

7 Impact du colmatage des substrats sur la connectivité verticale

La connectivité entre la zone hyporhéique et l'écoulement est essentielle au développement de la faune benthique et à la bonne reproduction des poissons lithophiles. L'infiltration de sédiments fins entraîne un colmatage du lit du cours d'eau, réduisant ainsi la porosité et les échanges d'eau verticaux. Le cycle naturel de colmatage est altéré par les infrastructures et l'érosion des sols. Le présent chapitre comprend un bref tour d'horizon du processus et des facteurs entrant en jeu et illustre les propos avec quelques résultats expérimentaux. Les principes décrits sont ensuite appliqués à quelques cas courants.

Romain Dubuis, Robin Schroff et Giovanni De Cesare

7.1 Colmatage

Dans les cours d'eau naturels avec charriage, les pores du lit abritent une riche communauté écologique. On appelle zone hyporhéique la couche de substrats du lit qui relie les eaux superficielles et les eaux souterraines (Brunke et Gonser 1997). En général, celle-ci comporte principalement du gravier, des pierres et des blocs. Comme illustré à la figure 40, les interstices entre les grains du substrat constituent l'habitat primaire de nombreux organismes. Une bonne connectivité verticale permet des échanges actifs entre les eaux superficielles s'écoulant librement, les eaux présentes dans les pores de la zone hyporhéique et les eaux souterraines. Cette connectivité verticale peut aider le cours d'eau à s'autopurifier et à réguler l'équilibre

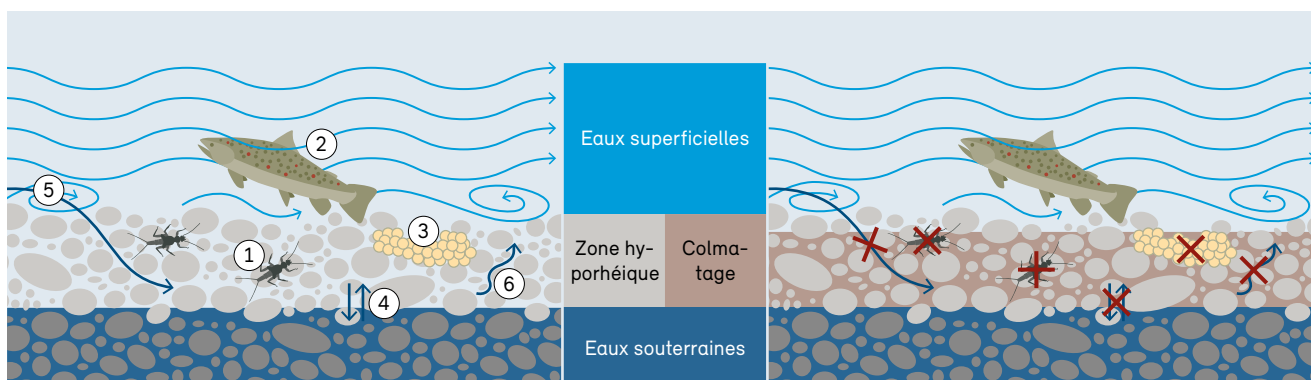
des eaux souterraines des zones alluviales. La communauté écologique indigène a besoin d'un habitat avec des flux d'eau non perturbés permettant un passage de particules, de nutriments, d'oxygène et d'autres composants dissous. Lorsque les espaces interstitiels sont colmatés par des sédiments fins, la fonction d'habitat de la zone hyporhéique est altérée (Bo *et al.* 2007).

7.1.1 Impacts du colmatage

Le colmatage désigne l'accumulation progressive de sédiments fins dans les espaces interstitiels du lit du cours d'eau (Wharton *et al.* 2017). Si le colmatage est un processus intrinsèquement naturel, il est souvent amplifié par l'activité humaine. La plupart du temps, les effets écologiques néfastes du colmatage excessif l'emportent. Le colmatage

Figure 40

La zone hyporhéique sert d'habitat primaire à des organismes interstitiels comme des macroinvertébrés (1). Des poissons frayant dans le gravier (2) enterrent leurs œufs (3) dans le substrat, où les conditions sont adéquates (Kondolf 2000). Des échanges (4) ont lieu entre les eaux souterraines et la zone hyporhéique (5 et 6) et entre la zone hyporhéique et les eaux superficielles. L'image à droite illustre la situation dans une zone hyporhéique colmatée.



