21 30 16 00<br>Fax : 03 21 80 89 27 | 12, rue Ferdinand Buisson<br>Parc ATHENA - Bâtiment PASEO<br>14280 SAINT-CONTEST<br>Tél. : 02 31 28 28 00 - Fax : 02 31 28 08 33 | Z.A. Beauséjour 2<br>35520 LA MEZIERE<br>Tél. : 02 99 69 37 05<br>Fax : 02 99 69 23 29 | 231, avenue de Parme<br>Bâtiment INOPOLIS<br>01000 BOURG-EN-BRESSE<br>Tél. : 04 74 30 35 35 - Fax : 04 74 30 45 45 |

- les gaz dangereux par accumulation dans l'environnement : les gaz à effet de serre (GES) :
  - CO<sub>2</sub> ;
  - CO (ce gaz peut également être nocif par accumulation dans l'organisme) ;
  - CH<sub>4</sub> ;
  - NO<sub>x</sub>.

Malgré l'absence d'étude scientifique sur les émissions globales d'un tir d'explosif, il apparaît que les gaz mesurés lors d'expérimentations ou prédits par la thermo-chimie ainsi que leur concentration ne représentent pas un danger particulier pour l'homme et son environnement dans les conditions normales d'utilisation : carrières et chantiers à ciel ouvert, temps d'attente avant tout déplacement sur la zone de tir après détonation.

#### La formation de polluants secondaires

De l'identification des résidus "directs" des tirs ci-dessus, il a été possible d'établir d'autres résidus potentiels "indirects" qui peuvent se former à partir des gaz émis lors de la détonation. Ces nouveaux produits sont :

- le N<sub>2</sub>O (puissant GES et toxique pour l'homme) le protoxyde d'azote ;
- le NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> ;
- le NH<sub>4</sub>-CO<sub>3</sub>H ;
- le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O.

Bien qu'on ne sache pas aujourd'hui mesurer précisément les concentrations de ces composés, on peut affirmer que ces concentrations restent à un niveau très faible puisque produits par des gaz "directs" en quantité limitée.

La prédiction de nouveaux résidus de tir complexes pourrait justifier une étude expérimentale globale sur les gaz issus d'une explosion. En l'état actuel des connaissances, on peut toutefois affirmer que ces concentrations restent à des niveaux qui les rendent sans dommage pour l'homme et son environnement.

#### Autres pollutions

D'autres pollutions potentielles que celles dues à la détonation ont été identifiées :

- la dissolution de nitrate d'ammonium ou de fioul dans l'eau ; cette pollution peut avoir lieu dans le cas d'un trou de mine contenant de l'eau ;
- la gestion des emballages d'explosif vides après le tir ;
- la gestion des détonateurs après le tir.

En plus d'un impact environnemental réduit, la dissolution de produits dans l'eau ne peut se faire que dans le cadre d'une mauvaise utilisation des explosifs et ne peut concerner qu'une faible quantité de polluants. Les autres pollutions citées précédemment n'ont pas d'impact profond sur l'environnement : les emballages d'explosifs sont en matières plastiques et en carton, donc ils sont non toxiques.

### Bilans carbone et énergétique de l'activité forage/minage

#### Equivalent CO<sub>2</sub> des explosifs

Le cas des gaz à effet de serre émis lors de la détonation d'explosifs a été spécifiquement étudié. À partir de données théoriques et expérimentales disponibles, une méthode de calculs de l'équivalent CO<sub>2</sub> de l'utilisation

d'un explosif a été mise en place. Pour cela, il a été nécessaire de définir la masse moyenne de chaque gaz émis lors de la détonation. Les études antérieures de mesure de ces gaz et le logiciel de calcul de résidus gazeux de tir Déthéocalc98 de Nitrochimie ont permis d'établir un rapport entre les valeurs théoriques et expérimentales et ainsi d'estimer les quantités de gaz émis. La masse de chaque gaz étant connue, il reste à calculer la masse équivalente de CO<sub>2</sub> à l'aide du PRG (pouvoir radiatif global, cf. tableau des équivalents carbone des gaz à effet de serre) afin d'obtenir le bilan carbone des explosifs (par type d'explosif, par kg d'explosif et par MJ d'explosif). Les composés résiduels aux tirs et contribuant à l'effet de serre qui ont été précédemment identifiés sont : le CO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>), le CH<sub>4</sub>, le N<sub>2</sub>O, le CO (gaz n'entrant pas directement dans la catégorie des gaz à effet de serre mais qui tend à se stabiliser en CO<sub>2</sub> avec le temps).

