

Ressources difficiles à traiter

Valorisation des matériaux de carrière par la **chaux**

La chaux peut apporter des réponses à la valorisation des stériles de carrières, notamment si l'on tient compte de l'augmentation de la production de roches massives en France, et des contraintes réglementaires liées à la gestion des coproduits. Des exemples de traitement à la chaux montrent que les exploitants effectuant le choix de cette technique voient leur équilibre de production s'améliorer et trouvent des réponses concrètes sur des utilisations diverses. L'amélioration des procédés et des matériels disponibles permet d'envisager cette opération dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes, en respectant les critères environnementaux.

« **L**es granulats vaudront de l'or ». C'est le postulat titré par l'hebdomadaire *Usine Nouvelle*, voilà quelques années. La raréfaction des granulats s'explique par la conjugaison de plusieurs effets. Les États se sont engagés dans la protection de l'environnement en signant en 1992 le

protocole de Kyoto, suivi en France par les lois Grenelle 1 et 2 de l'environnement. Le renforcement de la réglementation a fait apparaître des dispositifs comme les zones Natura 2000, les trames vertes et bleues, etc. Les autorisations d'exploitation et les accès aux ressources sont rendus nettement plus difficiles, notamment avec la loi n° 92-3 du 03/01/1992, dite loi sur l'eau.

L'effet pervers de ses dispositions est une augmentation de l'emploi des roches massives au détriment des roches meubles, créant des déséquilibres régionaux par une augmentation de la demande des zones urbaines.

La pression plus importante des textes européens en droit français est perceptible suite à la directive-cadre sur les déchets du 19 novembre 2008 (2008/98/CE), transposée en droit français le 17 décembre 2010 : ce texte encourage au réemploi, à la valorisation, et introduit le statut de coproduit. Elle impose aux États membres 70 % de valorisation d'ici 2020 pour les déchets inertes.

Par ailleurs, la directive Déchets de l'industrie extractive du 15 mars 2006 (2006/21/CE), transposée en droit français par étapes, définit des objectifs de réemploi des coproduits et des stériles de carrières. Elle est applicable depuis le 1^{er} mai 2008 pour les déchets exclus de la directive 1999/31/CE. Ce texte concerne notamment la gestion des déchets inertes des carrières



Matériaux bruts à traiter à la chaux.



Matériaux chaulés devant être criblés.

(découvertes, produits de scalpage, boues de lavage), leurs conditions de stockage en tenant compte des risques en termes de stabilité des matériaux (granulométrie, plasticité, densité, teneur en eau, degré de compactage, résistance au cisaillement et angle de frottement, perméabilité et taux de porosité, compressibilité et consolidation), les digues des bassins de décantation, les remodelages de sites (merlons, talus), et les stocks de matériaux. Son objectif est d'éviter tout risque sur l'environnement (eau et sols).

Pour l'exploitant, les déchets sont très souvent synonymes de matériaux altérés par des argiles. Sensibles à l'eau et plus ou moins plastiques, ils sont une plaie pour les producteurs et les travaux publics. Le matériau change de statut, selon la classification GTR, et devient un sol classé A1, A2, A3, B4, B5, etc. Les solutions de séparation mêlent traitements mécaniques (par scalpeurs à disques, cribles haute énergie, filtres-presses ou à bande, défilerisateur, etc.) et chimiques comme les flocculants, les polymères ou la chaux calcique.

Action de la chaux calcique

La chaux calcique ou oxyde de calcium (CaO) est le résultat de calcination d'un calcaire riche en carbonate CaCO₃. En présence d'eau, CaO devient hydroxyde



Philippe Bienvenu, directeur commercial de Lhoist.



