

REACTIVITE DES CENDRES VOLANTES DE CORDEMAIS : PROPRIETES POZZOLANQUES

Par

Mourad TEMIMI

Chercheur, Laboratoire GTMa, INSA de Rennes, France

Résumé

L'un des effets bénéfiques que peuvent procurer les cendres volantes dans le domaine de la construction est leur pouvoir pouzzolanique. Autrement dit leur aptitude à fixer de l'hydroxyde de chaux (Ca(OH)_2), en présence d'eau et à température ordinaire, pour donner naissance à des composés hydratés stables, très peu solubles dans l'eau et semblables à ceux qui se forment par hydratation du ciment.

Dans cet article, il est question d'estimer la réactivité des cendres volantes de la centrale thermique de Cordemais (Loire Atlantique, France). Aussi, en fonction des résultats obtenus, pourra-t-on se prononcer quant à l'utilisation de ces cendres dans le domaine des produits argileux stabilisés à froid, produits nouveaux, relativement aux briques cuites ou aux agglomérés par exemple.

Mots clés : cendres volantes • hydroxyde de chaux • pouvoir pouzzolanique.

1 INTRODUCTION

Les cendres volantes sont des sous-produits industriels assez largement utilisés en génie civil [1] [2], eu égard essentiellement à leur faible coût d'une part et, d'autre part, aux propriétés physico-chimiques intéressantes qu'elles peuvent développer. L'une de ces propriétés est la pouzzolanité, qui se constate à des degrés variables, selon la composition chimique, la constitution minéralogique et la finesse de la cendre [3] à [5]. L'évaluation de cette propriété, dans le cas des cendres volantes de Cordemais, permet de justifier leur emploi dans les argiles stabilisées à froid par un liant. Dans ce qui suit, il est rendu compte de cette évaluation faite à partir de deux méthodes : l'une chi-

mique, ayant trait à la détermination de la proportion de chaux fixée par la cendre, et l'autre technologique, permettant la mesure des résistances mécaniques d'échantillons de mortiers avec et sans cendres.

2 MATERIAUX UTILISES

- Cendres volantes

Les cendres utilisées dans le cadre de ce travail ont été fournies par la centrale thermique de Cordemais (Loire Atlantique). Leurs propriétés physico-chimiques sont données par le tableau 1.

- SiO_2	42 à 54%
- Al_2O_3	22 à 32%
- Fe_2O_3	4 à 15%
- CaO	2 à 7%
- MgO	1 à 3%
- Na_2O	0.5 à 5%
- K_2O	1 à 5%
- SO_3	0.2 à 2%
- Imbrûlés	2.5 à 7%
- Granularité	0.5 à 200 μm
- Surface spécifique "Blaine" des grains	3 000 à 5 000 cm^2/g
- Densité réelle	1.90 à 2.40
- Densité apparente	0.50 à 0.80
- Densité absolue	2.65 à 2.80
- Solubilité à l'eau	nulle
- Fusion	1 250 - 1 500°C

Tableau 1 : Propriétés des cendres volantes de Cordemais.

- Liants

Trois types de liants ont été utilisés ; un ciment CPA 55, une chaux hydraulique artificielle "Lafarge 100", définis dans les normes françaises [6], et une chaux aérienne calcique éteinte, dont les caractéristiques physico-chimiques sont regroupées dans le tableau 2.

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$	91.34%
- CaCO_3	4.62%
- Insolubles (dans HCl)	0.12%
- Constituants clinkérisés	3%
- Refus au tamis de 80 μm	20%
- Surface spécifique "Blaine" des grains	14 000 cm^2/g
- Masse volumique	2.20 g/cm^3

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques de la chaux aérienne.

- Sable

Il s'agit d'un sable naturel, siliceux, propre, à grains arrondis et sec ; c'est un sable dit normal, utilisé pour la confection du mortier normal [7].

3 RESULTATS OBTENUS

3.1 Par détermination chimique

Afin de prouver la réalité de la réaction pouzzolannique, il faudra montrer que la chaux d'apport se consomme dans le milieu réactionnel. Pour ce faire, la méthode utilisée est celle recommandée par l'ISO [8]. L'essai consiste à laisser réagir à 40°C pendant 8 jours, 20 g de ciment en contact avec 100 ml d'eau distillée et à doser au terme de l'essai le calcium total et l'alcalinité totale dans le filtrat. La position du point représentatif de la solution analysée sur le diagramme "Alcalinité totale - Calcium-total", au dessus ou au dessous de la courbe de solubilité de l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), permet d'affirmer si le liant examiné présente un caractère pouzzolannique. Les liants analysés dans notre cas sont de deux types, selon la teneur en cendres qu'ils renferment : un ciment CPA 55 à 15% de cendres et un autre à 30%.