Les résultats obtenus sont : 1 kg d'explosif produit en moyenne 539 grammes de CO<sub>2</sub> en détonant, et pour produire 1 MJ d'énergie explosive 141 grammes de CO<sub>2</sub> seront émis.

Tableau des équivalents carbone des gaz à effet de serre

| Gaz                  | Kg équivalent carbone par kg de gaz |
|----------------------|-------------------------------------|
| CO <sub>2</sub>      | 0,273                               |
| Méthane              | 6,27                                |
| N <sub>2</sub> O     | 80,7                                |
| NO <sub>x</sub>      | 10,9                                |
| Dichlorométhane      | 2,48                                |
| HFC - 125            | 764                                 |
| HFC - 134            | 273                                 |
| HFC - 134a           | 355                                 |
| HFC - 143            | 81,8                                |
| HFC - 143a           | 1 036                               |
| HFC - 152a           | 38,2                                |
| HFC - 227ea          | 791                                 |
| HFC - 23             | 2 673                               |
| HFC - 236fa          | 1 718                               |
| HFC - 245ca          | 153                                 |
| HFC - 32             | 177                                 |
| HFC - 41             | 40,9                                |
| HFC - 43 - 10mee     | 355                                 |
| Perfluorobutane      | 1 909                               |
| Perfluorométhane     | 1 309                               |
| Perfluoropropane     | 1 809                               |
| Perfluoropentane     | 2 045                               |
| Perfluorocyclobutane | 2 373                               |
| Perfluoroethane      | 2 509                               |
| Perfluorohexane      | 2 018                               |
| R11                  | 1 255                               |
| R12                  | 2 891                               |
| R134a                | 355                                 |
| R22                  | 464                                 |
| R401a                | 307                                 |
| R404a                | 1 032                               |
| R407c                | 451                                 |
| R408a                | 822                                 |
| R410a                | 539                                 |
| R502                 | 1 232                               |
| R507                 | 1 050                               |
| SF <sub>6</sub>      | 6 518                               |

### Bilans pour les carrières et les chantiers

L'obtention d'un équivalent carbone pour les explosifs a permis de définir la contribution de l'ensemble du poste forage/minage dans les émissions de CO<sub>2</sub> des activités de carrières et de chantiers de TP.

Le bilan carbone effectué pour les carrières prend en compte l'activité propre :

- le transport interne en tombereau, les pelles, les chargeuses, la consommation électrique des concasseurs et des tapis ;
- pour le poste forage/minage : le forage, le transport des explosifs encartouchés, la quantité des explosifs, le transport de la foreuse, l'unité mobile de fabrication d'explosifs.

Afin de ne pas se limiter au cadre *in situ* des émissions de gaz à effet de serre, il est intéressant de poursuivre le bilan carbone pour les étapes amont de l'activité propre de la carrière ou du chantier de TP, en considérant la fabrication des éléments décrits ci-dessus :

- fabrication du nitrate d'ammonium ;
- émissions amont du diesel ;
- fabrication engins et infrastructures.

Deux types de roche sont pris en compte : roche dure type granite et roche plus tendre type calcaire ; cette distinction se justifie par les différences induites par la roche quant au temps de forage et aux quantités d'explosif mis en jeu.

- forage : 20 m/h pour le granite, 30 m/h pour le calcaire ;
- explosifs : 131 g/t pour le granite, 100 g/t pour le calcaire ;
- consommation électrique (concasseurs) : 2 000 000 kWh/an pour le granite, 1 400 000 kWh/an pour le calcaire.

