

Zeitschrift: Bulletin du ciment
Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)
Band: 65 (1997)
Heft: 4

Artikel: Stabilisation à la chaux
Autor: Hermann, Kurt / Egmond, Bram van
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-146426>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Stabilisation à la chaux dans la construction de chemins forestiers.

Photos: Bram van Egmond, TFB

Stabilisation à la chaux

La chaux permet de consolider de nombreux sols instables et d'améliorer leur constance de volume ainsi que leur résistance à l'eau et au gel.

La chaux était utilisée dans l'Antiquité déjà pour la construction routière et les terrassements. Des mélanges de chaux et de sol naturel ont été utilisés pour la construction de la Grande Muraille de Chine, et les Romains mélangeaient souvent au sol des cendres volcaniques de Pozzuoli, à forte teneur en chaux réactive, par exemple pour certains tronçons de la Via Appia [1].

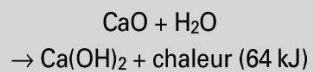
Les stabilisations de sols à la chaux ont été complètement oubliées au Moyen Age. Ce sont des ingénieurs américains qui les ont redécouvertes au cours de ce siècle. Les premières stabilisations à la chaux ont été exécutées en Europe à partir de 1950 environ, et en Suisse à partir de 1959. Au début, on ne les utilisait que pour les chemins forestiers [1]. Mais aujourd'hui, la stabilisation à la chaux compte parmi les méthodes reconnues pour l'amélioration des sols instables.



Sol à teneur en eau élevée avant (à gauche) et après la stabilisation à la chaux (à droite).

	chaux aérienne	Liant hydraulique	bitumineux
Mode d'action			
Augmentation de la stabilité à l'eau et de la résistance au gel et aux fondants chimiques	grande	grande	grande
Augmentation de la résistance mécanique	moyenne	grande	grande
Augmentation de la portance	moyenne	grande	grande
Réduction de la teneur en eau	grande	faible	–
Amélioration de la compactibilité	grande	–	–
Domaines d'utilisation			
Remblayages	fréquente	rare	rare
Infrastructure / Terrain naturel	fréquente	fréquente	fréquente
Couches de fondation	rare	fréquente	fréquente
Couches portantes	rare	fréquente	fréquente
Réalisation d'étangs	fréquente	occasionnelle	rare
Stockage d'hydrocarbures	fréquente	rare	rare

Tab. 1 Mode d'action et domaines d'utilisation des produits de stabilisation (tab. 1 [5]).



Normes et définitions

Dans les normes VSS, on distingue entre

- stabilisation à la chaux aérienne (SN 640 503 a [2]),
- stabilisation aux liants hydrauliques (SN 640 509 a [3]) et
- stabilisation aux liants bitumineux (SN 640 506 a [4]).

Ces normes sont chapeautées par la norme SN 640 500 a [5]. Le tableau 1 donne un aperçu des principaux modes d'action et domaines d'utilisation des stabilisations non mécaniques [5]. Les termes fréquemment utilisés sont définis dans l'encadré de la page 6.

Genres de sols

Les sols naturels sont généralement instables, alors que les graviers et sables propres, de bonne répartition granulométrique, dont la part d'éléments fins (diamètre < 0,02 mm) représente moins de 10 % de la masse, sont stables. Les sols à gros grains avec 5–50 % de la masse d'éléments fins, ainsi que les sols à grains fins argileux ne sont pas stables, mais on peut les stabiliser. On ne peut en revanche pas stabiliser les sols à

forte teneur en matières organiques, comme par exemple la tourbe.

En Suisse, les sols non agglomérés sont souvent argileux. Ils se caractérisent par leur faible compacité, leur porosité élevée et leur haute teneur en eau, permanente ou saisonnière. Il en résulte qu'à l'état naturel, ils ne témoignent pas de bonnes propriétés de mécanique des sols. S'ils ne sont pas traités, ces sols ne peuvent pas être utilisés comme matériau pour les terrassements ou les couches supportant la superstructure.

