

# Construire sans nuisances sur un sol saturé en eau

Dans le cadre d'un projet de recherche, un nouveau pieu à jet à basse pression a été développé, qui est inoffensif pour les eaux souterraines. Il en résulte de nouvelles possibilités d'application pour la construction en Suisse.

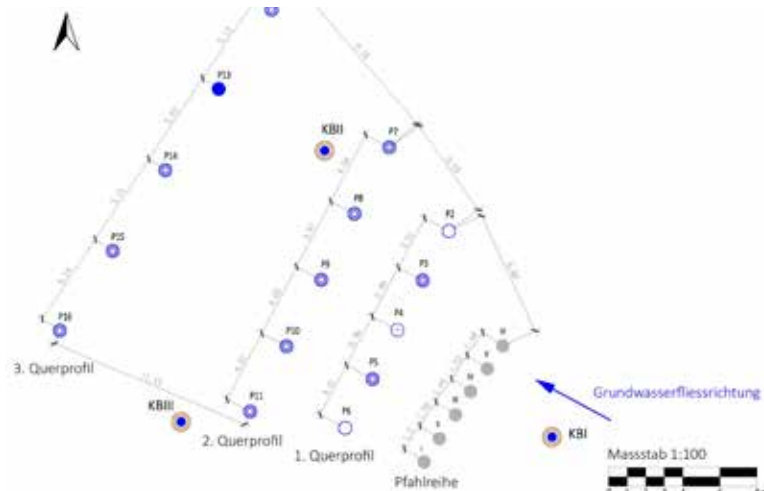
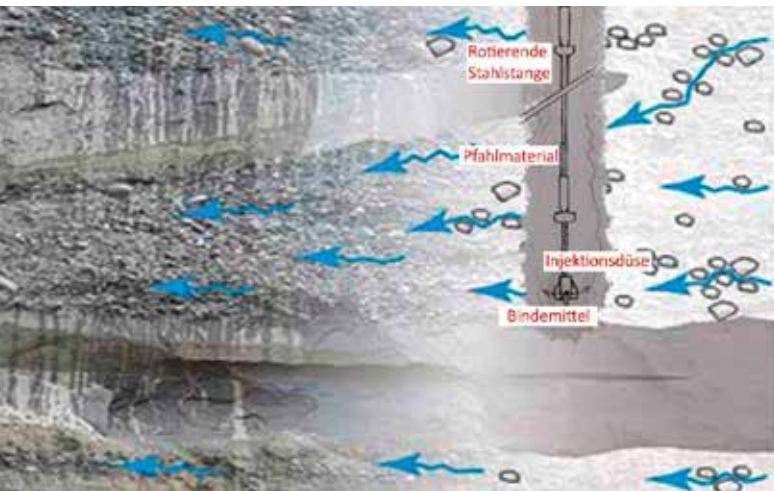


Fig. 1: Système de pieux NDJ (matériau du pieu = mélange de liant, d'eau et de matériel du sous-sol). Fig. 2 à droite: Positionnement de six pieux NDJ et de 18 tubes piézométriques (P2 à P16 dans les profils transversaux et KBI à KBIII).

Graphiques: mäd

En raison de la rareté des terrains à bâtir, les projets de construction réalisés de nos jours se situent souvent sur des sols saturés en eau et peu résistants. Pour bâtir dans de telles conditions, il est nécessaire de stabiliser les ouvrages à l'aide de pieux. Les mesures de construction prises dans les eaux souterraines doivent toutefois respecter certaines exigences liées notamment à la protection des aquifères. Les aménagements ne doivent affecter les eaux souterraines ni sur le plan qualitatif, ni sur le plan quantitatif. Par conséquent, au moment de choisir un système de stabilisation, il convient de tenir compte des phénomènes de lessivage des substances et de la géométrie des pieux, en fonction également de la profondeur de forage par rapport au niveau des eaux souterraines.

Les travaux décrits ci-après ont été menés dans le cadre d'un projet soutenu par Innosuisse (projet «Entwicklung eines grundwasserverträglichen NDJ-Pfähls»). Avec deux partenaires économiques – les entreprises Ghelma AG Spezialtiefbau et Holcim (Suisse) SA –, une équipe de scientifiques de la BFH a mis au point un système de pieux basé sur le lançage d'eau à basse pression

(NDJ), en examinant en particulier sa compatibilité avec les eaux souterraines. Dans l'optique du projet, on a testé au préalable en laboratoire la question du lessivage des substances ainsi que du transport des matériaux constituant le pieu. Les essais de terrain du projet avaient pour but de vérifier la préservation des eaux souterraines en conditions réelles.

## Un nouveau système de forage à basse pression

Le corps du pieu NDJ est constitué en faisant entrer par rotation un tube d'acier dans le sous-sol, tout en faisant pénétrer sous pression le matériel requis grâce à une buse d'injection située à l'extrémité inférieure de la tige (fig. 1). Le nouveau système présente des avantages déterminants par rapport aux procédés usuels: grâce à ce système «autoforant», dans lequel le tube fileté correspond à la fois à une tige de forage à usage unique et à une barre d'armature, il n'est plus nécessaire ni de retirer le tubage, ni d'introduire l'acier. Par rapport aux procédés actuels utilisant des tubes, il est généralement possible de doubler les performances. Grâce à la rotation lors du forage et aux pressions d'injec-

tion (jusqu'à 250 bars) utilisées pour introduire le liant spécifique à l'application, le matériau se dépose et s'imbrique étroitement dans la granulométrie du sol. L'expérience montre que cela exerce un effet positif sur le phénomène de transport du matériau injecté et sur les processus de lessivage.