Concernant la consommation électrique, ont été distinguées les carrières situées en France où la production d'électricité est majoritairement d'origine nucléaire, très peu émettrice de CO<sub>2</sub> par rapport à la production moyenne en Europe utilisant davantage le gaz, le charbon ou le pétrole. En France, un kWh électrique entraîne une émission de 0,084 kilogramme d'équivalent CO<sub>2</sub>, là où la valeur moyenne en Europe est estimée à 0,352 kilogramme de CO<sub>2</sub> par kW électrique produit. Dans le cas des chantiers de TP, les principales différences sont :

- les explosifs dont la quantité augmente étant donné l'absence d'effet de face libre lors du tir ;
- la distance parcourue par un tombereau est supérieure le plus souvent à la distance moyenne en carrière.

En résumé, l'extraction d'une tonne de roche dure type granite en carrière génère en moyenne 3,53 kgCO<sub>2</sub> (4,87 en Europe en raison des méthodes de production d'électricité) et consomme 44,54 MJ.

Pour l'extraction d'une tonne de roche dure type calcaire, une carrière produit en moyenne 3,33 kgCO<sub>2</sub> (4,26 en Europe) et consomme 38,58 MJ.

Pour un chantier de TP, le CO<sub>2</sub> émis s'élève à 3,58 kgCO<sub>2</sub> par tonne au maximum et consomme 55,6 MJ.

D'un point de vue GES, le poste forage/minage contribue pour environ 10 % des émissions de CO<sub>2</sub> et les explosifs pour 2,5 %.

Energétiquement, le poste forage/minage ne dépasse pas 6,5 % de la consommation et les explosifs représentent moins de 1,5 % de l'énergie utilisée.

## COMEC

31050 BADDERE DI MORGANO (TV) - ITALY  
 TÉL : + 39 0422 8383 - FAX : +39 0422 838400  
 E-MAIL : COMEC@COMEC.IT

Mr. Jean-Marie BRUN  
 TEL : 0033 434 130219  
 FAX : 0033 466 524007  
 PORTABLE : 0033 686 679811  
 E-MAIL : concacri@hotmail.com



**Installations complètes pour : le concassage criblage, le lavage, la manutention et le traitement des sables, la clarification des eaux, le traitement des boues.**

## Récemment développement de l'étude : l'éco-comparateur Ecofro

### Principe et objectifs

Faisant suite à la première étude de 2008, un outil de calcul permettant d'étudier rapidement différentes configurations s'est avéré nécessaire.

Ainsi est né en 2010 l'Ecofro, l'éco-comparateur des méthodes de fragmentation de roches en carrières et chantiers de TP.

Réalisé en partenariat avec le SFEPA (Syndicat des fabricants d'explosifs, poudres et artifices), Ecofro permet de connaître les émissions de gaz à effet de serre selon la méthode choisie, mais également d'évaluer la part que ces émissions représentent vis-à-vis de l'ensemble des postes de la carrière ou du chantier. Cette évaluation a un double intérêt, puisqu'elle permet aussi de prendre en compte les modifications que la méthode de fragmentation peut engendrer sur les postes en aval. La comparaison entre différents choix dans la méthode de fragmentation s'effectue donc par la réalisation de différentes simulations prenant en compte les effets de la fragmentation sur les postes en aval.

L'outil, hébergé sur les sites des deux syndicats Synduex et Sfeпа, est destiné aux entreprises spécialisées en forage/minage, aux maîtres d'œuvre, conducteurs de travaux, etc.

### Mode d'emploi

Ecofro se présente sous la forme d'un tableur Excel permettant une description chronologique de la carrière ou du chantier de TP. Les résultats et les rappels des hypothèses posées lors de la saisie des informations sont donnés sur les deux derniers onglets de l'éco-comparateur. Ecofro est un éco-comparateur et n'a donc pas pour objectif d'effectuer des bilans carbone exhaustifs des carrières et chantiers de TP. Toutefois, l'outil ne se contente pas de caractériser et de comparer les méthodes de frag-

mentation du point de vue de leurs émissions de gaz à effet de serre ; il offre la possibilité d'intégrer les modifications que telle ou telle méthode aura sur les postes en aval. Il permet donc d'étudier les évolutions des émissions globales de gaz à effet de serre sur une carrière ou sur un chantier de TP selon la méthode choisie.

