

Centre de Nantes  
Route de Bouaye  
BP 4129  
44341 Bouguenais Cedex

Site Web : [www.lcpc.fr](http://www.lcpc.fr)

Division DDGC

*Etablissement public  
à caractère scientifique  
et technologique*



N° 9915173 pour les sites  
de Paris et de Nantes

Paris (siège)  
58, Boulevard Lefebvre  
75732 Paris Cedex 15

Satory-Versailles

Marne-la-Vallée

# EVALUATION ENVIRONNEMENTALE D'UN PROCEDE DE FABRICATION DE METAKAOLIN(calcination flash)



Rapport phase 1 établi le : Avril 2010

Nomenclature d'activité : 13L09291

Référence: convention Argéco-LCPC

## SOMMAIRE

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>Collecte de données des zones de l'installation faisant l'objet de l'étude .....</b>	<b>3</b>
<b>Unité fonctionnelle (UF).....</b>	<b>5</b>
<b>Inventaire des consommations et émissions pour une tonne de métakaolin produit.....</b>	<b>7</b>
<b>Calculs d'impact (engins et usine) .....</b>	<b>8</b>
<b>Coefficients de classification et de contribution des espèces mesurées .....</b>	<b>8</b>
<b>Indicateurs d'impacts .....</b>	<b>9</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>10</b>

## ***Introduction***

*L'objet d'étude* est l'évaluation environnementale de la fabrication de Métakaolin sur une période de 2 heures. Le produit est extrait d'une carrière et est élaboré à chaud dans l'usine de Fumel. Pour les besoins de l'étude le procédé est décomposé en deux étapes : l'extraction en carrière et l'élaboration en usine. Dans cette phase, priorité était donnée aux consommations d'énergie et aux gaz à effet de serre.

## ***Collecte de données des zones de l'installation faisant l'objet de l'étude***

Les mesures se sont déroulées le 20 janvier 2010 par temps pluvieux. L'hydrométrie extérieure mesurée à l'aide de la station météo était de 91%.

L'extraction en carrière correspond aux engins qui sont présents sur site :

- chargeur Liebherr 538
- pelle à chenille Liebherr 912
- tombereau Bell 25D
- bulldozer

Les émissions des engins ont été calculées à partir des consommations moyennes annuelles, fournies par l'exploitant, avec le logiciel du LCPC ECORCE 1.0

Concernant l'usine, les consommations électriques sont mesurées avec un analyseur de réseau Chauvin Arnoux 8334B branché en amont de l'installation. Les consommations de gaz naturels sont relevées visuellement au compteur.

Les mesures d'émissions dans la cheminée sont réalisées avec les appareils définis dans le tableau 1:

<i>Type de mesure</i>	<i>Unités</i>	<i>Normes</i>	<i>Matériels utilisés</i>
<b>Vitesses des gaz dans la cheminée</b>	m/s	XP X 43-361	Mesure de la vitesse des effluents avec un tube de Pitot en L relié à un transmetteur de pression différentielle
<b>Température des gaz</b>	°C	Méthode interne	Mesure à l'aide d'un thermocouple NiCr/NiAl
<b>Humidité des gaz</b>	Vol %	Méthode interne	Méthode par calcul à partir des teneurs en O <sub>2</sub> sur gaz secs et humides
<b>O<sub>2</sub> sur gaz humides</b>	Vol %		Analyseur LAND - Analyse de l'oxygène par sonde à oxyde de zirconium.
<b>Echantillonnage de gaz en continu</b>		Méthode interne	Sonde de prélèvement Ligne de prélèvement Conditionneur de gaz
<b>O<sub>2</sub> sur gaz secs</b>	Vol %	NF EN 14789	Analyseur HORIBA - Analyse de l'oxygène basée sur ses propriétés paramagnétiques.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Vol %	NF X 20-380	Analyseur HORIBA- Absorption d'un faisceau infra rouge non dispersé
<b>CO</b>	Vol ppm	NF X 20-361	Analyseur HORIBA- Absorption d'un faisceau infra rouge non dispersé
<b>NO<sub>x</sub></b>	Vol ppm	NF X 43-018 NF EN 14792	Analyseur HORIBA - Analyse par chimiluminescence
<b>COGNM</b>	Vol ppm	NF X 43-301 NF EN 12619	Analyseur NIRA modèle Mercury 901- Détection de COV à l'aide d'un FID (Décteur à Ionisation de Flamme)
<b>Méthane</b>	Vol ppm	NF X 43-301 NF EN 12619	Analyseur NIRA modèle Mercury 901- Détection de COV à l'aide d'un FID (Décteur à Ionisation de Flamme)