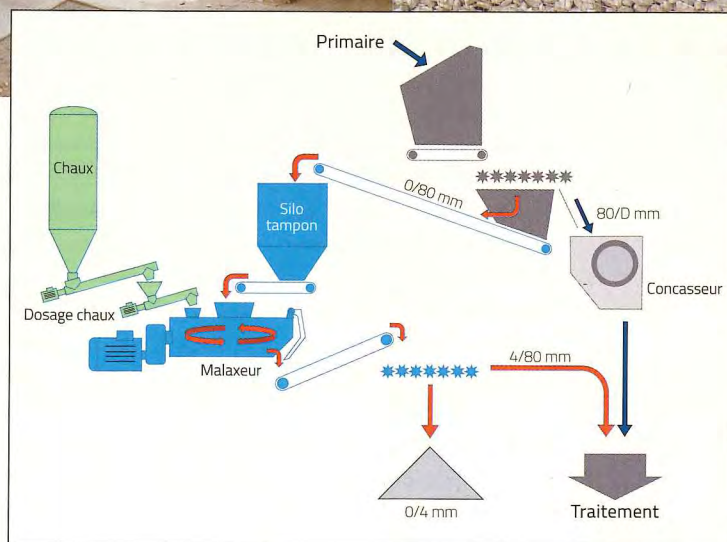
de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou chaux éteinte, qui peut se décliner en lait de chaux. Au contact de l'air se produit le phénomène de re-carbonatation pour redevenir CaCO_3 .

La chaux est un produit normalisé, bénéficiant d'un marquage CE et d'une DOP (déclaration des performances). Elle est conforme à la norme NF EN 459 de mars 2012 (note IDRRIM n° 29 de février 2015). Son dosage s'exprime en pourcentage de la masse du produit selon les prescriptions du laboratoire.

Sur les sols et en présence d'eau, la chaux calcique crée un fort dégagement de chaleur. Cette réaction exothermique provoque l'extinction de la chaux, $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15,5 \text{ kcal}$ et l'assèchement du sol. La réactivité, selon la norme NF EN 459, exige pour une chaux calcique CL90, une t_{60} en 5 mn. Avec des chaux ultrafines, cette réactivité t_{60} peut être $< 2 \text{ mn}$ ($S_{\text{spé}}$).

Dans les heures suivantes, la saturation en Ca^{++} crée une floculation par désorganisation électrique des argiles saturées en 2Na^+ . Cette floculation permet l'insensibilisation des sols à l'eau, par neutralisation des effets de retrait/gonflement. La structure minérale passe d'un état plastique (I_p) à granulaire avec des propriétés stables et une portance (IPI, indice de portance immédiate).

L'hydroxyde de calcium est une base forte qui provoque une hausse du pH (~ 12) mettant en solution de la silice, des oxydes de fer et de l'alumine contenus dans le sol. Cette action pouzzolanique se manifeste par la création d'hydrates (CSH, CFA, CAH) proches des liaisons cimentaires.



Exemple d'installation de chaulage en carrière

Quels sont les traitements par voie sèche ?

Nombreuses sont les carrières de roches massives qui, pour accéder au gisement "sain", doivent déployer beaucoup d'énergie. Le plus souvent, les matériaux extraits sont stockés et oubliés alors qu'ils pèsent sur les comptes de résultats de l'entreprise. L'exemple des scalpés argileux est flagrant puisque, comme une GNT, ils comptabilisent achat ou forage, forage et minage, transport, scalpage, à nouveau transport et la remise en état. Certains évaluent ces coûts jusqu'à 8 €/tonne, alors que ces matériaux contiennent dans cette gangue argileuse des matériaux "nobles". Il est incontestable qu'à l'état naturel les applications en génie civil pour ces matériaux sont extrêmement limitées.

Pour un emploi en remblais ou en couches de forme (PIR ou PSR), ces matériaux doivent faire l'objet d'une classification GTR (guide des terrassements routiers). L'aptitude de ces matériaux au traitement à

la chaux vive est vérifiée à partir de l'essai décrit dans la norme NF P 94-100. Cette vérification est réalisée dans le cas d'un contexte géologique faisant apparaître des possibilités significatives de présence dans le matériau brut d'éléments perturbateurs (matières organiques, phosphates, chlorures, nitrates, sulfures et/ou sulfates, ces derniers étant responsables de la formation d'ettringite). L'aptitude peut être considérée comme acquise si le gonflement volumique du matériau préalablement traité reste inférieur ou égal à 5 % (cf. GTS - 2000). Les indices wOPN, IPI, I.CBR sont déterminés à l'état naturel et avec de la chaux. L'objectif est d'obtenir des valeurs critiques démontrant l'insensibilité à l'eau. La mise en œuvre des matériaux traités à la chaux serait faite conformément au Guide Setra "Remblayage des tranchées" de 1994 et à la norme NF P 98-331.