Un premier onglet <Accueil> permet de renseigner les grandes caractéristiques de la carrière ou du chantier de TP : volume extrait, durée de vie des installations et des engins, dénomination du chantier.


Quatre onglets découpent ensuite l'activité de la carrière ou du chantier en quatre phases successives de traitement de la roche :

- <Fragmentation> : choix de la ou des méthodes de fragmentation, à savoir forage/minage, ripper, BRH, raboteuse ;
- <Extraction> : choix des engins mis en place afin de transporter la roche depuis la zone d'abattage jusqu'au poste de concassage (chargeuse, tombereaux) ;
- <Concassage> : deux méthodes de concassage sont proposées, l'une électrique et l'autre thermique (concasseur à moteur thermique) ;
- <Expédition> : transport des matériaux jusqu'aux stocks ou chargement direct des camions de transport.


Pour la fragmentation, plusieurs méthodes peuvent être sélectionnées simultanément. Pour le forage/minage, il est nécessaire de saisir les caractéristiques de la foreuse : le poids, la consommation ou la puissance de l'engin, son rendement ; la charge spécifique et les différents types d'explosifs utilisés ; les fréquences de transport (pour la foreuse et les explosifs), les distances correspondantes et les consommations ou puissances des véhicules concernés.

Pour les trois onglets suivants, la méthodologie reste la même : le poids des engins, leur puissance ou consommation, leur rendement ou heure de fonctionnement vont permettre d'obtenir les volumes de carburant consommés, les kWh consommés et les quantités d'acier nécessaires aux fabrications des engins et installations.

Page d'accueil  
d'Ecofro



Eco-comparateur ECOFRO V7.1



| Informations générales : |                        | Données site :                 |  | Données site :                      |             |
|--------------------------|------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|-------------|
| Entreprise :             | Synduex                | Type de matériau :             | Roche gréseuse                                       | Durée de vie moyenne engin :        | 10 000.00 h |
| Date :                   | 01/01/2010             | Volume Chantier sur la durée : | 160 000 m <sup>3</sup> (13 333 m <sup>3</sup> /mois) | Durée de vie moyenne installation : | 20 000.00 h |
| Chantier :               | Essai Etude aout 2008  | Durée :                        |  |                                     |             |
| Durée Chantier :         | 12.00 mois (1 000 ans) | Masse volumique matériau :     | 2.50 T/m <sup>3</sup> (13 333 T/mois)                |                                     |             |

FRAGMENTATION

EXTRACTION

CONCASSAGE

CHARGEMENT

Compléter données

Compléter données

Compléter données

Compléter données

RESULTATS

[Résumé du Bilan](#)

[Détail des calculs](#)

SYNDUEX - Fédération Nationale des Travaux Publics - 3, rue de Berré - 75008 Paris.

SFEPA - le diamant A - 92909 Paris la défense cedex.

Contact : [Secrétariat Général du Synduex : Jean Philippe Dupuyton](#)

