
Revalorisation de gypse recyclé par calcination flash

Damien Gaudrel¹, Annabelle Phelipot-Mardele¹, Christophe Lanos¹, Marie Glorennec²

¹ UNIR, Université de Rennes 1, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique – EA 3913, 3 rue du Clos Courtel, 35704 Rennes, christophe.lanos@univ-rennes1.fr

² VEOLIA, 8 allée Adolphe Bobierre, 35709 Rennes, marie.glorennec@veolia.com

RÉSUMÉ. Le recyclage et la valorisation des déchets du BTP constituent aujourd'hui des enjeux environnementaux majeurs. Le gypse, très largement utilisé dans le bâtiment, génère environ 400 000 tonnes de déchets par an en France. L'activation thermique du gypse naturel ou de synthèse est bien connue et maîtrisée, notamment pour la production de plâtre ou d'anhydrite. Cette étude s'intéresse à la revalorisation par calcination flash d'un gypse provenant d'une installation de recyclage, à l'aide d'un four flash prototype aux paramètres de réglages multiples. Afin de comparer le comportement à l'activation thermique du gypse recyclé, un gypse plus « noble », issu d'un plâtre industriel hydraté est également utilisé. Différentes températures de cuisson ont permis d'obtenir des produits aux réactivités différentes. Les gypses initiaux ainsi que les produits cuits sont caractérisés par DRX et ATG. Les résultats montrent que les comportements d'un gypse « noble » issu d'un plâtre industriel hydraté et d'un gypse recyclé sont semblables lors de l'activation thermique par calcination flash. Cette étude conduit à identifier les conditions de calcination permettant d'atteindre différentes phases hydratées ou anhydres du sulfate de calcium.

ABSTRACT. Nowadays, recycling and recovery of construction waste are major environmental issues. Gypsum, which is widely used in construction industry, generates around 400 000 tons of waste per year in France. Thermal activation of gypsum is well known and controlled, especially for the implementation of plaster or anhydrite. This study focuses on the recovery by flash calcination of a recycled gypsum from a gypsum recycling factory, using a flash furnace prototype allowing multiple adjustment parameters. In order to compare the thermal activation behaviour of recycled gypsum, a "noble" gypsum, derived from a hydrated industrial plaster is also used. Different calcination temperatures allowed to obtain multiphase products with different degree of reactivity. The raw gypsums as well as calcined materials are characterized by XRD and TGA. The results highlight a similar behaviour regarding the thermal activation by flash calcination between a "noble" gypsum and a recycled one. This study leads to identify the calcination conditions in order to reach the different hydrated or anhydrous calcium sulphate phases.

MOTS-CLÉS : gypse, recyclage, valorisation, calcination.

KEY WORDS : gypsum, recycling, recovery, calcination.

1. Introduction

De nos jours, le recyclage et la valorisation des déchets du BTP sont des enjeux environnementaux majeurs. Les déchets du BTP sont estimés par l'ADEME à 227,5M tonnes en 2014 dont 42,2M tonnes pour le Bâtiment [ADE 17]. Le gisement de déchets de gypse est estimé quant à lui à environ 400 000 tonnes par an [ACT 13]. Depuis 2008, les industriels du plâtre se sont engagés dans le développement d'une filière de recyclage des produits de plâtre en fin de vie ; ainsi, les tonnages recyclés sont passés respectivement de 10 000 à 91 000 tonnes de 2008 à 2017 [BAT 18]. Aujourd'hui, seuls les déchets de plâtre ne contenant pas de complexes isolants peuvent être valorisés, diminuant par conséquent le gisement réellement recyclable. Par ailleurs, les normes et législations environnementales seront de plus en plus restrictives sur nos impacts environnementaux. En particulier, les coûts d'enfouissement ne cessent d'augmenter à cause de la saturation des exutoires et de l'augmentation de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP). De nouvelles technologies de recyclage permettent aujourd'hui de traiter ces flux de gypses complexés. Dans ce contexte, la présente étude se propose d'étudier la revalorisation d'un gypse recyclé, provenant d'une installation de recyclage, par activation thermique. En effet, une fois soumis à la chaleur ($T > 100^{\circ}\text{C}$), le gypse (phase di-hydratée du système CaSO_4), conduit à une série de produits partiellement hydratés ou anhydres : l'hémi-hydrate, ou plâtre ; l'anhydrite III, dite anhydrite soluble ; l'anhydrite II et l'anhydrite I. Le plâtre est facilement ré-hydratable pour reformer par dissolution/recristallisation du gypse. Ce phénomène de déshydratation/hydratation est une propriété du gypse faisant de lui un matériau théoriquement recyclable indéfiniment.