*Tableau 1. Méthodes de mesure des émissions atmosphériques et des paramètres physiques*

## Unité fonctionnelle (UF)

Pour réaliser l'inventaire des flux et les calculs d'impacts, les hypothèses sont les suivantes (tableau 2). Des détails sont fournis séparément pour les engins en carrière et pour l'usine respectivement sur les tableaux 3 et 4 puis 5.

Procédé	Unité de référence correspondant à l'objet d'étude
Carrière (2 heures de production)	Extraction de 36,5 tonnes d'argile
Usine (2 heures de fabrication)	Masse de métakaolin produit : 17,3 tonnes – soit une cadence de 8,65 t/h

Tableau 2. Déclinaison de l'unité fonctionnelle selon l'étape du process considérée

## ENGINS

Procédé	Engins (*)
énergie	Données bibliographiques [Hugrel et Joumard, 2006]
CO <sub>2</sub>	
CO	
CH <sub>4</sub>	
COGM	
NO <sub>x</sub>	
Particules PM10	

Tableau 3. Sources des données environnementales unitaires utilisées dans cette phase de l'évaluation.

Hugrel C. et Joumard R. (2006), *Directives et facteurs agrégés d'émission des véhicules routiers en France de 1970 à 2025*, Rapport LTE n°0611 de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), 2006

(\*) : d'autres données existent dans la littérature en matière d'émissions d'engins.

Cette référence a été utilisée pour le calcul des valeurs d'émissions atmosphériques, elle présente des valeurs d'émissions de moteurs de poids lourds. Les valeurs choisies sont les valeurs agrégées sur tous types de circulation et correspondant à l'année 2005.

Les émissions des engins sont calculées à partir des données moyennes de l'année 2009 avec le logiciel ECORCE 1.0 (tableau 4). La production totale pour l'année 2009 est de 17 984 tonnes.

	Consommation (l/h)	Durée de fonctionnement en 2009 (h)
Chargeur liehberr 538	9,4	1528
Pelle mécanique Liehberr 912	16,9	837
Tombereau Bell 25D	8	1087
Bulldozer Caterpillar D5H	7,2	174

*Tableau 4. Données exploitant pour les engins.*

#### USINE

L'énergie liée au gaz naturel est calculée à partir des consommations relevées, du pouvoir calorifique (calculé à partir des relevés de l'année 2009 : PCI=10,67 kWh/Nm<sup>3</sup>), de la pression d'alimentation et de la température.

Procédé	Production du métakaolin
énergie	Mesurés en cheminée par le LCPC
CO <sub>2</sub>	
CO	
CH <sub>4</sub>	
COGNM	
NOx	
Particules PM10	non mesurées

*Tableau 5. Sources des données environnementales unitaires utilisées dans cette phase de l'évaluation.*

## Inventaire des consommations et émissions pour une tonne de métakaolin produit

La totalité des flux (cf tableau 6) a été affectée à la masse de métakaolin produite, le refus étant de 53 % en masse de l'argile extraite.