détérioré l'habitat du lit du cours d'eau en modifiant sa composition et en perturbant ses flux (Pulg *et al.* 2013). Les changements de composition entraînent des effets dommageables directs sur les macroinvertébrés et les poissons (fig. 40 ; Sternecker *et al.* 2013). Les macroinvertébrés dépendent directement des espaces interstitiels pour leur habitat et utilisent la rugosité engendrée par les graviers pour éviter de dériver. Les poissons requièrent des substrats meubles pour construire leurs nids de frai. La perturbation des flux prive les macroinvertébrés ainsi que les œufs et les larves de poisson de nutriments et d'oxygène et altère le processus d'élimination des déchets métaboliques pendant la période d'incubation (développement des œufs). De plus, l'interruption des échanges avec les eaux souterraines, en général plus chaudes ou plus froides, perturbe un élément important sur le plan écologique, celui de la régulation de la température dans les substrats.

7.1.2 Le processus de colmatage

En général, on distingue trois types de colmatage différents selon le processus de formation : le colmatage physique, le colmatage biologique et le colmatage chimique. Le colmatage physique correspond à la pénétration de sédiments fins en suspension dans le substrat du lit du cours d'eau et à la formation d'une couche à faible conductivité hydraulique, à faible porosité et souvent à forte consolidation. Il en résulte une mauvaise connectivité verticale. La présence de matériaux fins et d'eau plus chaude ainsi que l'ensoleillement et l'absence d'événements perturbateurs promeuvent le développement de différents organismes tels que les algues, les diatomées et les bactéries, qui remplissent les pores et consolident le substrat, ce que l'on qualifie de colmatage biologique. Une réduction de la connectivité verticale et une consolidation du substrat peuvent également être le fait de réactions chimiques de solutés, tels que le calcium, qui précipitent et créent des liaisons. Le présent chapitre met l'accent sur le colmatage physique. Cependant, il ne faut pas négliger les effets de renforcement du colmatage biologique et du colmatage chimique dans l'analyse globale du degré de colmatage du lit d'un cours d'eau.

Le processus de colmatage et de décolmatage est cyclique et naturel. Il dépend de la fréquence des crues capables de mobiliser le lit du cours d'eau et de briser (partiellement

ou entièrement) la couche colmatée. Dès que le gravier composant le lit retrouve un état stable, une nouvelle phase de colmatage commence (Park *et al.* 2019). La figure 41 illustre ce cycle dans son intégralité. On distingue en général deux types de colmatage physique. Le colmatage de surface (fig. 43a) désigne le dépôt naturel au-dessus du substrat dans le cas d'une faible vitesse d'écoulement et d'une sédimentation naturelle (Schälchli, Abegg + Hunzinger 2001). Le colmatage interne (fig. 41 et fig. 43b) correspond quant à lui à la formation d'une couche de sédiments fins au sein de la zone hyporhéique. Ce processus fait intervenir une source de sédiments fins, une matrice de substrats comme support et de l'infiltration comme moteur.

La concentration de sédiments fins dans l'écoulement d'un cours d'eau dépend des conditions hydrogéologiques. Durant les périodes de crue et de décrue, ou dans les bassins versants comprenant un glacier, la concentration de sédiments fins est bien plus élevée (fig. 41.2 et fig. 41.3) en raison de l'érosion du sol et de la diffusion des sédiments fins piégés dans le lit. Le substrat joue le rôle de filtre en capturant au moins une partie des sédiments fins qui entrent dans la zone hyporhéique. Un haut degré de perméabilité est une condition sine qua non pour que la connectivité verticale soit fonctionnelle. À mesure que des particules se déposent, les interstices rétrécissent et seules les particules les plus fines peuvent venir se loger dans la matrice de substrats (fig. 41.1 et fig. 41.4). Une petite quantité d'eau, potentiellement chargée de sédiments en suspension, peut encore s'écouler à travers ce « filtre », si bien que la couche colmatée atteint finalement un niveau stable (fig. 41.1).

