

Les calendriers de construction de plus en plus serrés conduisent souvent à limiter les délais de pose des finitions et, donc, le temps de séchage des chapes (et des bétons en général). Or, une teneur excessive en eau résiduelle dans ces dernières constitue, dans bien des cas, une source de dégâts pour des finitions telles que les revêtements de sol souples, parquets, revêtements résineux, ...



✎ E. Cailleux, dr., chef de projet, E. Coppens, ir., chercheur, E. Noirfalisse, ir., chef de projet, et V. Pollet, ir., chef adjoint du département, département 'Matériaux, technologie et enveloppe', CSTC

Dans le cadre d'une recherche prénormative, plusieurs techniques de mesure d'humidité ont été étudiées et comparées. Bien que l'ef-

ficacité et la fiabilité de certaines d'entre elles doivent encore être corroborées, nous livrons ci-après un état des connaissances acquises durant la première phase de recherche.

Les chercheurs se sont également penchés sur la manière de réduire le temps de séchage d'une chape en adaptant sa composition et/ou ses conditions de séchage. Pour ce faire, la teneur en humidité de diverses chapes dans un climat intérieur contrôlé a été mesurée à intervalles fixes. Les résultats obtenus nous ont finalement permis de formuler quelques recommandations pour le séchage des chapes.

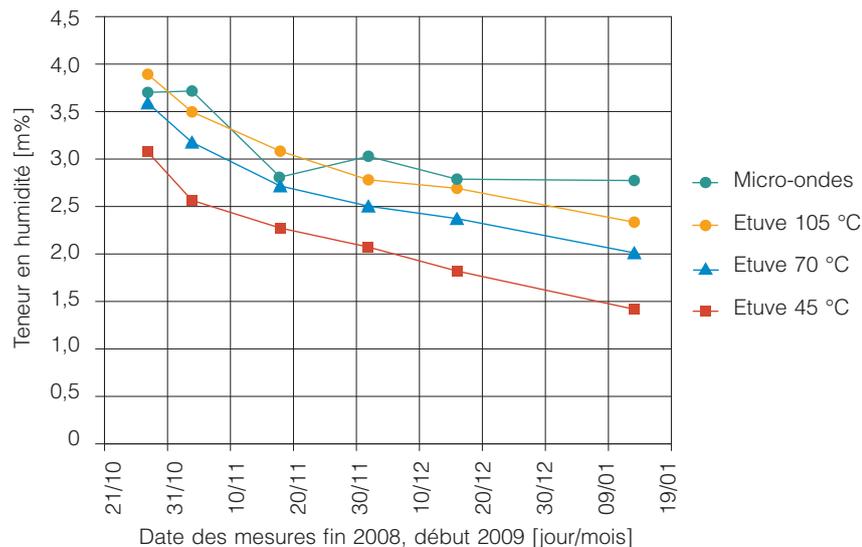


Fig. 1 Influence de la méthode et de la température de séchage sur le résultat.

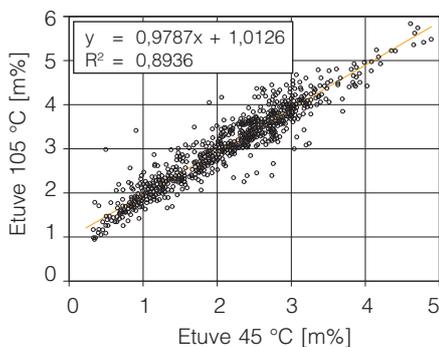


Fig. 2 Corrélation entre les résultats des étuves à des températures de 45 et 105 °C.

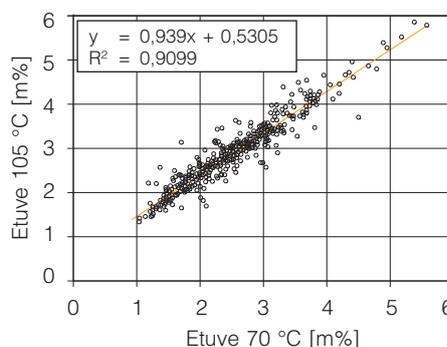


Fig. 3 Corrélation entre les résultats des étuves à des températures de 70 et 105 °C.

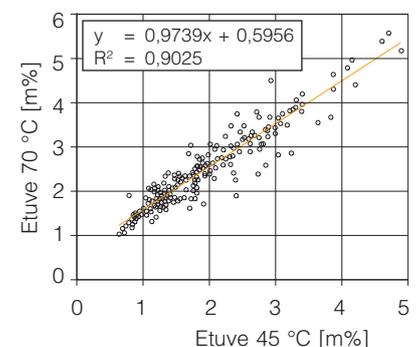


Fig. 4 Corrélation entre les résultats des étuves à des températures de 45 et 70 °C.