FLUX		UNITE	carrière (1)	Usine (2)	TOTAL	Données Argeco (moyenne 2008, 2009 et début 2010)
Energie	gaz naturel total	MJ/t	0	1894,78	1894,78	1982.04
	gasoil	MJ/t	76,9	0	76,90	
	électricité	MJ/t	0	239,16	239,16	255
émissions dans l'air	CO <sub>2</sub>	kg/t	5,599	89.9	95.5	
	CO		0,016	0,206	0,222	
	COGNM		0,007	0,190	0,197	
	NOx		0,071	0,150	0,222	
	CH <sub>4</sub>		0	0,007	0,007	
	PM10		0,004	Non mesuré	0,004	
	N <sub>2</sub> O		0,001	Non mesuré	0,001	
	H <sub>2</sub> O		0	464.80 (3)	464.80	
ressources	matériau	(t)	2,110 argile	1 métakaolin	1	
	eau	l	0	0	0	

*Tableau 6. Données d'Inventaire des consommations et émissions de la carrière et de l'usine.*

(1) : Hypothèses de calcul d'après : Hugrel et Joumard, 2006

(2) : Mesures en cheminée sur une période de 2 heures le 20 janvier 2010 puis dans l'usine le 8 Avril 2010

(3) : La masse d'eau mesurée en cheminée est issue de l'eau contenue dans l'argile et de l'eau contenue dans l'air entrant dans la cheminée. Elle est calculée à partir de la différence entre l'oxygène sur gaz sec et l'oxygène sur gaz humide.

## Calculs d'impact (engins et usine)

### Coefficients de classification et de contribution des espèces mesurées

Le jeu d'indicateurs ACV utilisés est précisé ci-dessous (tableau 7) en relation avec les polluants mesurés ou calculés dans cette phase (inventaire).

Indicateur	Procédé	CO	NOx	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	COGNM	PM10	N2O
Formation d'ozone photochimique POCP	<b>Coefficient de contribution</b>	<b>0,027</b>	<b>0,028</b>	<b>0,42</b>	(*)	<b>0,42</b>	(*)	(*)
	Carrière	1	0,33	0,5	(*)	1	(*)	(*)
	usine	1	0,33	0,5	(*)	1	(*)	(*)
Potentiel d'acidification AP	<b>Coefficient de contribution</b>	(*)	<b>0,69565</b>	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	Carrière	(*)	0,33	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	usine	(*)	0,33	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Index d'Eutrophisation EI	<b>Coefficient de contribution</b>	(*)	<b>0,13</b>	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	Carrière	(*)	0,167	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	usine	(*)	0,167	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Potentiel de Réchauffement Global PRG	<b>Coefficient de contribution</b>	(*)	(*)	<b>25</b>	<b>1</b>	(*)	(*)	<b>320</b>
	Carrière	(*)	(*)	1	1	(*)	(*)	1
	usine	(*)	(*)	1	1	(*)	(*)	1
Toxicité	<b>Coefficient de contribution</b>	(*)	<b>1,2</b>	(*)	(*)	(*)	<b>0,096</b>	(*)
	Carrière	(*)	0,33	(*)	(*)	(*)	1	(*)
	usine	(*)	0,33	(*)	(*)	(*)	1	(*)
Ecotoxicité	<b>Coefficient de contribution</b>	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	Carrière	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	usine	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

Tableau 7. Coefficients d'allocation et de contribution aux catégories d'impacts pour les composés mesurés ou pris en compte (\*) : sans objet



## Indicateurs d'impacts

Les consommations d'énergie et impacts potentiels évalués à partir des mesures effectuées en janvier et avril 2010 sont reportés dans le tableau 8. Les facteurs d'impact de la carrière et l'usine sont calculés à partir des valeurs moyennes collectées et mesurées. L'étude portait sur les consommations d'énergie et sur les gaz à effet de serre principalement, les mesures réalisées notamment en cheminée visaient donc ce type de résultat.