2. Matériaux et méthodes

2.1. Matériaux utilisés

Deux gypses sont retenus pour cette étude. Un gypse recyclé provenant d'une usine de recyclage de gypse, référencé G-R, issu de la collecte de déchets de chantiers et de déchetteries aux sources multiples (plaques et carreaux de plâtre). Après traitement, le gypse recyclé est valorisé en deux fractions de granulométrie différente. Pour cette étude, seule une fraction est étudiée (granulométrie initiale 0/5 mm). Le second matériau est un gypse issu d'un plâtre industriel hydraté (Placoplâtre© Molda 3N), référencé G-M. Ce dernier est utilisé ici comme témoin afin de comparer le comportement à la réactivation thermique d'un gypse recyclé avec celui d'un gypse « noble ». Les deux matériaux ont été broyés et tamisés à $500\mu\text{m}$ afin de les conditionner en vue de la cuisson flash.

2.2. Méthodes

2.2.1. Calcinateur flash

La valorisation par activation thermique est réalisée par calcination flash. Un four flash prototype développé par le laboratoire permet des cuissons de ce type, sur produits pulvérulents secs ($< 500\mu\text{m}$), comprises entre 150 et 900°C . Un schéma de fonctionnement général est présenté en Figure 1. La durée de calcination des particules, correspondant au temps de séjour dans la colonne de calcination, est de l'ordre de $0,3$ s à $1,5$ s. Les paramètres de contrôles du four, afin d'optimiser les produits de cuisson, sont nombreux : puissance du brûleur, débits d'air, débit de matière, pression. Ils sont mesurés à l'aide de capteurs et enregistrés sur une centrale d'acquisition afin de pouvoir analyser l'évolution de ces données au cours du temps ainsi que l'évolution des températures mesurées à différentes positions dans la colonne de calcination.

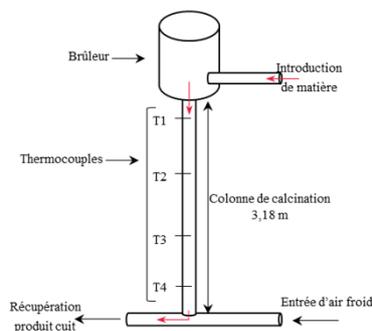


Figure 1. Schéma de principe du four flash.

2.2.2. Campagne d'essais sur four flash

Pour cette étude, quatre différentes températures de calcination ont été choisies. Ces températures sont appliquées en consigne sur le thermocouple T4 (cf. Figure 1.). Une température moyenne est évaluée en calculant la moyenne pondérée des températures sur la durée totale de l'essai. Les températures de réactivation thermique de l'étude sont données ci-dessous.

Tableau 1. Températures de consignes et moyennes des essais de réactivation thermique des gypses.

T° consigne (°C)	T° moyenne (°C)	
	G-M	G-R
220	229,2	231,3
380	404,5	404,3
540	562,0	560,6
700	733,7	728,3

2.2.3. Caractérisation des gypses initiaux et des produits de cuisson

Les gypses bruts ainsi que les produits de cuisson sont caractérisés par diffraction aux rayons X et analyse thermogravimétrique. La diffraction aux rayons X est réalisée sur un diffractomètre θ - θ PANalytical X'PERT PRO MPD équipé d'un tube PANalytical à anticathode de Cu (45kV-40mA) filtré par du Ni ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$), les enregistrements ont été effectués entre 5° et 75° en 2θ . L'analyse thermique est effectuée à l'aide d'une ATG-TD « Pyris Diamond » de Perkin Elmer, sous Azote entre 25 et 950°C avec une rampe de chauffe de $5^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, deux paliers isothermes de 15 et 25 minutes sont effectués respectivement à 45°C et 200°C afin d'accéder à l'humidité libre et l'eau liée, et un palier de 15 minutes sous air synthétique est réalisé à 950°C .