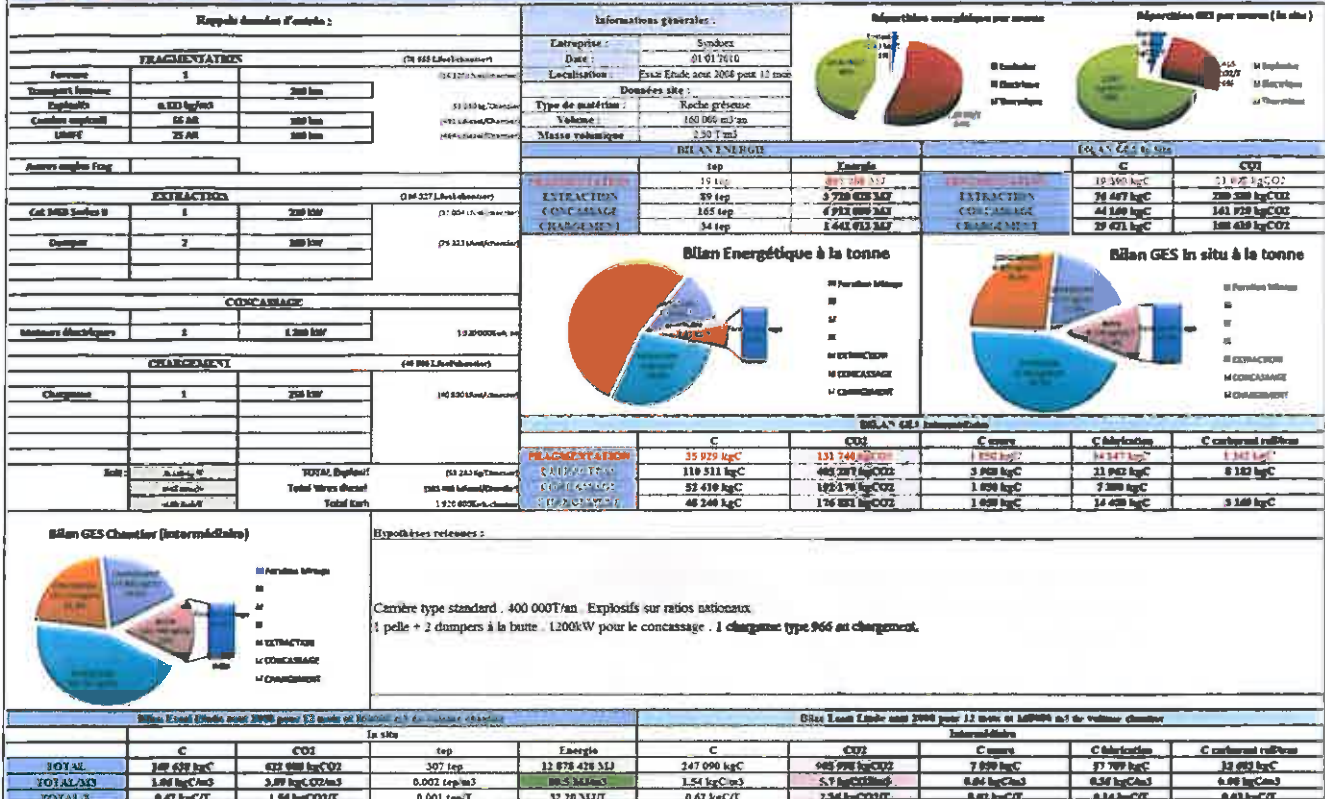
Contact : [Secrétariat Général du SFEPA : hmiermont@diol.oleane.com](#)

Developpement : Jean-Remond GONZALEZ (FNU-FC Group)

Coordonnateur : PHILIPPE MARTEL (SFEPA)

Assistante : ANNE-CHRISTINE (FNU-FC Group)

Té. 01 44 13 32 23 - Fax 01 44 13 98 70 [www.synduex.com](http://www.synduex.com)



C'est à partir de ces dernières données (volumes de carburant, nombre de kWh, quantité et nature d'explosif, poids des installations et engins) que peuvent être ensuite calculées les émissions de gaz à effet de serre à l'aide de constantes.

**Constantes**

Ces constantes font l'objet d'un onglet particulier qui indique leur valeur et leur origine. Trois types de constantes sont à distinguer ici :

- les constantes physiques, établies par définition ;
- les constantes Ademe issues du *Guide des émissions de gaz à effet de serre*, version juin 2010. L'Ademe et ses valeurs constituent la référence française de calcul des émissions de gaz à effet de serre ;
- les valeurs issues de l'étude du Synduex de 2008. Cette étude est en effet la seule tentative de bilan carbone des explosifs.

Ces constantes sont définies dans l'éco-comparateur et ne sont pas modifiables par les utilisateurs. L'outil a toutefois été conçu afin de pouvoir réactualiser ces valeurs en cas de modification du guide de l'Ademe ou de recherches nouvelles, notamment expérimentales sur les émissions dues à la détonation des explosifs industriels.