Voici ce qui se passe lors de la stabilisation à la chaux

Pour les stabilisations à la chaux, on utilise de la chaux non éteinte moulue (chaux vive, principalement oxyde de calcium, CaO, appellation commerciale Stabilit) et de la chaux éteinte sèche (chaux hydratée, hydroxyde de calcium, Ca(OH)₂). Ce qu'on appelle la réaction immédiate commence dès que la chaux vive a été ajoutée au sol. Elle réduit la teneur en eau par réaction chimique:

Il se dégage simultanément une grande chaleur (1156 kJ/kg CaO), ce qui provoque en outre une évaporation de l'eau. Il en résulte déjà une amélioration de la maniabilité. La réaction à long terme est due à la chaux vive et à la chaux hydratée. Elle comprend en réalité différentes réactions, dont certaines s'étendent sur plusieurs années. Ces réactions sont entre autres les suivantes [1, 6]:

- Dans les sols non traités, les particules d'argile ne sont que faiblement agrégées, mais elles retiennent toute l'eau, ou elles interfèrent. Les particules d'argile forment avec la chaux hydratée de plus gros agglomérats étanches, qui absorbent l'eau («assèchement interne»). La teneur en eau active s'en trouve réduite, et la résistance au cisaillement augmentée.
- La chaux hydratée réagit avec les alumates et silicates contenus dans l'argile et se transforme en gels, lesquels maintiennent ensemble les particules d'argile. (On constate des réactions analogues lors du durcissement du ciment.) Il s'agit de réactions pouzzolaniques, qui durent de 1 à 5 ans à proximité de la surface, et plus longtemps



Epandage de chaux vive sur la plate-forme.



Incorporation de chaux vive avec une herse à disques.



Malaxage de la chaux vive avec un pulvi-mixer.

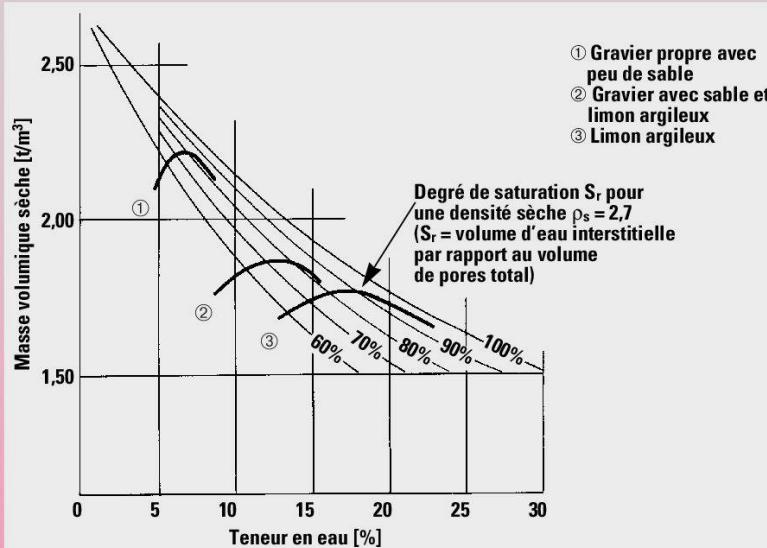


Fig. 1 Courbes Proctor pour sols différents sur le plan géotechnique (selon [9]).

Graphiques: Bram van Egmond, TFB, et S. Einfalt, ZSD

encore à de plus grandes profondeurs. Elles provoquent un lent développement de la résistance, qui s'arrête généralement vers 1 à

3 N/mm². Les sols à forte teneur en matières organiques ne présentent pas d'augmentation de la résistance, ou alors minime.

Définitions

Fractions des sols

Les éléments composant les sols sont classés en fonction du diamètre de leurs grains [7]:

argile (C)	< 0,002 mm
limon (M)	0,002 – 0,06 mm
sable (S)	0,06 – 2,0 mm
gravier (G)	2,0 – 60 mm
pierres	60 – 200 mm
blocs	> 200 mm

La stabilisation

«est l'opération qui consiste à traiter des sols, des granulats minéraux et d'autres matériaux appropriés physiquement et/ou chimiquement de manière à atteindre et à maintenir la résistance et la stabilité de volume exigées et à améliorer les autres caractéristiques mécaniques en fonction des charges prévues et des sollicitations hydrologiques et climatiques» [5].