Le processus de filtration est régi par plusieurs mécanismes. Les eaux superficielles peuvent pénétrer dans la zone hyporhéique par pompage advectif (fig. 41.5), un processus généré par de faibles différences de pression à l'échelle locale (Fries et Taghon 2010). L'échange entre les eaux superficielles et les eaux souterraines joue un rôle majeur dans le processus de colmatage étant donné qu'il force ou empêche la pénétration de l'eau chargée de particules fines (Boano *et al.* 2014 ; Fox *et al.* 2018). L'infiltration et l'exfiltration (fig. 41.6) sont générées par le gradient de pression entre les eaux souterraines et les eaux superficielles ou sont le résultat de la morphologie du cours d'eau, par exemple en présence de seuils ou de cascades.

7.1.3 Facteurs d'influence et expériences de laboratoire

Le processus de dépôt de sédiments fins et la formation d'une couche colmatée dépendent de différents facteurs d'influence tels que : (i) le rapport entre la granulométrie des sédiments en suspension et celle des substrats du lit, (ii) les conditions d'écoulement, (iii) les échanges entre les eaux souterraines et les eaux superficielles et (iv) la concentration des sédiments fins. Ces facteurs ainsi que leurs interactions sont courants à la fois dans les cours d'eau naturels et ceux perturbés.

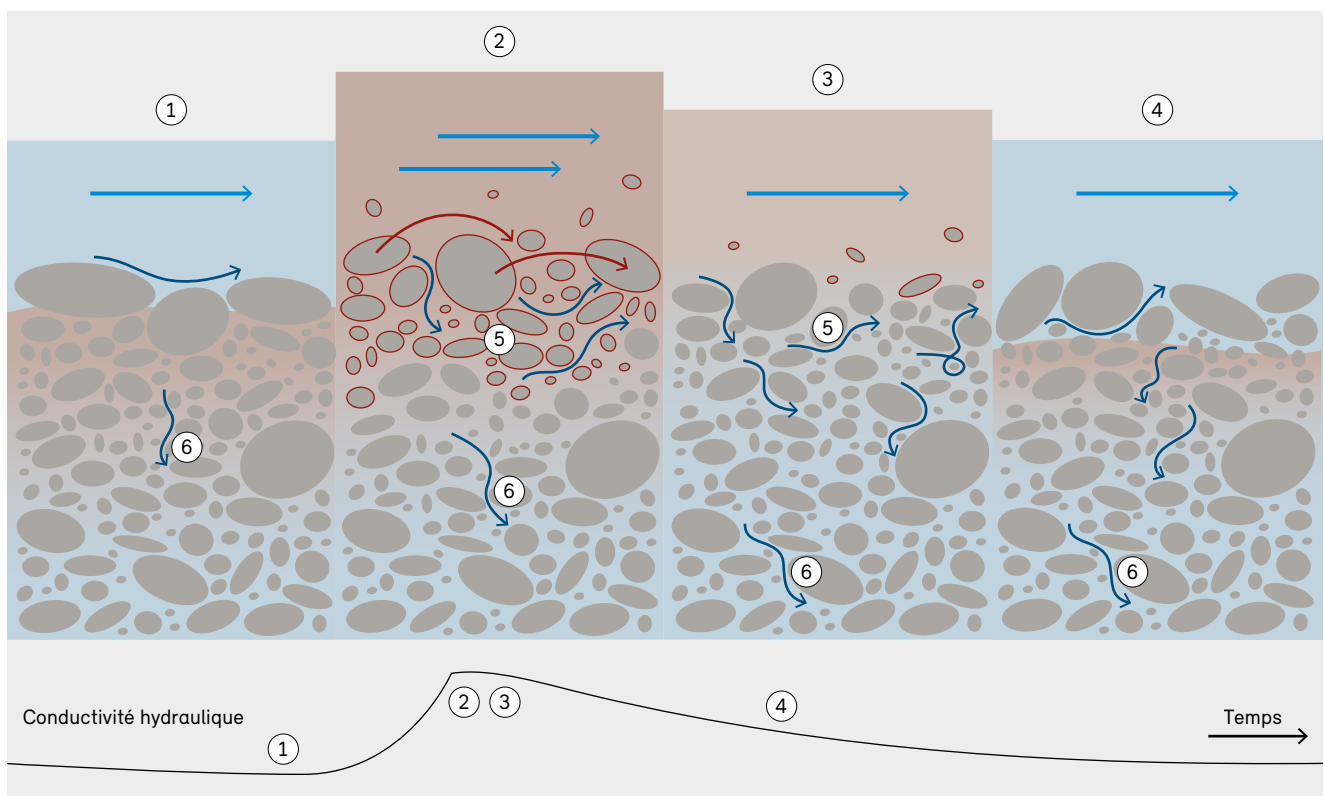
Afin de reproduire le processus de colmatage avec différents jeux de paramètres, des expériences de laboratoire ont été menées avec un canal expérimental à la Plateforme PL-LCH à l'EPFL (fig. 42). L'objectif de la recherche était d'analyser comment le degré d'infiltration et les conditions