**Calculs**

Les calculs détaillés effectués par Ecofro sont consultables dans l'onglet <Calculs>. Ils ne sont pas modifiables par l'utilisateur, mais permettent de comprendre l'origine des valeurs annoncées par la suite.

**Résultats**

Une fois les informations nécessaires saisies, deux onglets décrivent les résultats de la simulation.

Un premier onglet présente :

- le rappel des éléments constitutifs de la carrière ou du chantier de TP qui ont été sélectionnés au préalable ;
- la répartition de l'énergie utilisée sur la carrière ou sur le chantier de TP en fonction de son origine (thermique, électrique et explosive) ;
- la répartition des émissions de gaz à effet de serre selon les différentes phases de traitement de la roche (fragmentation, extraction, concassage et expédition) ;
- les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre pour les différents postes et de l'ensemble sont également rapportées à la tonne.

Le second onglet rappelle les données générales, les hypothèses de la simulation et les données principales permettant ensuite la comparaison avec une autre simulation. L'objectif d'Ecofro est de permettre cette comparaison via les consommations d'énergie et leur origine (et donc la performance énergétique) et par la comparaison entre les émissions globales de la carrière ou du chantier de TP.

**Les futures évolutions de l'outil**

Ecofro se veut un outil d'éco-comparaison évolutif :

- la base de données des engins de chantier et leurs caractéristiques n'est pas figée. Il est donc possible d'ajouter de nouveaux modèles, de nouveaux types d'engin, et il est surtout possible pour l'utilisateur de modifier les hypothèses de consommation des engins. Cette dernière possibilité permet de s'adapter au vieillissement du matériel, aux conditions environnementales spécifiques, à la modernisation constante des moteurs des engins de chantier et donc de leur consommation en énergie ;
- les constantes utilisées dans les calculs peuvent être rapidement modifiées par un administrateur et l'ensemble des calculs sera alors renouvelé. Ceci permettra de

Exemple de résultats obtenus par Ecofro

s'adapter aux futures versions du guide des émissions de gaz à effet de serre de l'Ademe et à toute avancée dans l'obtention d'un équivalent carbone pour les explosifs.

## Voies d'amélioration environnementale de l'activité de forage/minage

Deux grands axes d'évolution sont aujourd'hui envisagés par le Synduex quant à l'impact environnemental des explosifs en carrière et en chantier de TP. Le premier s'inscrit dans la démarche d'une "technicité maîtrisée", et consiste à réaliser un outil d'analyse et de comparaison globale de l'impact environnemental de la phase de fragmentation de la roche. Le second repose sur l'hypothèse qu'une augmentation de l'énergie explosive lors de l'abattage peut impacter le bilan les émissions globales du système considéré.

### Vers un outil global d'éco-comparaison

Le Synduex souhaite étendre l'outil Ecofro à l'évaluation des différentes pollutions que les explosifs ou toute autre méthode de fragmentation de la roche peuvent générer dans leur milieu. Dans son état actuel, Ecofro étudie les émissions de gaz à effet de serre et l'efficacité énergétique de la fragmentation, mais un outil plus global étudiera les pollutions connues et considérées comme classiques : poussières, vibrations, mais aussi les contraintes naissantes dans la réglementation, telles que la surpression acoustique.

### Interactions énergétiques : vers une énergie plus "utile"

Le second axe trouve son origine dans l'hypothèse que la "qualité" de l'abattage influe sur les postes de traitement de la roche en aval. Autrement dit, un ajout d'énergie explosive afin d'améliorer la fragmentation de la roche peut avoir des conséquences significatives sur l'extraction et le concassage de la roche.

Cette voie d'amélioration nécessite des expérimentations grandeur nature afin de juger de sa validité, mais il semble logique de formuler certaines hypothèses de travail :

- une meilleure fragmentation de la roche et donc une granulométrie plus régulière de la roche abattue (moins de blocs et de fines) facilitera l'extraction puisque godet et tombereau seront mieux chargés ; le travail de la pelle ou de la chargeuse sera plus simple en absence de blocs qui nécessite davantage de manipulation de la part de l'engin, donc moins de consommation de carburant à la tonne produite et donc moins d'émission de gaz à effet de serre ;
- cette même granulométrie plus régulière va simplifier le travail du/des concasseur/s. L'absence de blocs évitera les efforts importants des installations ou des arrêts de production. Egalement, l'effet d'attrition améliorera le rendement du concassage et réduira les pièces d'usure nécessaires pour les installations. Cette amélioration devra conduire à une diminution des consommations électriques à la tonne produite.