L'amélioration des sols

«est appliquée pour améliorer la maniabilité, la compactibilité et la viabilité, pour diminuer la teneur en eau et pour préparer un sol à un autre type de stabilisation» [2].

Limite de plasticité w_p

La limite de plasticité est définie par la teneur en eau avec laquelle un sol passe de l'état plastique (pétrissable) à l'état solide (friable) [8].

Limite de liquidité w_L

La limite de liquidité est la teneur en eau avec laquelle un sol passe de l'état liquide (coulant) à l'état plastique (pétrissable) [8].

Indice de plasticité I_p

L'indice de plasticité I_p est la différence entre la limite de liquidité w_L et la limite de plasticité w_p : $I_p = w_L - w_p$ [8].

- Le CO₂ provenant de l'air peut réagir avec l'hydroxyde de calcium (carbonatation) et interrompre ainsi partiellement les réactions pouzzolaniques.

Degré de plasticité et aptitude au compactage

Le degré de plasticité d'un sol en fonction de sa teneur en eau est indiqué par l'indice de plasticité I_p , lequel est défini comme étant la différence entre la limite de liquidité w_L et la limite de plasticité w_p (voir encadré en page 6). Cet indice est déterminé sur le matériau, que l'on fait passer à l'état sec par un tamis à mailles de 0,5 mm. On admet ce qui suit:

- Les sols à grains fins avec un I_p bas sont rapidement détrempés en cas de pluie et ne sont pas carrossables.
- Les sols avec un I_p élevé peuvent absorber beaucoup d'eau avant de passer à l'état liquide.

Selon la norme SN 640 500 a [5], les sols doivent présenter un $I_p > 8 \%$, et contenir au moins 10 % d'argile, pour pouvoir être stabilisés à la chaux avec succès. Les graviers, sables et limons argileux, ainsi que l'argile, remplissent ces conditions.

L'Américain R. R. Proctor a prouvé, qu'avec un compactage constant, la densité sèche d'un sol dépend de sa



L'eau s'évapore après le malaxage de la chaux vive (réaction à court terme).

teneur en eau. Une teneur en eau optimale s'accompagne d'une densité sèche maximale (voir figure 1).

Essais préalables

Les stabilisations à la chaux d'une certaine importance exigent des essais préalables soignés et des contrôles lors de la mise en place. Les normes VSS y relatives [2, 5] contiennent des prescriptions à ce sujet.

Mais sans la collaboration d'un spécialiste, s'appuyant sur une bonne équipe de laboratoire, l'observation de ces prescriptions ne constitue pas toujours une garantie de succès.

Pour les sols stabilisés à la chaux, ce n'est pas la résistance qui est primordiale comme pour le béton, mais la stabilité à l'eau et l'augmentation de la portance. Des résistances à la compression de 1 à 2 N/mm² permettent déjà de répondre à ces exigences. Nous savons par expérience que pour les sols suisses, le dosage optimal se situe entre 2 et 6% de la masse de chaux vive. Le dosage en chaux permettant l'amélioration nécessaire du sol, à un coût raisonnable, peut être déterminé en laboratoire.

Pour les essais d'aptitude, il faut prélever des échantillons de sol représentatifs. Les analyses nécessaires sont faites avec des échantillons séchés à une température de 60 °C.