La figure 1 montre, en plus des points représentatifs correspondant à la durée de 8 jours définie par l'ISO, d'autres points pour des périodes allant de 1 heure à 28 jours. Les deux courbes concernant les liants aux cendres coupent la courbe de solubilité théorique entre 3 et 5 jours. A 8 jours, et dans les deux cas, les points représentatifs se situent nettement au dessous de la courbe de solubilité de $\text{Ca}(\text{OH})_2$; ce qui permet

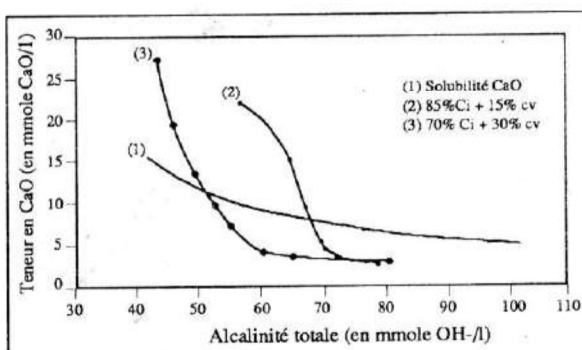


Figure 1 : Teneur en CaO de la solution en contact avec les liants (ci = ciment "CPA 55" ; cv = cendres volantes).

d'avancer que les deux liants sont pouzzolaniques.

Un autre essai de caractérisation de l'activité pouzzolannique de la cendre a été effectué et vient étayer le résultat précédent ; il s'agit de l'essai Chapelle [9]. Celui-ci consiste à déterminer la proportion de chaux consommée par la réaction pouzzolannique après 16 heures d'ébullition d'un mélange de 250 cm^3 d'eau distillée, 1 g de cendre et 1 g de chaux. La quantité de chaux résiduelle dosée à la fin de l'essai, n'est plus que de 70% environ de la quantité de chaux aérienne introduite initialement ; ce qui confirme la fixation de la chaux par la cendre.

3.2 Par évaluation des propriétés mécaniques

Si la détermination chimique fournit des indications utiles pour suivre la cinétique de fixation et la quantité de chaux "fixable", condition nécessaire à l'activité pouzzolannique, elle demeure en soi insuffisante ; elle ne donne qu'un indice d'activité potentiel. C'est pourquoi les tests précédents sont complétés par des essais mécaniques. Ces derniers sont effectués sur des séries d'échantillons de mortier, les uns contenant comme matière liante du liant pur, et les autres un mélange liant-cendres ou liant-"inertes" (échantillons témoins). Dans ce dernier cas, la partie "inertes" caractérise les éléments qui n'ont aucune action chimique sur le liant en présence d'eau tels que les granulats quartzeux.

Les compositions des différents mélanges sont consignées dans le tableau 3. Les modes de fabrication et de conservation des éprouvettes (prismatiques 4 x 4 x 16 cm^3) sont définis suivant les prescriptions des normes AFNOR [10] [11]. Les valeurs de rupture en traction par flexion et en compression sont respectivement relevées sur 3 éprouvettes et sur les 6 demi-éprouvettes résultant de l'essai de flexion. Le résultat retenu pour chacun des cas est une moyenne de ces valeurs.

Les courbes des figures 2 et 3 montrent l'évolution des résistances des différents mortiers au cours du temps. Pour la même proportion de liant (ciment ou chaux hydraulique), les éprouvettes de mortier consti-

$$\frac{\text{Liant + (cendres ou inertes)}}{\text{Eléments secs}} = 25\%$$

$$\frac{\text{Sable}}{\text{Eléments secs}} = 75\%$$

$$\frac{\text{eau}}{\text{Liant + (cendres ou inertes)}} = 0.5$$

Liant (CPA 55 ou Chaux hydraulique) (%)	100	85	70	55
Cendres volantes ou inertes(%)	00	15	30	45

Tableau 3 : Compositions des mortiers.

tuées de liant-inertes et celles qui contiennent les cendres présentent, aux courtes échéances et jusqu'à 28 jours d'âge, des résistances de même ordre de grandeur. Durant cette période, les cendres semblent se comporter comme une matière inerte. Au delà de 28 jours, alors que la valeur maximale de la résistance des mélanges témoins est pratiquement atteinte, les résistances des échantillons contenant les cendres continuent à progresser si bien qu'elles deviennent plus élevées. Cet accroissement des résistances mon-