1 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN HUMIDITÉ

De nombreux appareils de mesure sont disponibles sur le marché. Les techniques de mesure étudiées peuvent être classées par catégories sur la base des deux critères suivants :

- leur caractère destructif ou non : il existe des méthodes destructives, peu destructives et non destructives
- le résultat final. On distingue les méthodes qualitative et quantitative. Il est possible par ailleurs de différencier pour cette dernière les méthodes donnant une valeur pour le taux d'émission de vapeur d'eau de la chape, pour la teneur en humidité de l'échantillon ou pour l'humidité relative de l'air en équilibre hygrothermique avec la chape.

Effectuer une mesure gravimétrique avant et après le séchage constitue une méthode très fiable pour déterminer la teneur en humidité, à condition d'utiliser un échantillon représentatif. Elle a dès lors été utilisée comme méthode de référence au cours de la recherche (§ 1.1). Au point § 1.2, nous livrerons un aperçu de quelques autres méthodes normalisées et quantitatives applicables sur chantier. Les résultats de ces méthodes seront également comparés avec ceux de la méthode gravimétrique de séchage en étuve.

1.1 MÉTHODE DE RÉFÉRENCE

La méthode gravimétrique consiste à prélever

un échantillon de matériau, à le peser à l'état humide, puis à le faire sécher dans une étuve ventilée et à température contrôlée jusqu'à ce qu'il atteigne une masse constante. La teneur en eau du matériau est égale à la différence entre les masses humide et sèche, divisée par la masse sèche. Le séchage en étuve peut être effectué à des températures diverses pouvant à chaque fois fournir des résultats différents. Les valeurs généralement utilisées sont les suivantes : 45, 70 et 105° C.

Les résultats d'une série de mesures gravimétriques nous ont permis de constater que la teneur en eau est fonction de la température de séchage : plus celle-ci est élevée, plus le taux d'humidité l'est également. Les figures 1 à 4 de la page précédente illustrent ces corrélations à diverses températures.

Etant donné qu'il n'est pas toujours possible de disposer d'une étuve (sur chantier, p. ex.), un four à micro-ondes peut être utilisé pour sécher l'échantillon. Bien que cette solution n'ait pas encore été étudiée en détails, les premiers essais effectués de la sorte ont déjà pu fournir des résultats prometteurs.

1.2 AUTRES MÉTHODES DE MESURE

1.2.1 Sonde hygrométrique

Cette méthode consiste à introduire une sonde d'humidité dans une cavité préalablement forée dans la chape (cf. figures 5 à 7). Ensuite, une fois que le système est stabilisé, l'humidité relative est mesurée à l'intérieur de cette cavité.

Cette méthode de mesure est notamment prescrite par les normes française NF DTU 53.2, partie 1-1 [5], et américaine ASTM F 2170-09 [2]. Une variante consiste à déterminer le taux d'humidité relative d'un volume d'air confiné situé au-dessus de la surface de la chape. Cette méthode est décrite notamment dans la norme britannique BS 8203 [3].

Lorsque l'humidité relative est stabilisée, on peut supposer que la fin de la période de séchage a été atteinte (cf. figure 8). A noter que l'humidité relative finale dépend des conditions atmosphériques.

1.2.2 Bombe à carbure

Cette méthode de mesure destructive fréquemment utilisée consiste à prélever un échantillon de la chape, à le casser en petits morceaux, à en déterminer la masse et à le placer dans un récipient fermé (la bombe à carbure illustrée à la figure 9, p. 3) contenant des ampoules de carbure de calcium. La teneur en humidité de la chape peut ensuite être déterminée en mesurant, dans le récipient, la pression produite par un gaz

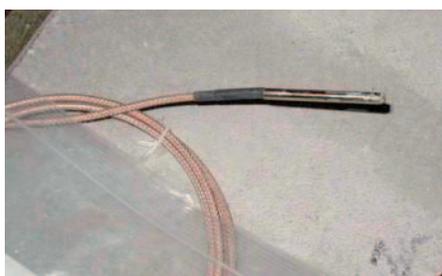


Fig. 5 Exemple de sonde hygrothermique.



Fig. 6 Sonde hygrothermique placée horizontalement dans la chape.

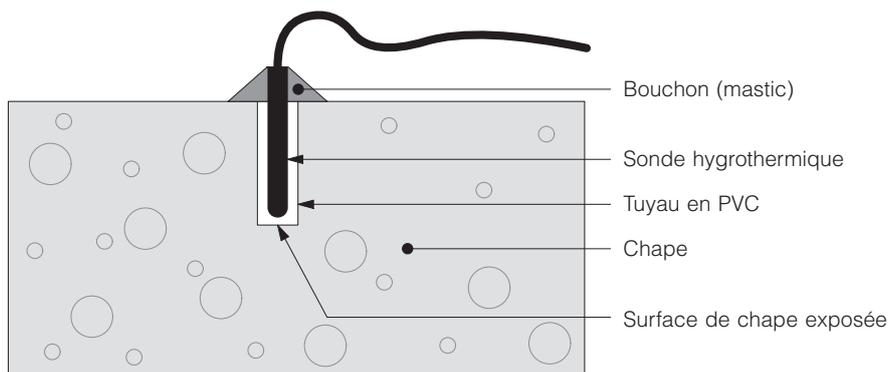


Fig. 7 Représentation schématique d'une sonde hygrothermique placée verticalement dans la chape.