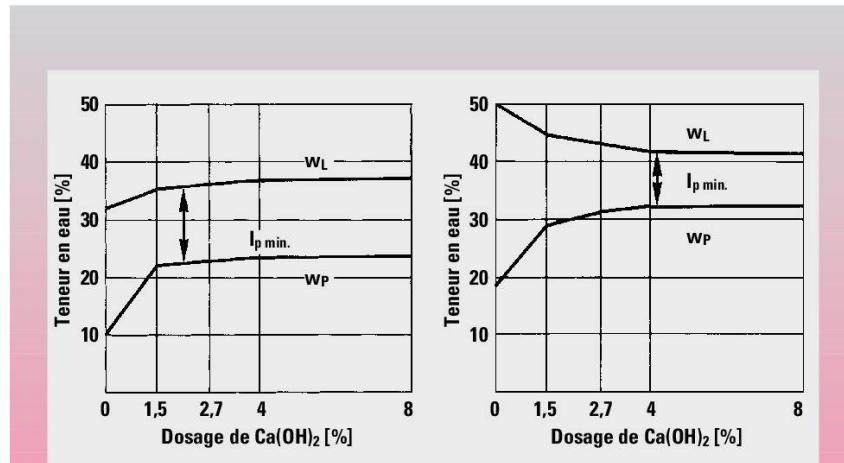


Fig. 2 Influence de la chaux hydratée sur les limites de consistance pour des sols à plasticité de faible à moyenne (à gauche) et pour des sols à plus grande plasticité (à droite) (selon [2]).

Selon la norme SN 640 503 a, il s'agit des analyses suivantes [2]:

- *réactions à court terme*

- estimation de la réduction de la teneur en eau
- modification des limites de consistance
- modification de l'aptitude au compactage

- *réactions à long terme*

- résistances
- stabilité à l'eau et au gel

Les essais en laboratoire sont généralement effectués avec de la chaux hydratée, car la chaux vive réagit vio-

lement et ne permet pas de définir avec précision la teneur en eau.

1 partie-masse de Ca(OH)₂ (chaux hydratée) correspond à 0,76 partie-masse de CaO (chaux vive).

Réduction de la teneur en eau

La réduction de la teneur en eau peut être estimée. Elle se décompose en

- env. 1% par % de la masse de chaux aérienne (CaO)
- env. 2 à 4% de la masse par effet de malaxage
- env. 2 à 4% de la masse par aération intensive complémentaire



Compactage d'un sol stabilisé au moyen d'un rouleau vibrant.

Limites de consistance

Les limites de liquidité et plasticité sont mesurées sur un échantillon de sol naturel, puis avec trois dosages de chaux différents. L'influence de la chaux sur les limites de consistance de sols de plasticité faible à moyenne, ou de forte plasticité, est représentée à la figure 2. Le dosage en chaux minimum est obtenu à partir du domaine dans lequel la limite de plasticité w_p ne se modifie plus et l'indice de plasticité I_p atteint le minimum ($I_{p\min.}$) [2].

Aptitude au compactage

L'aptitude au compactage d'un sol est déterminée au moyen d'essais Proc-

tor ou d'essais similaires [9]. Pour mesurer la masse volumique apparente sèche en fonction de la teneur en eau, on se sert de sol naturel asséché, ainsi que de deux teneurs en chaux différentes. Il en résulte des diagrammes du genre de ceux représentés à la figure 3.

Réactions à long terme

La norme SN 640 503 a [2] contient des prescriptions pour déterminer la résistance et la stabilité à l'eau et au gel. Ces analyses ne sont généralement pas effectuées.

Définition

des dosages en chaux

Les analyses décrites plus haut sont effectuées pour des projets importants. Pour la stabilisation à la chaux de surfaces relativement petites, un spécialiste peut définir le dosage approprié sans recourir à ces analyses. Pour les sols suisses, ce dosage varie entre 2 et 4 % de la masse de chaux vive, ou entre 30 et 80 kg de CaO/m³. Pour les grandes surfaces, le dosage minimum permettant de porter la teneur en eau naturelle du sol dans le domaine de l'optimum est déterminé avec une assez grande précision. Ce dont il faut tenir compte:

- assèchement du sol par réaction chimique de x % de la masse de chaux vive (CaO)
- assèchement du sol par malaxage et aération

La figure 4 donne une représentation schématique de ce processus.

Les sols stabilisés avec les quantités de chaux vive déterminées témoignent en général également d'une stabilité au gel et d'une résistance suffisantes (réactions à long terme).

Exécution de stabilisations

Les stabilisations à la chaux sont généralement réalisées par malaxage en place. Elles ne doivent pas être exécutées par temps pluvieux.