## Testé avec succès en laboratoire et sur le terrain

Les résultats des études menées en laboratoire se sont révélés positifs: le lessivage se situait dans le domaine acceptable pour les paramètres examinés et on n'a pas pu détecter de transport de matériel ayant servi à constituer le pieu dans les eaux souterraines. Le nouveau système de pieux a été testé en conditions réelles dans un champ d'écoulement naturel. Pour cela, on a réparti 18 points de surveillance des eaux souterraines dans un terrain saturé en eau situé à l'intérieur d'un secteur Au de protection des eaux (Au > pour l'utilisation des nappes d'eau souterraine appropriées). En chacun de ces points, un forage abritait un tube piézométrique (fig. 2). Pour les preuves recherchées, le gravier sablonneux fortement perméable correspondait à un cas extrême

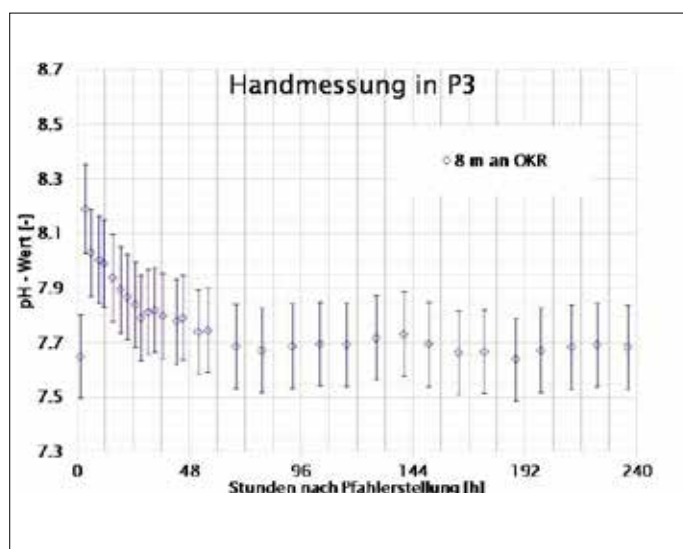


Fig. 3: Excavation des six pieux NDJ jusqu'en dessous du niveau des eaux souterraines. A droite: Evolution du pH (marge d'erreur:  $\pm 2\%$ ) pendant les dix heures suivant le forage; valeur indicative de 8,2 selon les critères du Département fédéral de l'intérieur (DFI), Berne (OPBD, 2016, état en 2018).

Photo et graphique: mäd

en ce qui concerne le transport du matériau des pieux et le lessivage des substances dans les eaux souterraines (dispositif expérimental correspondant à une approche prudente). Dans un premier temps, on a établi les conditions hydrogéologiques grâce à un monitoring des eaux souterraines et à deux essais de traçage, afin d'étudier le champ d'écoulement. Parallèlement à ces travaux de terrain, tout le dispositif expérimental a été modélisé numériquement. Il a ainsi été possible de vérifier et de reproduire les résultats des essais de terrain. Pour l'essai principal, six pieux NDJ ont été installés de manière à ce qu'ils forment une rangée perpendiculaire à la direction d'écoulement des eaux souterraines (fig. 2); on a également contrôlé la qualité des eaux souterraines aux divers points de surveillance. Sur le terrain, on a mesuré la température, la conductivité électrique et le pH. D'autres paramètres ont été définis en se fondant sur les exigences des directives étatiques et sur la composition du matériau utilisé, afin de les faire tester dans un laboratoire externe. Pour évaluer la diminution du débit, on a excavé les pieux (fig. 3), puis analysé leur géométrie en fonction de la profon-

deur jusqu'en dessous du niveau des eaux souterraines. Les géométries obtenues ont été comparées aux diamètres déterminés sur la base des calculs afin d'apprécier l'exactitude de ces derniers.

#### De nouvelles possibilités

Les seuls changements observés concernaient le premier profil transversal (P2 à P6, fig. 2). Ils ne se sont manifestés qu'à court terme et concernaient trois paramètres: le pH, le sulfate et le carbone organique dissous (COD). Aucune des valeurs mesurées n'entraîne en conflit avec les dispositions pertinentes issues des documents de l'OFEV. La brève hausse du pH et les légères variations du sulfate et du COD sont interprétées comme une réaction de l'eau souterraine à l'injection des pieux. Le transport du matériau des pieux a été examiné dans le sol graveleux peu cohésif à forte perméabilité hydraulique. On peut partir de l'idée que le lessivage et le transport sont moins marqués lorsque les conditions sont meilleures. En conclusion, on peut dire que la problématique de la qualité des eaux souterraines et de leur quantité a été abordée avec succès pour ce qui est des pieux NDJ dans les secteurs Au de protection des eaux. D'une

part, on a pu démontrer que les injections ne portaient pas atteinte à la qualité de l'eau potable. On a prouvé d'autre part que le diamètre requis pour le corps injecté pouvait être déterminé avant les travaux de forage. Le projet de recherche a mis en évidence le fait que le développement de nouveaux pieux NDJ était sans danger pour les eaux souterraines. De nombreuses nouvelles applications devraient en découler.

Franziska Nyffenegger  
Zohra Barhoumi  
Haute école  
spécialisée bernoise (BFH)  
Source: spirit biel/bienne, 03/2019

#### Lien:

Institut du développement urbain et de l'infrastructure ISI, [www.bfh.ch/isi](http://www.bfh.ch/isi)  
<https://tinyurl.com/y5uzxk52>