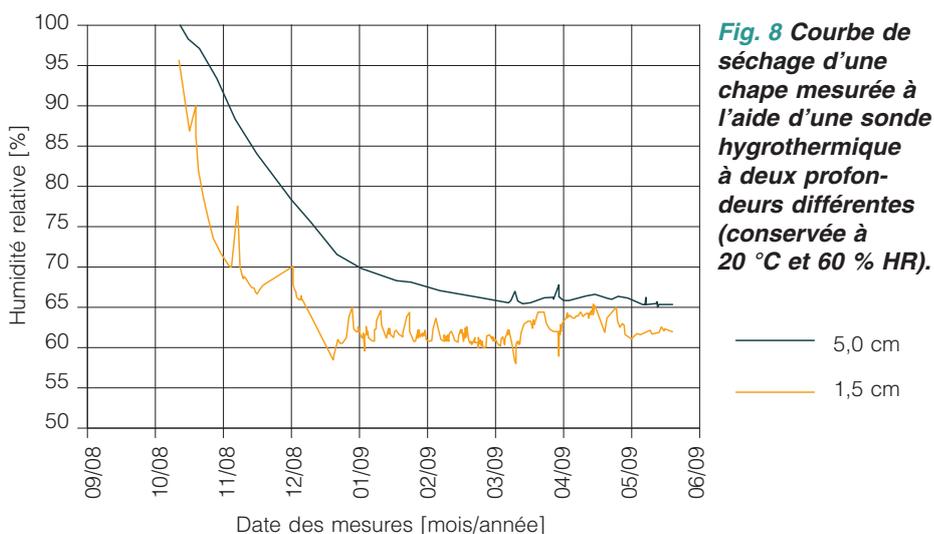
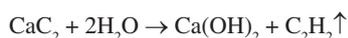


Fig. 8 Courbe de séchage d'une chape mesurée à l'aide d'une sonde hygrothermique à deux profondeurs différentes (conservée à 20 °C et 60 % HR).

(l'acétylène, C₂H₂) issu de la réaction entre le carbure de calcium (CaC₂) et l'eau (H₂O). Cette réaction peut être exprimée comme suit :



Diverses mesures ont été effectuées sur des échantillons de forme cubique prélevés au-dessus, en-dessous et au milieu de la chape. Tout comme pour l'étuve et la sonde hygrothermique, les résultats révèlent qu'un gradient d'humidité prononcé peut être constaté (la chape est plus sèche à la surface qu'en son centre). Après la mesure au carbure de calcium, les échantillons prélevés au burin à la partie inférieure de la chape ont fourni des

résultats comparables à ceux des échantillons cubiques provenant du milieu de la chape.

Les résultats de cette méthode de mesure étaient systématiquement inférieurs à ceux obtenus par séchage dans une étuve à 45 °C. Une corrélation entre les résultats des deux méthodes a néanmoins pu être établie (cf. figure 10, p. 3).

1.2.3 Mesure du taux d'émission de vapeur d'eau avec du chlorure de calcium (CaCl₂)

Cette méthode de mesure non destructive



Fig. 9 Exemple de bombe à carbure.

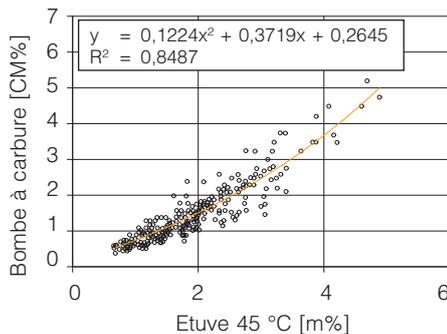


Fig. 10 Corrélation entre les résultats d'une mesure au carbure de calcium et d'une mesure dans une étuve à 45 °C.

prescrite par la norme américaine ASTM F 1869 [1] permet de déterminer la quantité de vapeur d'eau émise par la chape. Cet essai (pouvant également être réalisé in situ) consiste à placer des cristaux de chlorure de calcium (CaCl₂) sous une cloche parfaitement scellée à la chape et à mesurer la variation de poids des cristaux fortement hygroscopiques (cf. figure 11).