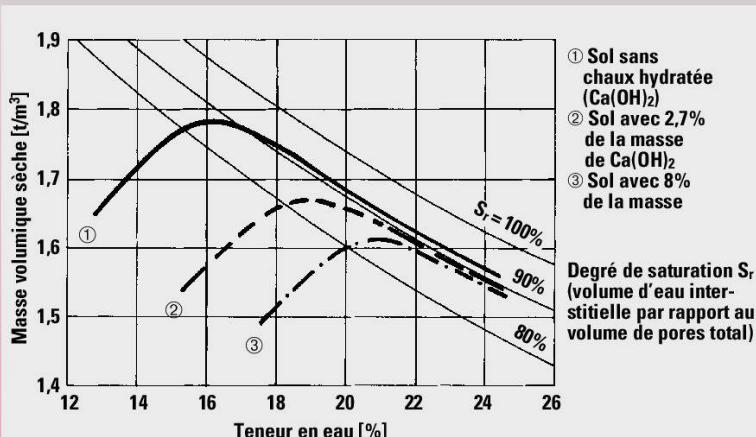


Fig. 3 Influence du dosage de chaux hydratée sur la densité sèche d'un sol, déterminée au moyen d'essais Proctor (selon [2]).



Construction d'un bassin de rétention stabilisé à la chaux pour le stockage d'hydrocarbures.

Les principales opérations sont:

- la préparation du sol
- l'épandage de la chaux
- le malaxage du sol et de la chaux
- le compactage du mélange sol/chaux

On élimine d'abord l'humus, les grosses pierres, ainsi que les racines et autres matières organiques, puis on aplani grossièrement le sol. La chaux vive peut être répandue sur la surface à stabiliser à la main ou au moyen d'une épandeuse. Il faut absolument observer les mesures de protection mentionnées dans la norme SN 640 503 a [2]. On procède ensuite au malaxage avec une herse à disques, un pulvi-mixer ou un scarificateur à dents multiples, jusqu'à ce que la chaux soit répartie régulièrement. Il en résulte un sol grumeleux, de couleur uniforme. Les sols contenant trop peu d'argile peuvent souvent être stabilisés tout de même, si on leur ajoute de l'argile (opalite).

Pour les stabilisations à la chaux, il doit s'écouler au moins 4 heures entre le début du malaxage et le compactage. Pour le compactage des sols cohérents, ce sont les rouleaux à effet broyeur qui conviennent le mieux. Pour l'égalisation, les lourds rouleaux à pneus pressant fortement le sol ou des combinaisons de rouleaux à pied de mouton ou hérissé

avec des rouleaux à pneus ont fait leurs preuves lorsqu'une bonne portance est exigée.

Les couches fraîchement stabilisées doivent être protégées contre le dessèchement, par exemple en appliquant rapidement la couche suivante, ou en humidifiant. La terre stabilisée à la chaux peut être entreposée pendant plusieurs mois avant d'être

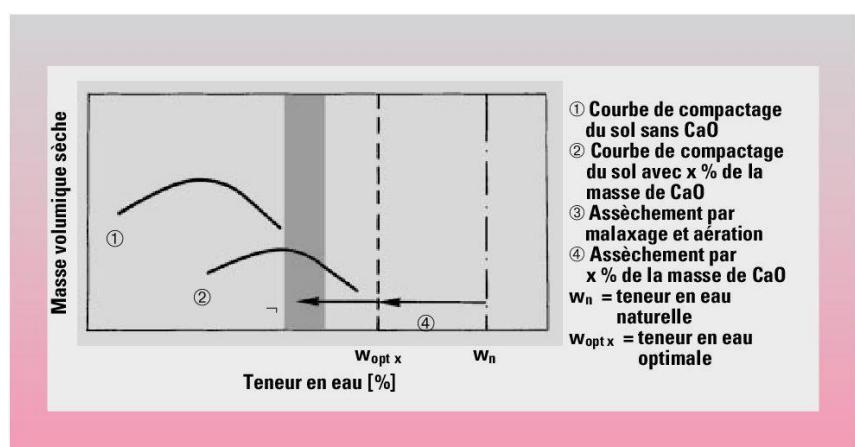


Fig. 4 Détermination du dosage de chaux vive pour la réaction à court terme dans le domaine w_{opt} jusqu'à ($w_{opt} + ca. 2\%$) selon [2].