d'écoulement influencent la conductivité hydraulique et la répartition verticale des matériaux déposés. Certains des résultats de ces expériences sont présentés aux figures 43 à 45.

(i) Le rapport entre la granulométrie des sédiments en suspension et celle des substrats du lit ainsi que le degré d'uniformité (c'est-à-dire l'écart-type de la répartition granulométrique) sont les principaux paramètres qui définissent à quelle profondeur les sédiments fins peuvent pénétrer dans la matrice de substrats. Des substrats grossiers et uniformes entraînent une augmentation de la percolation libre à travers la matrice jusqu'à ce qu'une couche imperméable ou plus fine soit atteinte. Les substrats contenant des grains à la fois grossiers et fins sont associés à une couche colmatée plus fine en raison de l'effet de filtrage du sable. La concentration de sédiments

Figure 41

Processus et cycle de colmatage. (1) Substrat colmaté avec une faible conductivité hydraulique ; (2) événement de crue accompagné d'un décolmatage, où l'écoulement pénètre sous le gravier et libère des particules fines ; (3) courbe de décrue, où le substrat présente une teneur faible en sédiments fins et la connectivité verticale est maximisée ; (4) création d'une nouvelle couche colmatée ; (5) pompage advectif ; et (6) infiltration d'eau.



fins dans les substrats suit habituellement un profil décroissant exponentiellement, avec une concentration maximale survenant à proximité du sommet de la couche colmatée, ce qui correspond à la saturation des pores (fig. 43 et fig. 45 ; Cui *et al.* 2008 ; Gibson *et al.* 2009). Cependant, la part la plus fine des sédiments en suspension peut atteindre des couches plus profondes du lit.

Des pores larges permettent une advection accrue dans le lit du cours d'eau, qui amène les particules dans des zones à faible contrainte de cisaillement où elles peuvent aisément se loger. Des expériences ont montré que du gravier grossier augmente les dépôts d'argile par comparaison à des substrats sableux (Mooneyham et Strom 2018). Ainsi, du gravier grossier situé sur du substrat plus fin (c.-à-d. une couche de pavage) peut faire augmenter les dépôts et la formation d'une couche colmatée sous la couche supérieure.

(ii) Les conditions d'écoulement impactent l'advection au sein de la zone hyporhéique ainsi que le taux de dépôt. Le dépôt de sédiments fins par advection semble engendrer une consolidation moindre par rapport à celui par infiltration (Cunningham *et al.* 1987). Cela s'explique par un forçage moindre et un plus faible différentiel de pression en l'absence d'écoulement sous-terrain. Sur le long terme, les conditions d'écoulement influencent la répartition granulométrique du substrat. À faible vitesse et donc à faible contrainte de cisaillement, des sédiments fins peuvent se déposer par gravité et rendre ainsi possible le colmatage de surface (fig. 43). Si la contrainte de cisaillement est élevée, la partie supérieure de la couche colmatée est située sous la surface du lit, à une profondeur où la remise en suspension est impossible. Cela limite l'augmentation du degré de colmatage ; en d'autres termes, la conductivité hydraulique atteint un niveau minimal (Schälchli 1993).

(iii) Des échanges entre les eaux souterraines et les eaux superficielles ont un effet considérable sur le colmatage, à travers l'infiltration et l'exfiltration. Dans le cas d'une exfiltration (ou remontée d'eau), l'écoulement moyen se fait en direction de la surface, entravant la pénétration des eaux superficielles et le dépôt de particules fines. Le colmatage est alors limité à des zones locales et dépend du caractère non uniforme de l'écoulement hyporhéique. Dans le cas d'une infiltration, une partie des eaux superficielles

Figure 42

Dispositif expérimental utilisé pour étudier le colmatage du substrat d'un cours d'eau à la Plateforme PL-LCH à l'EPFL. Le canal expérimental est composé d'une couche de gravier de 30 cm d'épaisseur. Les expériences permettent de définir la direction et l'intensité de l'écoulement à travers le gravier ainsi que les conditions d'écoulement des eaux superficielles.