Séparation de l'argile des granulats

Comme cité précédemment, les matériaux argileux issus des découvertes de carrières ou du scalpage sont aussi composés de granulats pouvant avoir des applications tout aussi nobles que les bétons.

L'emploi de la chaux vive optimise la séparation mécanique par la déshydratation et la floculation. Une trémie de maturation ou un malaxeur longue durée est nécessaire pour atteindre le t_{60} et les premiers effets de la floculation. Une étude granulométrie du 0/D est un paramètre qui détermine les volumes d/D pouvant être ainsi récupérés.

La fraction 0/d traitée a des applications en remblais ou en couches de forme.

Des résidus de chaux vive sur la fraction d/D ont suscité certaines inquiétudes de la part des bétonniers, craignant une accélération des prises, la formation de calcites, etc.

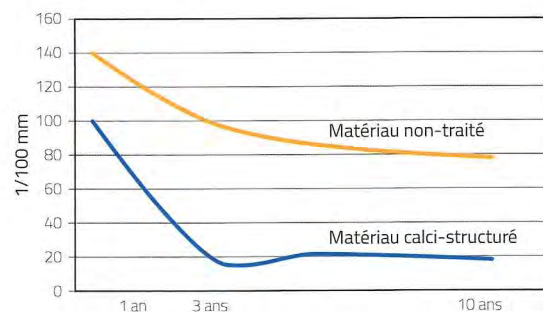
Une étude menée en collaboration avec le laboratoire Granulab de Toulouse a permis de déterminer une présence de chaux vive résiduelle. Les méthodes Leduc, et par analyse thermique, ont été choisies dans ce programme. Les objectifs étaient de faire varier à la fois la teneur en eau et la teneur en chaux. La présence de CaO n'a été détectée que sur 2 échantillons sur 6 de la fraction 0/D. Elle est totalement absente sur la fraction des gravillons (étude réalisée par Granulab).

Étude de valorisation à la chaux vive de graves calcaires 0/80c de scalpage, issues d'une carrière du Sud-Ouest.

Méthodes utilisées	Composés	X	1 % CaO			2 % CaO W % sèche		2 % CaO W % normale	
			6/D	0/2	2/D	0/2	2/D	0/2	2/D
Analyse thermique	% calcaire magnésien	65,6	75,3	76,7	87,3	84,4	78,6	81,5	
	% calcaire	33,8	13,9	21,2	7,3	10,4	15,4	16,7	
Titration à l'EDTA	% calcaire magnésien	61,9	71,9	75,1	82,5	81,1	73,8	77,4	
	% calcaire	30,7	12,7	18,5	10,6	12,5	11,2	12,6	
Méthode Leduc	% chaux vive	X	0,18	0	0	0	0,11	0	

Amélioration de la résistance des roches tendres

La chaux vive, en s'hydratant au contact des matériaux poreux humides, obstrue les aspérités par des formations de calcites. L'élévation du pH garantit l'insolubilité des bouchons et donc la pérennité de la résistance.



Evolution de la déflexion sur un calcaire traité avec 1 % de Proviacal.

MDE (micro Deval humide)	
Non traité	Après traitement
71,5	51,5

Traitement par voies mixtes

Concernant le traitement des sables, malgré les traitements mécaniques, certaines carrières se trouvent confrontées à des MB (masses de bleu) importantes liées à des inclusions argileuses dans le massif. La succession des différents broyages libère ces particules fines. Les applications se retrouvent restreintes à des enrobages de réseaux.

Les traitements de la chaux vont permettre de modifier le coefficient d'absorption et les équivalents de sable. Ainsi, ces matériaux auront des applications, telles que les solutions bitumineuses (enrobés à chaud, ECF, etc.) ou des bétons. Pour cela, plusieurs solutions de réactifs sont envisageables comme le montre le tableau.

	Wn maxi	Wn mini	Environnement
Chaux vive ultra fine	X		
Lait de chaux		X	
Chaux éteinte		X	X

Solutions de réactifs envisageables.