Amélioration du terrain naturel au moyen de pieux en chaux

En Allemagne, on a utilisé avec succès de minces pieux en chaux pour réduire la teneur en eau et augmenter la portance de parties de sols saturées d'eau ou de sols cohérents allant de moins à partiellement pâteux [10]. On a creusé à cet effet, avec des tarières hélicoïdales, des trous de 90 mm de diamètre et 1 m de profondeur, que l'on a remplis de chaux vive. On a ensuite compacté immédiatement toute la surface, puis stabilisé avec de la chaux vive la couche supérieure de cette plate-forme inférieure. Sur cette couche, on a réparti sur 30 cm d'épaisseur la terre précédemment enlevée, que l'on a stabilisée avec de la chaux vive, à raison de 3 % de la masse.

La portance des surfaces traitées a rapidement augmenté pendant environ quatre jours, aussi bien sur les pieux en chaux que sur les espaces intermédiaires. Et bien que les pieux aient été enfouis en partie jusqu'à la nappe phréatique, une étanchéité contre le bas a été créée.

On a utilisé des pieux en chaux lors de la construction du nouveau tronçon de ligne grande vitesse de la Deutsche Bahn AG entre Halle et Bitterfeld, afin d'améliorer le terrain naturel [11].

On a fabriqué ici, dans des sols cohérents, des pieux en chaux de 90 mm de diamètre et 1 m de longueur, en quadrillage de 0,8 m × 0,8 m. On a obtenu ainsi d'importantes augmentations de la portance, sans avoir à remplacer beaucoup de terre.

Des pieux en chaux pour améliorer la qualité des sols sont également fabriqués en Suède, selon un procédé plus coûteux [6].

mise en place, si on la protège contre l'humidité. Les sols détrempés sans éléments argileux, ou en contenant peu, n'engendrent pas de réactions pouzzolaniques (réaction à long terme). Mais ils peuvent tout de même être stabilisés si on leur ajoute d'abord de la chaux (assèchement), puis du ciment (développement de la résistance).

Domaines d'utilisation

Quelques applications des stabilisations à la chaux figurent dans le *tableau 1*. Les stabilisations à la chaux ont fait leurs preuves dans les couches de fondation supportant la superstructure. Mais on les utilise beaucoup plus fréquemment pour l'amélioration et la stabilisation des sols dans le domaine de l'infrastructure et autres terrassements. En voici quelques exemples [2]:

- assèchement et amélioration de la compactibilité des sols mouillés (principalement lors de travaux de remblayage)
- amélioration de la portance et de la viabilité du terrain naturel et de l'infrastructure
- constitution de sous-couches permettant le compactage de la superstructure
- constitution de couches répartissant les charges
- amélioration du terrain naturel au moyen de pieux en chaux (voir encadré)
- étanchéification du sol dans les complexes industriels, par exemple stockage d'hydrocarbures)
- préparation des sols en vue de leur stabilisation avec d'autres liants
- amélioration de la stabilité de talus
- aménagement d'étangs et de ruisseaux (voir encadré)

On peut dire pour conclure que la chaux vive et la chaux hydratée permettent de transformer en matériaux utilisables pour les terrassements de nombreux sols non appropriés. Et cela s'effectue sans nuisances pour l'environnement et sert à ménager les ressources en graviers et en sables.