Photo : R. Dubuis

chargées de particules en suspension est dirigée vers les eaux souterraines et le substrat du lit sert de filtre. Le flux d'eau dépend du degré de percolation (chute du niveau piézométrique sur une certaine distance) et de la conductivité hydraulique. Un haut degré de percolation entraîne en principe une augmentation de la profondeur de la couche colmatée (Schälchli 1993 ; voir également fig. 44). Les zones d'infiltration et d'exfiltration peuvent être liées à divers mécanismes, allant des écoulements locaux créés par les lits en forme de dunes à des échanges régionaux entre les eaux souterraines et les eaux superficielles (Tonina et Buffington 2009).

(iv) Les résultats de plusieurs études suggèrent que de hautes concentrations en sédiments fins font grimper le taux de dépôt et accélèrent le processus de colmatage (Schälchli 1993 ; Mooneyham et Strom 2018). La quantité de matériaux déposés et la baisse de conductivité hydraulique qui en résulte dépendent de la concentration de sédiments fins (fig. 45). Une couche colmatée plus fortement consolidée et plus épaisse semble se former lorsque des particules s'accumulent lentement, étant donné que davantage de particules sont en mesure de remplir les pores (Fetzer *et al.* 2017).

Figure 43

Comparaison entre deux expériences à la Plateforme PL-LCH à l'EPFL avec le même débit, mais des pentes et des profondeurs d'écoulement différentes, résultant en (a) du colmatage de surface et (b) du colmatage interne. Les graphiques du haut illustrent les profils de vitesse d'écoulement et ceux du bas, la teneur en sédiments fins correspondante dans le substrat à la fin des expériences, exprimé par $m_F m_{Fmax}^{-1}$, la masse de sédiments fins divisée par la masse maximale à saturation ; Z = profondeur verticale, D_m = diamètre géométrique moyen du substrat. Des vitesses d'écoulement faibles et la faible contrainte de cisaillement qui en découle (a), situation souvent observée dans les mouilles et sur les bancs de gravier, ont pour conséquence un colmatage de surface, visible sur la photo correspondante où la majeure partie du substrat est recouverte par les sédiments fins. Pour une vitesse d'écoulement élevée et une contrainte de cisaillement élevée en conséquence (b), des sédiments fins sont déposés uniquement sous la couche de pavage.