Les mesures du taux d'émission de vapeur d'eau se déroulent comme les mesures effectuées avec une sonde hygrométrique. Le temps de stabilisation de l'émission de vapeur d'eau est à peu près le même que celui de l'humidité relative. Nous avons également constaté que cette stabilisation s'est faite à un taux d'émission de vapeur d'eau supérieur à



Fig. 11 Poste d'essai pour la mesure du taux d'émission de vapeur d'eau.

celui indiqué dans la norme américaine précitée.

Cette norme nous apparaît trop stricte au premier abord vu les valeurs de teneurs en eau mesurées avec les autres méthodes. L'établissement d'un équilibre avec les conditions atmosphériques pourrait correspondre au moment où la pose d'un revêtement est permise si l'humidité relative de l'air est suffisamment basse.

1.2.4 Méthode de mesure capacitive

Cette mesure peut être effectuée à l'aide d'électrodes permettant de mesurer en surface ou à quelques centimètres de profondeur. Vu la présence d'un gradient d'humidité dans la chape, seule la mesure en profondeur est utile dans le cas présent.

Cette mesure fournit un indice (adimensionnel) pouvant éventuellement être converti en teneur en eau (en pourcentage de la masse sèche) grâce à une courbe d'étalonnage interne. Cet indice est fonction de la capacité mesurée de la chape, dépendant quant à elle de la constante diélectrique qui est déterminée par la teneur en eau. Nous avons pu établir une corrélation entre cet indice et les résultats obtenus avec une étuve (cf. figure 12).

Sur chantier, l'expérience n'est pas toujours concluante : en cause, la présence d'armatures et la composition de la chape, qui peuvent influencer les mesures. Cette méthode est dès lors souvent utilisée en combinaison afin de limiter le nombre d'essais destructifs. Elle permet en effet de localiser au préalable les zones plus humides où les prélèvements peuvent être effectués pour les mesures destructives.

1.2.5 Mesure de la résistance électrique

Pour cette méthode, on ne mesure pas directement la teneur en humidité, mais on enregistre au moyen d'électrodes une valeur dérivée, à savoir la résistivité. Etant donné que cette

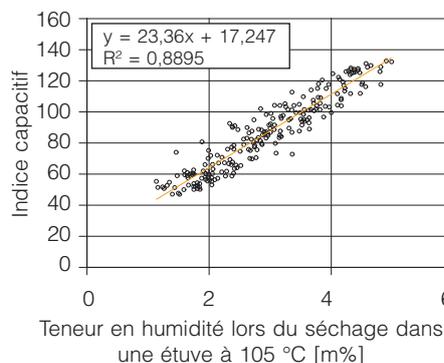


Fig. 12 Corrélation entre l'indice capacitif et la teneur en humidité.

méthode nécessite uniquement le perçage de petits trous, elle appartient aux méthodes peu destructives.

Celle-ci s'est révélée très inexacte, notamment parce que la profondeur à laquelle le taux d'humidité est mesuré est proportionnelle à la taille des électrodes de mesure et à la distance qui les sépare.

1.2.6 Atténuation d'une micro-onde

Cette méthode de mesure non destructive est basée sur l'atténuation d'une micro-onde après qu'elle ait été absorbée par des molécules d'eau. Bien que l'étude préalable ait fourni des résultats prometteurs, ceux obtenus durant la recherche finale n'étaient pas satisfaisants.

Les résultats (sous forme d'indice) n'ont ni permis de dessiner une courbe de séchage, ni d'établir une corrélation entre cette méthode et la méthode par séchage en étuve (cf. figure 13).

1.2.7 Réflectomètre dans le domaine temporel (TDR)

Cette méthode permet d'observer la teneur en humidité d'une chape durant une période plus longue. Elle est basée sur la dépendance à l'humidité de la permittivité (constante diélectrique) d'un milieu particulier. Si l'appareil de mesure est correctement étalonné, les résultats obtenus sont prometteurs et une stabilisation de la teneur en humidité peut être clairement constatée.

Cette méthode de mesure, en raison des longues électrodes à placer horizontalement dans le matériau, n'est pas facile à appliquer si l'on souhaite déterminer la teneur en humidité des chapes sur un chantier. Elle peut néanmoins s'avérer bien utile pour les mesures in situ d'éléments en béton de taille plus importante (les ponts, p. ex.).

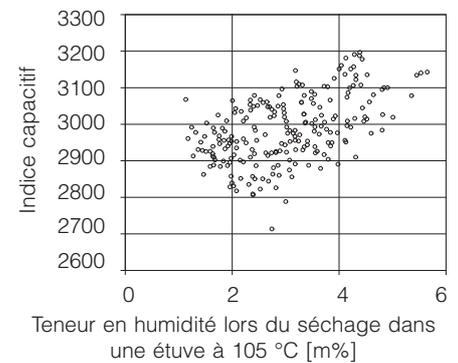


Fig. 13 Relation entre l'indice d'atténuation d'une micro-onde et la teneur en humidité.