3. Analyse des résultats

Les produits de cuisson obtenus sont référencés selon la température de consigne imposée (sur le thermocouple T4 du four flash), précédés de la mention G-M ou G-R.

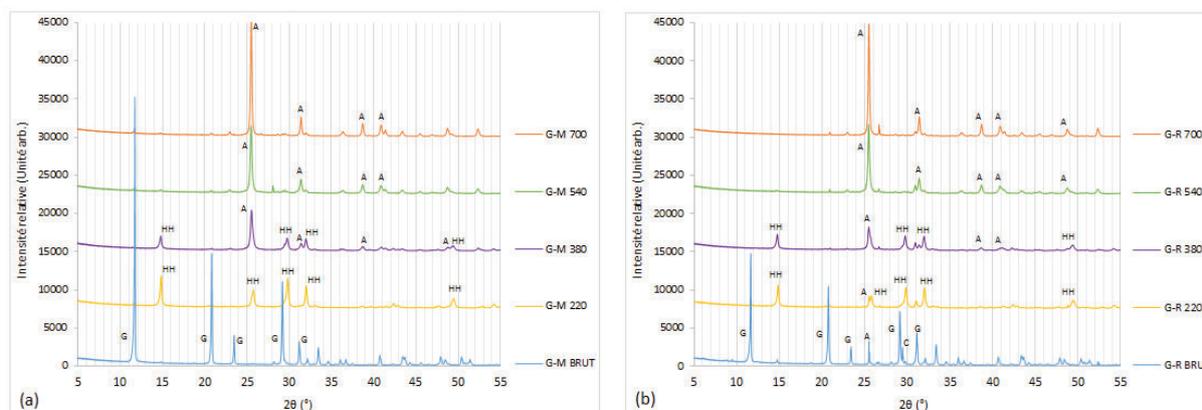


Figure 2. Diffractogrammes des gypses G-M et G-R suivant leurs températures de réactivation thermique ; (a) Gypse G-M et (b) Gypse G-R ; G : gypse, HH : héli hydrate, A : anhydrite, C : calcite.

La diffraction aux rayons X nous permet d'observer les changements de phases cristallines subis par les gypses G-M et G-R après leurs différentes conditions de cuisson flash. Ainsi, on observe sur le gypse recyclé brut G-R des traces d'anhydrite et de calcite, non présentes sur le gypse G-M. Le passage vers l'héli-hydrate est effectif dès la température de consigne de 220°C et ce pour les deux gypses. A la température de cuisson de 380°C , l'apparition de l'anhydrite est observée avec toujours la présence des pics associés à l'héli-hydrate (intensité moins forte). Les produits obtenus pour cette température semblent donc au minimum bi-phasiques. A partir de 540°C , les pics observés des produits de cuisson sont ceux de l'anhydrite uniquement, avec une intensité plus marquée pour la cuisson à 700°C .