procédé	consommation énergétique	effet de serre	formation d'ozone troposphérique	acidification	eutrophisation	toxicité	écotoxicité
		PRG	POCP	AP	EI	TP	EP
	MJ/t	kg éq. CO <sub>2</sub> /t	kg éq. éthylène/t	kg éq. SO <sub>2</sub> /t	kg éq. PO <sub>4</sub> /t	Kg éq. 1.4 DCB/t	Kg éq 1.4 DCB/t
carrière	76,9	5,83	0,004	0,017	0,002	0,029	(*)
usine	2133,94	90,08	0,088	0,035	0,003	0,060	(*)
<b>TOTAL metakaolin</b>	<b>2211</b>	<b>96</b>	<b>0,092</b>	<b>0,051</b>	<b>0,005</b>	<b>0,089</b>	<b>(*)</b>

Tableau 8. Valeurs d'Indicateurs (\*) : sans objet

## Conclusion

Afin de replacer les valeurs obtenues dans le contexte actuel de fourniture de données environnementales, le tableau 9 propose d'autres résultats relatifs aux granulats et aux ciments, à partir de valeurs disponibles dans la littérature. Souvent les inventaires proposés dans la littérature considèrent des hypothèses différentes d'un auteur à l'autre et il est parfois délicat de comparer directement des valeurs d'inventaire d'un matériau à l'autre en prenant les différentes sources de données.

procédé	consommation énergétique	effet de serre	formation d'ozone troposphérique	acidification	eutrophisation	toxicité	écotoxicité
		PRG	POCP	AP	EI	TP	EP
	MJ/t	kg éq. CO <sub>2</sub> /t	kg éq. éthylène/t	kg éq. SO <sub>2</sub> /t	kg éq. PO <sub>4</sub> /t	Kg éq. 1.4 DCB/t	Kg éq 1.4 DCB/t
<b>TOTAL metakaolin</b>	<b>2211</b>	<b>96</b>	<b>0,092</b>	<b>0,051</b>	<b>0,005</b>	<b>0,089</b>	<b>(*)</b>
Valeur ciment Ecorce (source ATHIL 2002) ICV complet	7954	962,7	0,852	0,76	0,058	96,87	33960
Valeur granulats site de roche massive (source LCPC-engins)	25,5	1,78	0,004	0,012	0,001	0,086	1,435
Valeur ciment CEMI 95% Ecorce (source ATHIL2002, mais calculé avec les mêmes flux que pour cette étude)	7954	913,6	0,507	0,557	0,053	0,978	(*)

*Tableau 9. Comparaison avec les données de la littérature (\*) : sans objet*

Dans le tableau 9, les consommations énergétiques peuvent être comparées pour les différents matériaux. Nous proposons notamment des résultats issus des données ATILH tels que publiés en (2002), puis des résultats d'impacts calculés avec les mêmes données (ATILH, 2002) mais avec un nombre réduit de polluants, en ne conservant que les rejets mesurés sur le site Argeco. Les valeurs des consommations et impacts des granulats ont été obtenues suite à des mesures effectuées en carrière par le LCPC ; elles sont à comparer directement avec les résultats obtenus sur la carrière Argeco.

Toujours selon les données de l'ATHIL (2002) le gain énergétique du procédé par calcination flash pour la fabrication du métakaolin par rapport à la fabrication d'un ciment (CEMI 95%) est de 3,5.

En ce qui concerne les indicateurs d'impacts, limités aux mêmes flux que ceux mesurés dans la présente étude, le gain entre le métakaolin et le ciment se situe autour d'un facteur dix sauf pour l'indicateur formation d'ozone troposphérique où il est de l'ordre de six. Les valeurs de l'ATHIL intègrent les émissions liées à la production d'énergie, hypothèse qui n'est pas faite dans les calculs ci-dessus pour le métakaolin, et qui majore les émissions estimées dans le cas du ciment par rapport aux résultats sur métakaolin. Ce résultat est donc à replacer dans ce contexte.