Des estimations sur ces hypothèses ont permis de définir

des profils quant aux effets sur le bilan carbone d'une carrière d'une augmentation de l'apport en énergie explosive lors de l'abattage. Les résultats prennent évidemment en compte les réductions d'utilisation citées précédemment, mais aussi les émissions supplémentaires dues aux explosifs rajoutés, au forage nécessaire à leur mise en place, à la fabrication de ces explosifs supplémentaires.

Une validation des estimations de diminution d'utilisation des postes en aval de l'abattage reste à faire, mais d'après ces estimations un apport supplémentaire de 50 % d'énergie explosive (passage d'une moyenne de 300 g/m<sup>3</sup> d'explosif à près de 450 g/m<sup>3</sup>) impliquerait entre 4 et 6 % en moins d'émissions de GES sur le bilan global des carrières et en chantiers de TP.

Cette optimisation énergétique permettrait sur la production française de granulats de roche massive estimée à environ 250 millions de tonnes par an conduisant à une production en GES d'environ 750 millions de kgCO<sub>2</sub>, une économie en GES probablement supérieure à 45 millions de kgCO<sub>2</sub>. En outre, l'intérêt d'une utilisation optimisée de l'explosif pourrait encore être doublé, dans tous les autres pays ne disposant pas d'une électricité à faible impact CO<sub>2</sub>.

Une utilisation appropriée de l'énergie explosive pourrait donc permettre une réduction globale des émissions de gaz à effet de serre par une diminution substantielle de la consommation d'énergie thermique et électrique.

## Conclusion

Les études menées par le Synduex démontrent que, contrairement aux idées reçues, le forage/minage est une

méthode de fragmentation peu polluante, en particulier du point de vue des émissions de gaz à effet de serre.

En outre, l'explosif apparaît comme une source d'énergie plus efficace que l'électricité et les combustibles fossiles. En effet, l'explosif a la particularité d'être la combinaison d'un comburant et d'un combustible dans un même produit. Son fort potentiel énergétique s'exprime en quelques microsecondes lors d'une réaction dite de détonation dont les conditions initiales (plusieurs milliers de degrés et plusieurs milliers de bars) permettent la libération d'un maximum d'énergie des molécules qui le composent. Au-delà du rendement très élevé de cette réaction chimique, le minage a l'avantage de libérer son énergie au cœur même de la roche, et évite ainsi toutes les pertes induites par des opérations superficielles de fragmentation.

Dans la course à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la minimisation de l'impact sur l'environnement, le forage/minage dispose de nombreux atouts qui en font la méthode de fragmentation de roche la plus efficace et celle qui est à privilégier dans l'optique d'un développement durable. **m&c**

Jean-Renaud Dernoncourt,  
Forage et Minage de l'Ouest, groupe EPC  
Frédéric Martareche, BEC, groupe Fayat  
Jean-François Couvrat,  
Forage et Minage de l'Ouest, groupe EPC

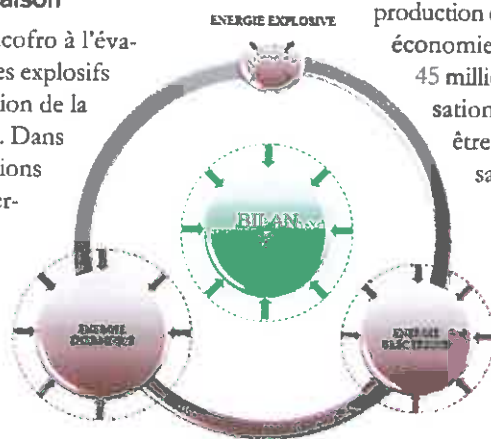


Schéma des effets énergétiques de l'explosif en carrières et sur chantiers de TP