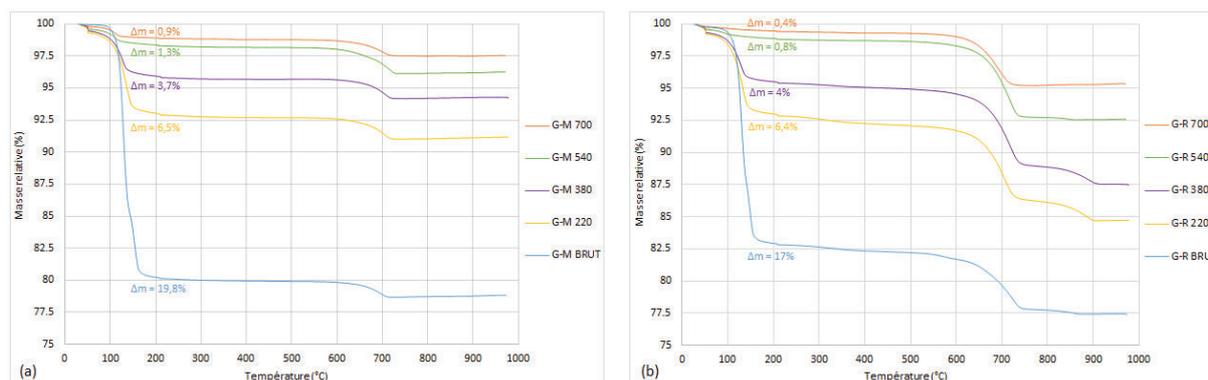


Figure 3. Analyses thermogravimétriques des gypses G-M et G-R suivant leurs températures de réactivation thermique ; (a) Gypse G-M et (b) Gypse G-R ; Δm : perte de masse entre 45 et 200°C.

Les analyses thermogravimétriques des gypses bruts et de leurs produits post cuisson nous donnent accès aux puretés des gypses bruts et aux déshydratations atteintes lors des cuissons flash. Ainsi, on constate sur les gypses bruts des puretés différentes, respectivement 94,7% et 81,3% pour les gypses G-M et G-R, calculées suivant la perte de masse théorique de 20,9% d'eau liée du gypse pur [ARA 12].

Les déshydratations atteintes sont sensiblement les mêmes pour les deux gypses et aux différentes températures de cuisson. La calcination à 220°C permet d'atteindre une teneur en eau des produits de cuisson de l'ordre de 6,5%, l'eau de liaison de l'hémi-hydrate étant de 6,2%, et compte tenu des puretés initiales des gypses, on peut conclure qu'il persiste du gypse dans les produits obtenus. A 380°C, la teneur en eau de l'ordre de 4%, combinée à la diffraction aux RX, nous permet de dire que l'on est en présence d'hémi-hydrate et d'anhydrite (III et II), ce qui a déjà été constaté dans la bibliographie [ARA 12]. Les calcinations à 540 et 700°C font apparaître une faible teneur en eau des produits résultants, la phase majoritaire est l'anhydrite.

4. Conclusion

La revalorisation de gypse recyclé par activation thermique a été réalisée avec un four flash prototype permettant de nombreux contrôles sur les conditions de cuisson. Ce type d'appareil est caractérisé par un temps de cuisson bref (< 2 s). Les essais réalisés sur les produits de cuisson des gypses étudiés permettent de montrer un comportement semblable entre un gypse « noble » issu d'un plâtre industriel hydraté et un gypse recyclé multi-sourcés, lui donnant un fort potentiel de revalorisation. Ce type de cuisson semble par ailleurs générer des produits multiphasiques selon les températures de calcination. Ces essais ont permis de cibler les températures de calcination permettant de produire les différentes phases du sulfate de calcium plus ou moins réactives. Les produits mis en œuvre seront caractérisés selon la norme des liants-plâtres et enduits à base de plâtre pour le bâtiment, NF EN 13279 afin de qualifier leur réactivité, propriétés rhéologiques et mécaniques.

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier VEOLIA et l'ADEME pour le cofinancement de ce projet de recherche.

6. Bibliographie

[ACT 13] « La valorisation des déchets de plâtre : un exemple d'économie circulaire à suivre », Actu-environnement.com, Janvier 2013. Consulté sur : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/jean-yves-burguy-valorisation-dechets-platre-economique-circulaire-17410.php4>

[ADE 17] BORDEBEURE S., Déchets du Bâtiment, Fiche technique, Septembre 2017, ADEME.

[ARA 12] ARANDA B., Réactivité et durabilité à base de sulfate de calcium et de liants minéraux classiques, Thèse de doctorat, INSA Rennes, 2012.

[BAT 18] « Le recyclage du plâtre en hausse en 2017 », Batiactu.com, Avril 2018. Consulté sur : <https://www.batiactu.com/edito/recyclage-platre-hausse-2017-52596.php>