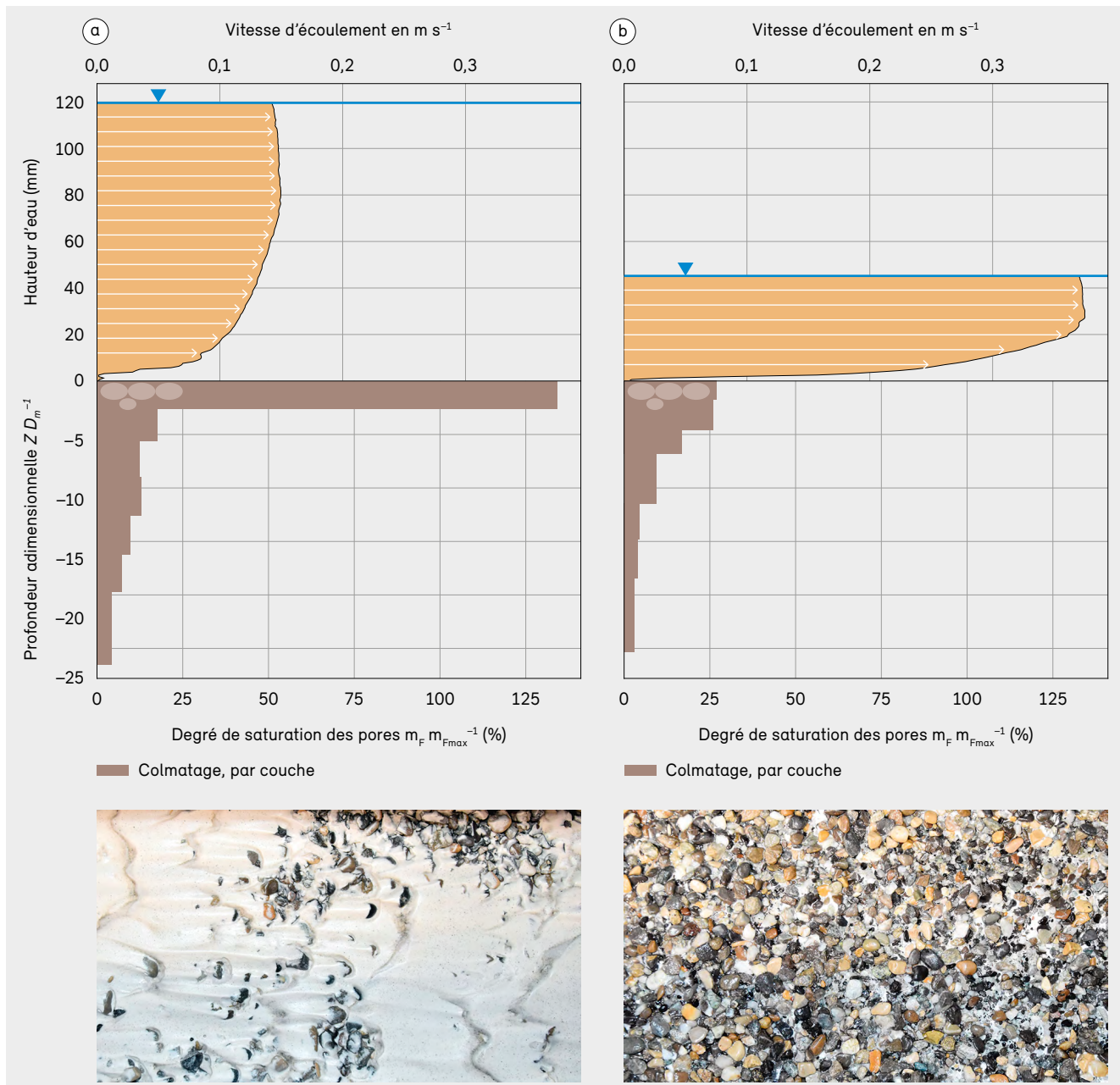
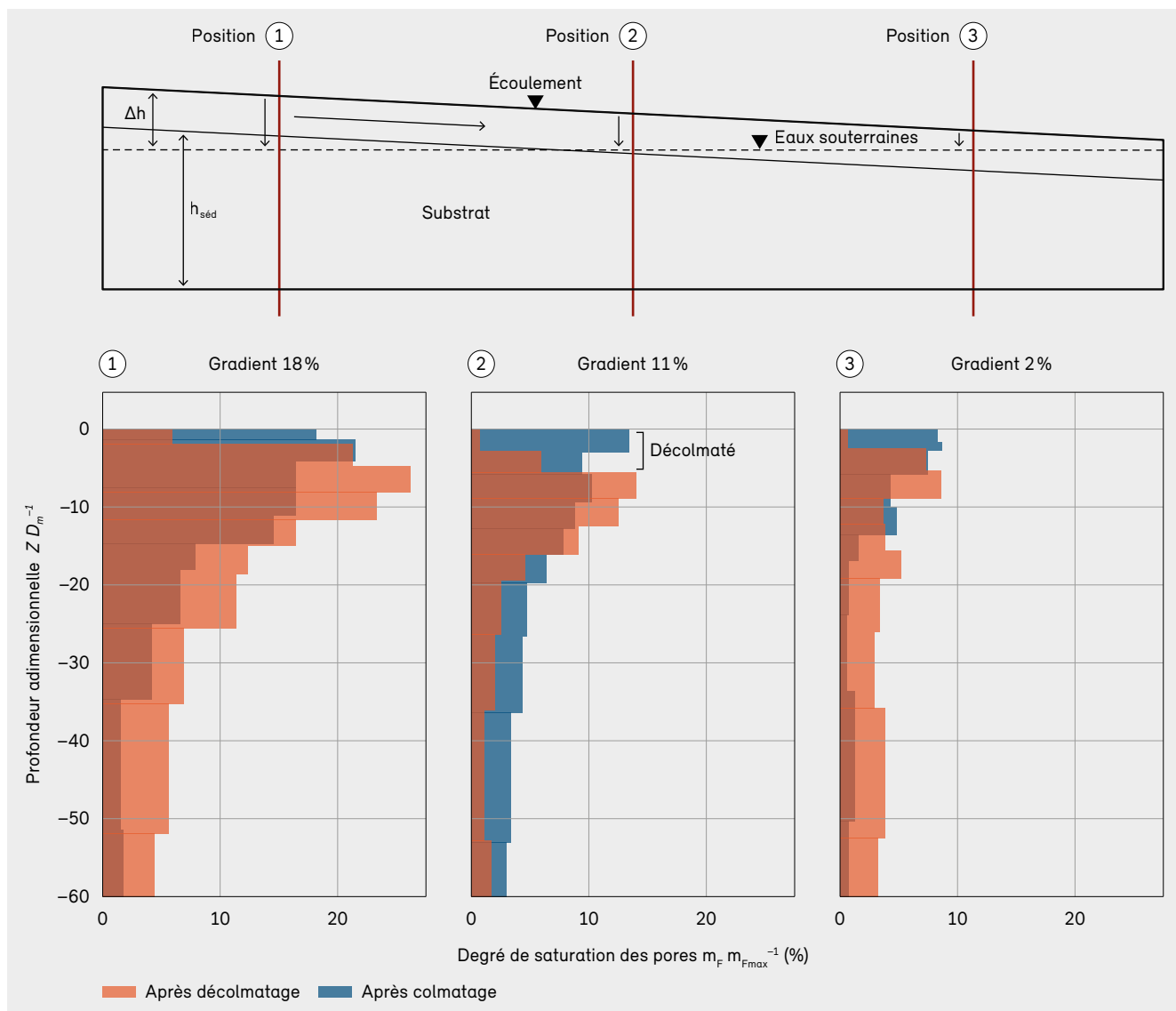