Tableau 1 Aperçu des méthodes d'essai étudiées.

Méthode de mesure	Référence	Destructif ?	Résultat	Durée	Observations
Méthode gravimétrique (éventuellement avec utilisation d'une micro-onde <i>in situ</i>)	NIT 189 [7] NF DTU 53.2 [5] NF DTU 51.2 [4] NF DTU 59.3 [6]	Destructif	Teneur en eau	Quelques jours ou quelques minutes si four à micro-ondes	Méthode de référence. La teneur en eau dépend de la température de séchage. Le mode de prélèvement de l'échantillon peut influencer le résultat.
Sonde hygrométrique	NF DTU 53.2 [5] ASTM F 2170 02 [2] BS 8203 [3]	Non destructif (mesures en surface) ou peu destructif (mesure en profondeur)	Humidité relative de l'air en équilibre avec le matériau	Quelques heures	Possibilité de mesures multiples pour le suivi du séchage dans le temps et en différents endroits.
Bombe à carbure	NF DTU 53.2 [5] NIT 210 [9] NIT 189 [8] NIT 219 [7]	Destructif	Teneur en eau	1/4 d'heure	Corrélation avec les mesures gravimétriques (valeurs moindres qu'avec les dernières si séchage à 45 °C). Le mode de prélèvement de l'échantillon peut influencer le résultat.
Mesure du taux d'émission de vapeur d'eau à l'aide de CaCl ₂	ASTM F 1869 [1]	Non destructif	Taux d'émission de vapeur d'eau, exprimé par une masse par rapport au temps et à la surface	2 à 3 jours	Corrélation avec les mesures par sonde hygrométrique. Permet un suivi du séchage dans le temps.
Mesure capacitive	NIT 210 [9]	Non destructif	Teneur en eau ou indice	Immédiat	Corrélation avec les mesures gravimétriques après étalonnage. Possibilité d'inspecter rapidement une grande surface. Permet de suivre le séchage dans le temps et de limiter le nombre de mesures destructives.

1.3 CONCLUSION

Étant donné que la méthode gravimétrique en étuve permet de déterminer correctement la teneur en humidité des chapes et du béton, elle est utilisée comme méthode de référence.

Bien que la mesure au carbure de calcium constitue une technique très populaire et fiable, d'autres techniques de mesure peuvent toutefois s'avérer fructueuses. Ainsi, certaines méthodes non destructives peuvent être effectuées plus rapidement et/ou sur des surfaces plus grandes. Il est par ailleurs utile de comparer les résultats obtenus par diverses méthodes soit entre eux soit avec ceux fournis par méthode gravimétrique en effectuant des corrélations.

Enfin, certaines méthodes permettent d'observer le processus de séchage de la chape ou du béton au cours du temps et donc de déterminer le délai d'attente minimum pour l'application de la finition, ce qui n'exclut pas évidemment qu'on puisse néanmoins effectuer une mesure du taux d'humidité normalisée en guise de contrôle. Le tableau 1 donne un aperçu des techniques de mesures les plus importantes.

2 RÉDUCTION DU TEMPS DE SÉCHAGE

Durant cette même recherche, on s'est égale-

ment penché sur les moyens de réduire le temps de séchage d'une chape en adaptant les conditions de séchage ou la composition de la chape.

2.1 CONDITIONS DE SÉCHAGE

Dans un premier temps, nous avons étudié l'influence exercée par l'humidité et la température de l'air ambiant sur le processus de séchage de la chape.

Trois conditions environnementales, dont deux correspondant au climat intérieur confortable et une au climat intérieur humide, ont été considérées :

- température : 23 °C ; HR : 50 %
- température : 20 °C ; HR : 60 %
- température : 20 °C ; HR : 90 %.

La figure 14 (p. 5) illustre l'effet de l'humidité de l'air sur le processus de séchage d'une chape. Le graphique révèle clairement qu'une humidité moyenne (50 à 60 %) fournit des résultats bien meilleurs qu'une humidité élevée (90 %). Le séchage doit donc de préférence avoir lieu à une température élevée et/ou avec un faible taux d'humidité dans l'air. Il est possible de créer ces conditions environnementales favorables en ventilant et en chauffant bien la pièce dans laquelle se trouve la chape et/ou en évitant l'apparition d'eau.

2.2 COMPOSITION DE LA CHAPE

L'influence de la composition de la chape sur le temps de séchage a été étudiée dans un deuxième temps.