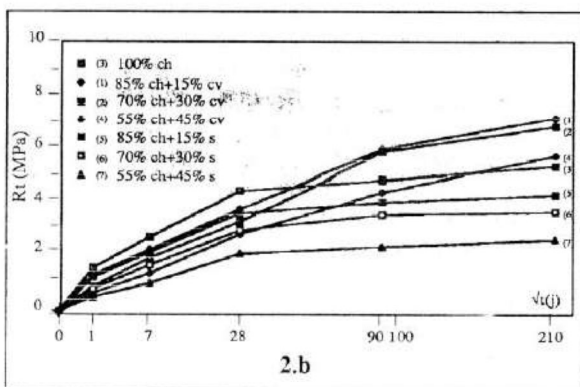
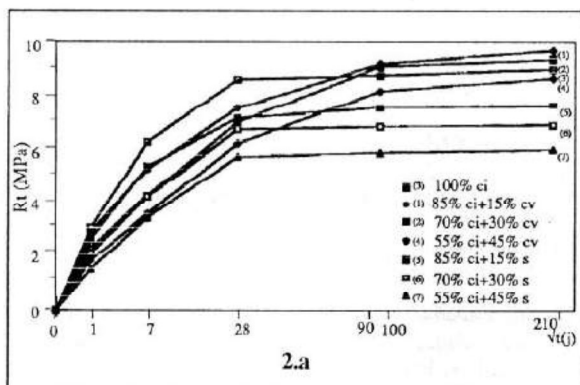


Figure 2 : Evolution des résistances à la traction par flexion (R_t) des mortiers en fonction du temps ; (a) ciment, (b) chaux
(ci = ciment "CPA 55" ; ch = chaux hydraulique ; cv = cendres volantes ; s = sable).

tre que les cendres manifestent une réactivité due à leur caractère pouzzolanique et intervenant après 28 jours de durcissement environ.

Même les performances des mortiers à 100% de liant sont rattrapées puis, suivant le pourcentage de cendres ajoutées, dépassées (à 90 jours). Cela est bien illustré par les courbes d'évolution des résistances des mortiers durcis à différentes échéances en fonction de leur composition (Figures 4 et 5).

C'est le cas des éprouvettes dans lesquelles 15% et 30% de liant ont été remplacés par les cendres.

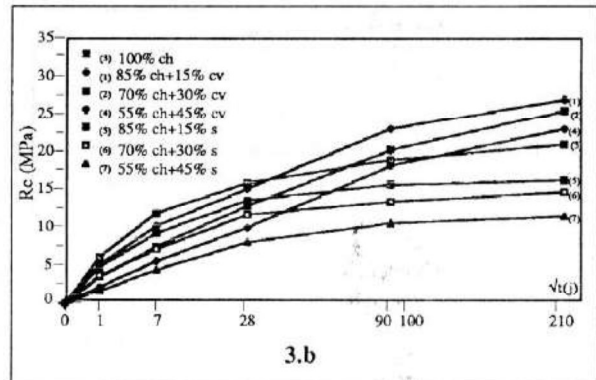
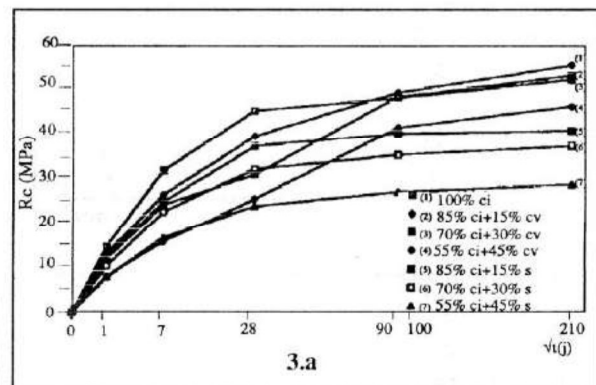


Figure 3 : Evolution des résistances à la compression (R_c) des mortiers en fonction du temps ; (a) ciment, (b) chaux.

CONCLUSION

Cette étude permet d'apprécier l'action des cendres volantes entrant dans la composition des mortiers. Elles se comportent, d'une part, comme des "inertes" et, d'autre part, comme un matériau pouzzolanique. Par ailleurs, connaissant l'amélioration des comportements des matériaux argileux stabilisés à froid par un liant que peut apporter une addition de sable (considéré comme un inerte) [12] [13], il