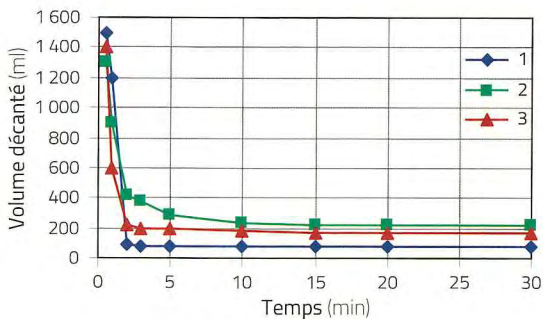
Une détermination des dosages se fait de manière empirique. À un certain pourcentage, un effet tampon est constaté (étude réalisée par Granulab, voir le tableau ci-après).

Le mélange se fait par l'introduction du pulvérulent (chaux vive UF ou chaux éteinte) à l'intérieur d'un malaxeur, dans un sable défillérisé ou pas. Il peut se faire par pulvérisation (lait de chaux) à la chute des matériaux.

MB exprimée en g/kg					
Etat traitement	Méthode	Sable 0/2c ECF		Sable 0/2c de tranchée	
		Mesure immédiate après chaulage	Mesure après 4 jours de maturation après chaulage	Mesure immédiate après chaulage	Mesure après 4 jours de maturation après chaulage
Naturel S1	NF EN 933-3 (1999) Séchage à 110° C	1,4		1,9	
S1 + 0,5 % Ca(OH) ₂		1,3		1,5	
S1 + 1 % Ca(OH) ₂		1,0		1,3	
S1 + 1,5 % Ca(OH) ₂		1,0		1,2	
S1 + 2 % Ca(OH) ₂		0,8		1,2	
S1 + 2,5 % Ca(OH) ₂		/		1,2	
S1 + 3 % Ca(OH) ₂		/		1,1	
Naturel S2	NF EN 933-A1 (2013) Pas de séchage > 45 °C	1,5		2,0	
S2 + 0,5 % Ca(OH) ₂		1,3		1,6	
S2 + 1 % Ca(OH) ₂		1,0	0,8	1,5	1,2
S2 + 1,5 % Ca(OH) ₂		0,9	0,8	1,5	1,1
S2 + 2 % Ca(OH) ₂		0,7	0,7	1,3	1,0
S2 + 2,5 % Ca(OH) ₂				1,3	
S2 + 3 % Ca(OH) ₂				1,2	
S2 + 3,5 % Ca(OH) ₂				1,2	
S2 + 4 % Ca(OH) ₂				1,2	
S2 + 4,5 % Ca(OH) ₂				1,2	
S2 + 6 % Ca(OH) ₂				1,1	

Traitement par voies mixtes

Concernant les traitements de boues, des essais en laboratoire ont permis de montrer l'impact positif du lait de chaux sur la cinétique de décantation et sur la clarification des eaux traitées. Le lait de chaux se caractérise par sa compatibilité avec les agents de coagulation-floculation. Le facteur sensible du traitement est l'impact sur le pH (> 10) qui peut limiter son application (étude réalisée par Lhoist et SNF).



Le lait de chaux étend la valorisation de presque tous les matériaux extraits, optimise les phases de décantation et de floculation des argiles en bassin. Il améliore la phase de déshydratation et aboutit à des gâteaux compacts, facilement extraits et transportables. Il autorise le recyclage d'une eau de lavage moins turbide et augmente la productivité de la carrière.

Neutralisation des eaux de procédé

De façon encore expérimentale, Lhoist mène une étude sur le traitement d'eau acide (tourbière) afin d'éviter une usure prématurée de l'outil de production. ■

Philippe Bienvenu, directeur commercial de Lhoist

Résultats d'essais des MB pour une étude réalisée par Granulab.

Échantillon n° 1				Échantillon n° 2			
Qté d'eaux en ml	Qté de Proviacal SLS 45 en kg	pH	%	Qté d'eau en ml	Qté de Proviacal SLS 45 en kg	pH	%
1 000	-	5,23		1 000	-	5,54	
2 000	-			2 000	0,000033	9,12	0,00165
3 000	-			3 000	0,000033	8,51	0,0011
4 000	0,00033	9,23		4 000	0,000033	7,75	0,000825
				5 000	0,000033	6,42	0,00066
				6 000	0,000033	5,99	0,00055
				7 000	0,000066	6,62	0,000942
				8 000	0,000066	8,00	0,000825



Scalpage de produits argileux.

Neutralisation des eaux de procédé.