Les variations suivantes d'un même mélange de référence (cf. tableau 2, p. 5) ont été testées. L'influence de ces variations sur les courbes de séchage a été observée :

- **mélange 1** : utilisation un sable plus fin (0/2 mm au lieu de 0/4 mm). La quantité volumétrique de sable a été maintenue à 1 m³/250 kg de ciment
- **mélange 2** : utilisation d'une plus grande quantité de ciment (320 kg par m³ de sable au lieu de 250 kg)
- **mélange 3** : utilisation d'un autre type de ciment. CEM V/A (V-S) 32,5 N HSR LA, un ciment composite comprenant des cendres volantes et du laitier de haut fourneau au lieu d'un CEM II B-V 32,5 R
- **mélange 4** : recours à un rapport E/C supérieur (0,6 au lieu de 0,5)
- **mélange 5** : recours à un rapport E/C fort supérieur (0,7 au lieu de 0,5)
- **mélange 6** : ajout d'un adjuvant permettant un séchage rapide
- **mélange 7** : ajout d'un liant dit à séchage rapide.

Le tableau 3 (p. 5) livre un aperçu de la résistance à la compression et à la flexion des

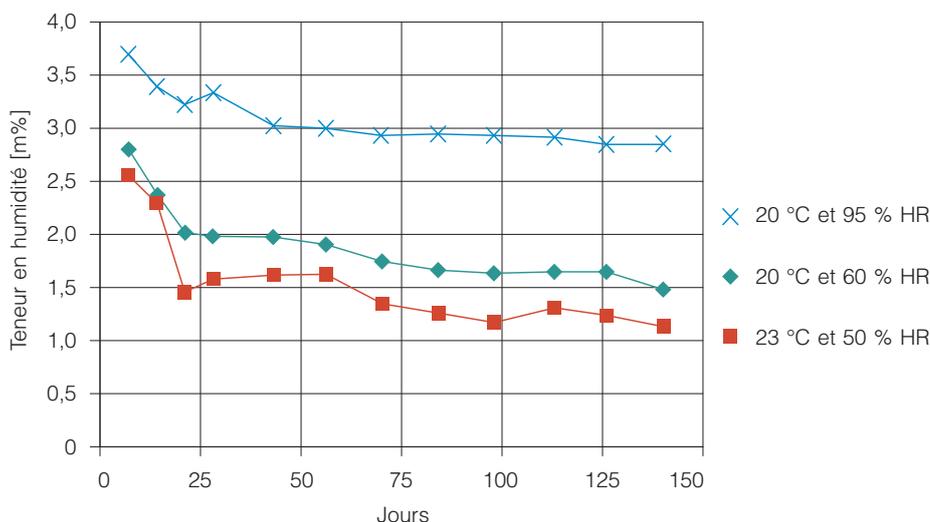


Fig. 14 Influence des conditions de séchage sur le processus de séchage d'une même chape (déterminé dans une étuve à 105 °C).

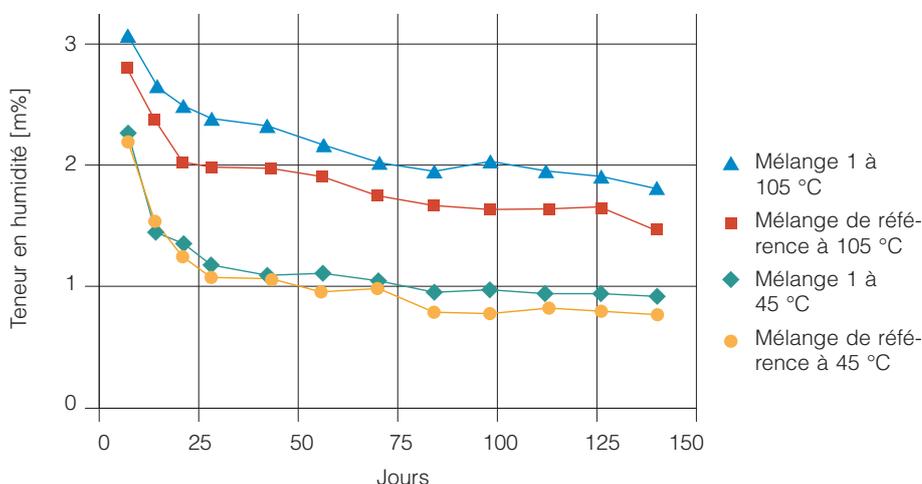


Fig. 15 Influence de la taille des grains de sable sur le processus de séchage (déterminé dans une étuve à 45 et 105 °C, conservé à 20 °C et à 60 % HR).

chapes réalisées à partir de ces divers mélanges. Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- l'utilisation d'un sable plus fin (mélange 1) influence négativement la résistance à la compression et à la flexion. Avec une telle composition, la résistance à la compression reste bien inférieure à la valeur minimale de 8 N/mm² recommandée par la NIT 189 [7]
- le rapport ciment/eau fort supérieur (mélange 5) exerce un effet positif sur la résistance mécanique et ce, en raison de l'augmentation de la fluidité qui permet d'obtenir une structure plus compacte
- les compositions dans lesquelles des adjuvants (mélange 6) ou des liants (mélange 7) dits à séchage rapide ont été ajoutés présentent une résistance à la compression et à la flexion plus importante que le mélange de référence.