Bibliographie

- [1] Kuonen, V., «Wald- und Güterstrassen: Planung – Projektierung – Bau», édité par l'auteur, Pfaffenhausen (1993), pages 395–422. Voir aussi: Hirt, R., «Experimentelle Untersuchungen zur Bodenstabilisierung mit Kalk, insbesondere für deren Anwendung im Wald- und Güterstrassenbau», dissertation ETH Zurich (1969).
- [2] Norme SN 640 503 a: «Stabilisation: Stabilisation à la chaux aérienne» (édition 1987).
- [3] Norme SN 640 509 a: «Stabilisation: Stabilisation aux liants hydrauliques» (édition 1985).
- [4] Norme SN 640 506 a: «Stabilisation des sols aux liants bitumineux: Spécifications, exécution» (édition 1995).
- [5] Norme SN 640 500 a: «Stabilisation: Généralités» (édition 1985).
- [6] Boman, P., Broms, B., Paus, K., et Söderlind, G., «The lime column method», Swedish Council for Building Research (ed.), 91 pages (1980).
- [7] Norme SN 670 005: «Classification des sols – Méthode de chantier selon USCS» (édition 1959).
- [8] Norme SN 670 345 a: «Limites de consistance» (édition 1989).
- [9] Norme SN 670 330 b: «Essais: Compaction selon AASHTO» (édition 1989).
- [10] Eigenschenk, E., «Flächige Bodenverbesserung mit Kalkpfählen», Tiefbau-BG 105 [8], 534–539 (1993).
- [11] Eigenschenk, E., «Untergrundverbesserung mit Kalkpfählen – Baumassnahme «Feste Fahrbahn»», Tiefbau-BG 107 [8], 642–644 (1995).
- [12] Meyer, B., «Stabilisation des sols avec de la chaux pour la réalisation d'étangs», Bulletin du ciment 58 [11], 1–12 (1990).
- [13] Gmür, A.M., et van Egmond, A., «Bodenstabilisierung mit Kalk im Weiherbau», Schweizer Ingenieur und Architekt 113 [49], 1130–1133 (1995).

Etang stabilisé à la chaux

Photo: K. Hermann, TFB



Aménagement d'étangs et de ruisseaux

L'aménagement d'étangs et de ruisseaux constitue une utilisation intéressante de la stabilisation à la chaux. Il a déjà été beaucoup écrit à ce sujet, entre autres dans le «Bulletin du ciment» [12]. Les stabilisations à la chaux effectuées dans la plaine située au pied du barrage de Mauvoisin ainsi que dans la région de Bonatchiesse (Val de Bagnes) ont également été décrites en détail. On a créé ici au total 12 000 m² d'étangs et de ruisseaux [13].

Les stabilisations à la chaux permettent de réaliser des étangs de toutes les formes imaginables. Avec différentes profondeurs d'eau – des profondeurs de 1,5 m et plus sont possibles localement – et diverses inclinaisons des rives, on peut diviser un étang en plusieurs zones. Les conditions suisses (moyenne des précipitations 3 mm/jour) assurent aux étangs d'une profondeur moyenne de quelque 70 cm un niveau d'eau toujours suffisant, même si ce niveau accuse des écarts allant jusqu'à 20 cm. Les étangs de moins de 30 cm de profondeur peuvent s'assécher en été et geler en hiver.

Exécution

Selon la norme SN 640 503 a [2], le dosage précis de chaux vive est déterminé par des essais en laboratoire et des contrôles sur le chantier. Pour une profondeur de malaxage de 20 cm, le dosage se situe généralement aux environs de 40 kg/m³ ou 8 kg/m². Les différentes opérations sont décrites dans la norme.

Pour les étangs, trois couches au moins, de 12 à 15 cm chacune, sont nécessaires. Elles sont mises en place directement l'une après l'autre. Le compactage s'effectue avec des rouleaux à effet broyeur ordinaires (rouleaux vibrants, rouleaux légers pied-de-mouton ou hérisson); les vibrodameurs sont moins indiqués. Ce procédé permet de réaliser des bords d'une inclinaison allant jusqu'à 20°. Pour des rives de plus grande déclivité, les couches doivent être mises en place horizontalement. Les couches stabilisées sont recouvertes de 10 à 20 cm de sable, de gravier ou de composants argileux (jamais d'humus!).

Aspects biologiques

Au début, la valeur pH de l'eau est supérieure à 9 (fortement basique). Avec le temps, elle s'abaisse entre 7,5 et 8,5. Ces valeurs s'appliquent aux eaux stagnantes; les étangs avec arrivée et écoulement d'eau, ainsi que les ruisseaux, atteignent rapidement des valeurs pH voisines de 7.

Les étangs stabilisés à la chaux peuvent au besoin être garnis de végétation. Des amphibiens et d'autres êtres vivants s'y établissent rapidement.

Une bonne douzaine d'années d'expérience avec les stabilisations à la chaux pour la réalisation d'étangs permettent d'affirmer que ce procédé a fait ses preuves. L'entretien de la végétation est plus facile lorsque l'étang est praticable.