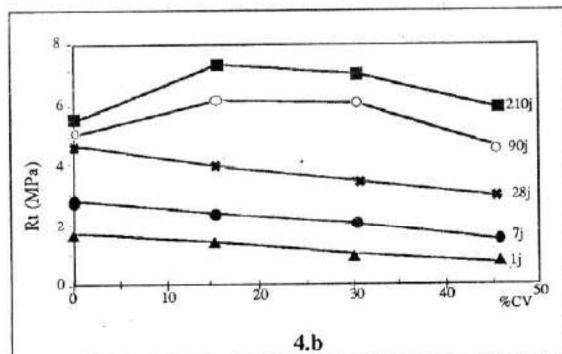
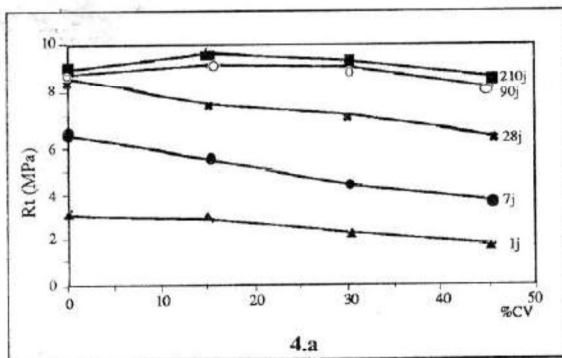


Figure 4 : Evolution des résistances à la traction par flexion (Rt) des mortiers en fonction de leur composition ; (a) ciment, (b) chaux.

● (1) ✕ (2) ▲ (3) ■ (4) ○ (5)

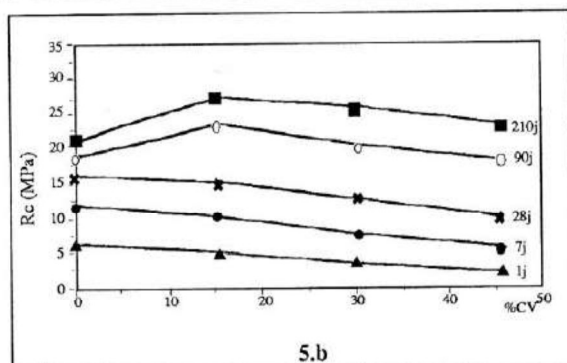
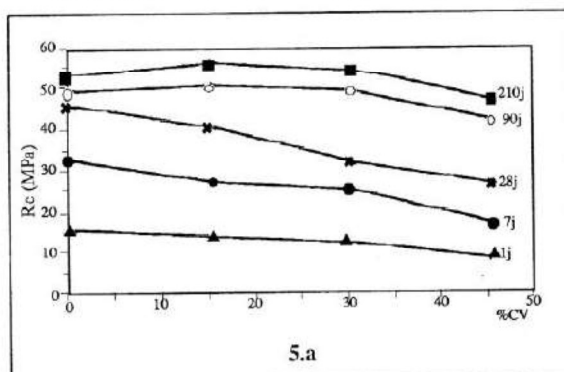


Figure 5 : Evolution des résistances à la compression (Rc) des mortiers en fonction de leur composition ; (a) ciment, (b) chaux.

est aisé d'imaginer que les cendres pourraient contribuer au développement des caractéristiques de tels matériaux. Cette question constitue l'objet d'une autre étude ②

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Jarrige : "Les cendres volantes. Propriétés Applications industrielles". Ed. Eyrolles, Paris, 1971.
- [2] M. Venuat : "Adjuvants et traitements. Techniques modernes d'amélioration des ouvrages en béton". Autoed., 1984.
- [3] F. Massazza : "Chemistry of pozzolanic additions and mixed cements". Communication principale, VIe Congrès Intern. de la chimie du ciment, Moscou, 1974.
- [4] J. Millet et R. Hommey : "Etude minéralogique des pâtes pouzzolanes-chaux". Bull. Liaison. Labo. P. et Ch., 74, pp. 59-63, 1974.
- [5] H.S Pietersen et J.M Bijen : "Reactivity of low Ca fly ash in cement". Proceedings of the Intern. Conf. on Envir. Implic. of Constr. with Waste Materials, Maastricht (The Netherlands) 10-14 Nov. 1991, Elsevier Ed., pp. 651-654, Amsterdam, 1991.
- [6] Normes NF P 15-300 à 15-312, Ed. AFNOR, Paris.
- [7] Normes NF P 15-403, Ed. AFNOR, Paris, 1963.
- [8] ISO / TC 74, n° 1156.
- [9] M. Papadakis et M. Venuat : "Manuel du laboratoire d'essais des ciments, mortiers, bétons", Ed. Eyrolles, Paris, 1969.
- [10] Normes NF P 15-403, Ed. AFNOR, Paris, 1963.
- [11] Normes NF P 15-401, Ed. AFNOR, Paris, 1963.
- [12] M. Mimoun : "Etude de matériaux composites argile-ciment-fibres", Thèse de Doctorat, INSA de Rennes, 1987.
- [13] J.P Molard : "Contribution à l'étude de la stabilisation des produits en argile-ciment fabriqués par extrusion : étude des mélanges à base d'argiles monominérales". Thèse de Doctorat 3° cycle, INSA de Rennes, 1986.