Les courbes de séchage réalisées sur les différents mélanges nous ont permis de formuler un certain nombre de recommandations relatives

à la composition d'une chape permettant un séchage plus rapide.

Il ressort de ces courbes que l'utilisation d'un **sable plus fin** (mélange 1) influence négativement le processus de séchage. Etant donné que la surface spécifique du sable fin est plus importante, il convient en effet d'ajouter une plus grande quantité d'eau au mélange pour obtenir la même maniabilité. La teneur en humidité résiduelle après le processus de séchage sera donc plus élevée (cf. figure 15) et la résistance mécanique de la chape diminuera. Il est autrement dit conseillé d'utiliser un type de sable plus épais.

Bien que l'utilisation d'une **plus grande quantité de ciment** (mélange 2) influence de manière positive la résistance de la chape, la porosité plus faible du mélange et la plus grande quantité d'eau nécessaire (pour un même rapport E/C) ont également entraîné une teneur en humidité résiduelle plus élevée. Il est dès lors conseillé de limiter la quantité de ciment à la

Tableau 2 Composition du mélange de référence

Composant	Quantité
CEM II B-V 32,5 R	250 kg
Sable du Rhin 0/4 mm CE (*)	1655 kg, 1 m ³
Eau	125 kg
Facteur E/C	0,5

(*) Egalement souvent appelé '0/7 mm' en raison de la dénomination dans une norme plus ancienne.

Tableau 3 Résistance à la compression et à la flexion des diverses compositions de chape.

Composition	Age [jours]	R1 (1)	R2 (2)
Mélange de référence	28	8,2	2,02
	70	8,5	2,24
Mélange 1	28	4,1	1,33
	70	3,8	1,25
Mélange 2	28	13,6	2,70
	70	15,6	2,65
Mélange 3	28	10,2	2,24
	70	10,6	3,23
Mélange 4	28	6,9	2,17
	70	–	–
Mélange 5	28	17,2	3,65
	70	–	–
Mélange 6	28	19,7	4,98
	70	20,8	4,63
Mélange 7	28	27,8	6,00
	70	29,4	5,31

(1) R1 = Résistance à la compression [N/mm²].
 (2) R2 = Résistance à la flexion [N/mm²].

valeur nécessaire pour assurer la résistance mécanique.

La **quantité d'eau de gâchage** utilisée (mélanges 4 et 5) influence fortement les courbes de séchage de la chape. La figure 16 (p. 6) illustre cette influence par quelques exemples. La teneur en humidité est à chaque fois exprimée en pourcentage de la masse de la matière sèche. Ces courbes révèlent qu'il vaut mieux limiter la quantité d'eau de gâchage à la valeur nécessaire à la maniabilité.

L'usage d'un **liant** à séchage rapide ou d'un **adjuvant** pour chape à séchage rapide accroît la fluidité de la chape et devrait permettre de limiter la teneur en eau nécessaire pour l'obtention d'une fluidité et d'une compacité adéquates. Si la quantité d'eau incorporée dans la chape n'est pas moindre, la résistance mécanique augmente, mais l'influence de ce liant

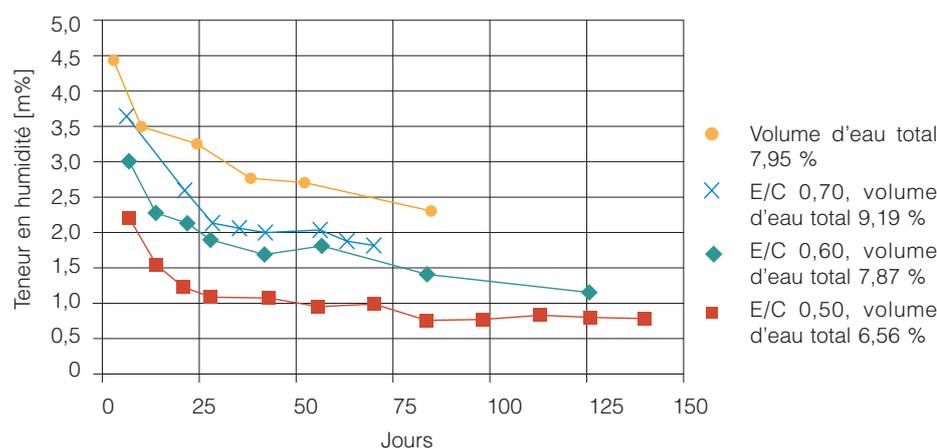


Fig. 16 Influence du rapport E/C et du volume d'eau total sur le processus de séchage (dans une étuve à 45 °C, conservé à 20 °C et 60 % HR).

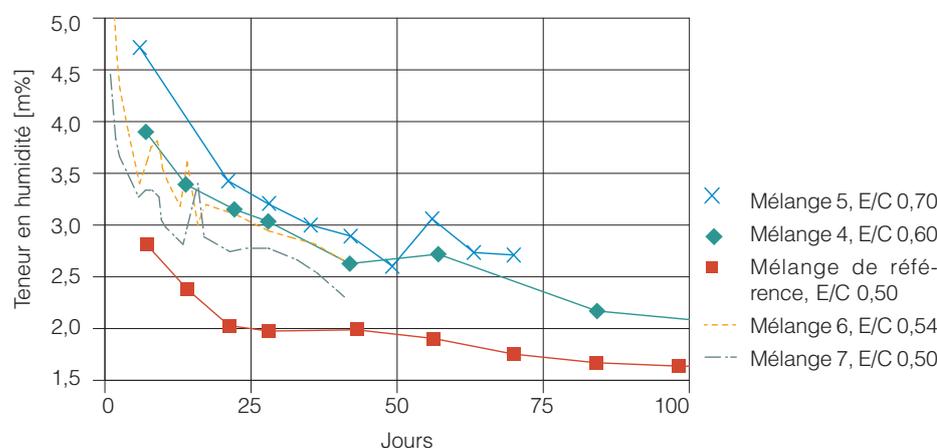


Fig. 17 Influence des adjuvants sur les courbes de séchage (dans une étuve à 105 °C, conservé à 20 °C et 60 % HR).

et de cet adjuvant sur le temps de séchage est nulle. En effet, dans ce cas, la structure de la chape étant plus compacte, le processus de séchage s'en trouve ralenti.

Enfin, l'utilisation de **sable humide ou sec** peut exercer une influence considérable sur la teneur en humidité de la chape. Le processus de séchage d'une chape présentant un taux d'humidité de 7,95 % (teneur en eau dans les granulats + teneur en eau ajoutée) et réalisée par un fournisseur x est plus lent que si elle l'avait été en laboratoire (courbe jaune de la figure 16) sous les mêmes conditions de séchage. Ceci est très certainement dû au fait que le fournisseur utilise des granulats humides (stockage en extérieur). Des granulats secs seront donc utilisés de préférence.

2.3 CONCLUSION

L'humidité et/ou la température de l'air ambiant influence fortement le processus de séchage d'une chape. Ainsi, il l'est de manière positive si la température ambiante augmente et/ou si l'humidité diminue. Par ailleurs, il semble également que la composition de la chape est déterminante pour le comportement au séchage. Nous avons pu constater qu'il est préférable d'utiliser du sable sec, grossier, de limiter la quantité de ciment à la quantité nécessaire pour la résistance mécanique et de n'utiliser que la quantité d'eau de gâchage à la valeur nécessaire pour la maniabilité souhaitée.

Enfin, le processus de séchage pourrait être amélioré en ajoutant un adjuvant réduisant fortement la demande d'eau de la chape. ■



BIBLIOGRAPHIE

- American Society for Testing and Materials
ASTM Standard F 1869-10 Standard test method for measuring moisture vapor emission rate of concrete subfloor using anhydrous calcium chloride. Philadelphia, ASTM International, 2010, DOI : 10.1520/F1869-10, www.astm.org.
- American Society for Testing and Materials
ASTM Standard F 2170-09 Standard test method for determining relative humidity in concrete floor slabs using in situ probes. Philadelphia, ASTM International, 2009, DOI : 10.1520/F2170-09, www.astm.org.
- British Standards Institution
BS 8203 Code of practice for installation of resilient floor coverings. Londres, BSI, 2001.
- Centre scientifique et technique du bâtiment
NF DTU 51.2 Parquets : pose des parquets à coller. Paris, CSTB, Documents techniques unifiés/Norme homologuée française, mai 2009.
- Centre scientifique et technique du bâtiment
NF DTU 53.2 P1-1 Revêtements de sol PVC collés. Partie 1-1 : cahier des clauses techniques. Paris, CSTB, Documents techniques unifiés/Norme homologuée française, avril 2007.
- Centre scientifique et technique du bâtiment
NF DTU 59.3 Peinture de sols. Paris, CSTB, Documents techniques unifiés/Norme homologuée française, mai 1993.
- Centre scientifique et technique de la construction
Les chapes pour couvre-sols. Première partie : matériaux, performances, réception. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 189, 1993.

8. Centre scientifique et technique de la construction

L'humidité dans les constructions : particularités de l'humidité ascensionnelle (remplace la NIT 162). Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 210, 1998.

9. Centre scientifique et technique de la construction

Toitures en ardoises : conception et exécution des ouvrages de raccord. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 219, 2001.