Figure 44

Effet du décolmatage sur le degré de saturation des pores sur trois sites le long du canal expérimental à la Plateformec PL-LCH à l'EPFL, qui correspondent à trois intensités d'infiltration différentes dues à la forte pente et au niveau horizontal des eaux souterraines. À l'emplacement 1, le haut degré de percolation au niveau local ($\Delta h h_{sed}^{-1}$) résulte en un colmatage accru, comme le suggère le niveau de saturation en sédiments fins élevé des pores. À l'emplacement 3, le faible degré de percolation a pour conséquence une quantité moindre de sédiments fins piégée dans les pores, tandis que l'emplacement 2 présente une situation intermédiaire. Le décolmatage se produit uniquement dans la partie supérieure du substrat, où on peut observer une diminution de la saturation des pores sur une profondeur de 1 à 4 D_m (diamètre géométrique moyen du substrat) aux trois emplacements.



Source : EPFL

7.1.4 Répartition spatiale du colmatage et dynamique du lit du cours d'eau

Les lits de cours d'eau naturels peuvent être vus comme une mosaïque de conditions hydromorphologiques variant localement sur la largeur du cours d'eau, entraînant la formation de colmatage sous diverses formes et à divers degrés au sein d'un cours d'eau. Le degré de colmatage dans un tronçon de cours d'eau doit être analysé à la fois dans l'espace et dans le temps et inclure les changements saisonniers de l'écoulement et de concentration des sédiments fins. Généralement, il est défini en fonction de la conductivité hydraulique, de la porosité et du degré de consolidation de la zone hyporhéique. Le colmatage de surface survient dans des zones où la vitesse d'écoulement est faible, c'est-à-dire dans les eaux peu profondes, dans des bancs de gravier et à proximité des rives, et éventuellement aussi dans les mouilles.

Les sédiments transportés par le cours d'eau influent sur le type de colmatage et son degré. Certains cours d'eau sont caractérisés par un transport massif de sédiments survenant uniquement lors des événements de crue mobilisant le lit, ce qui permet le décolmatage. Dans d'autres situations,

par exemple dans le Rhône canalisé dans les Alpes, on observe un transit de matériaux plus fins par-dessus du gravier grossier même lorsque la contrainte de cisaillement est faible. Le charriage n'engendre pas la destruction de la couche de pavage ni l'entraînement des sédiments fins piégés étant donné que la capacité de transport n'est en mesure de mobiliser que les matériaux de charriage fins.

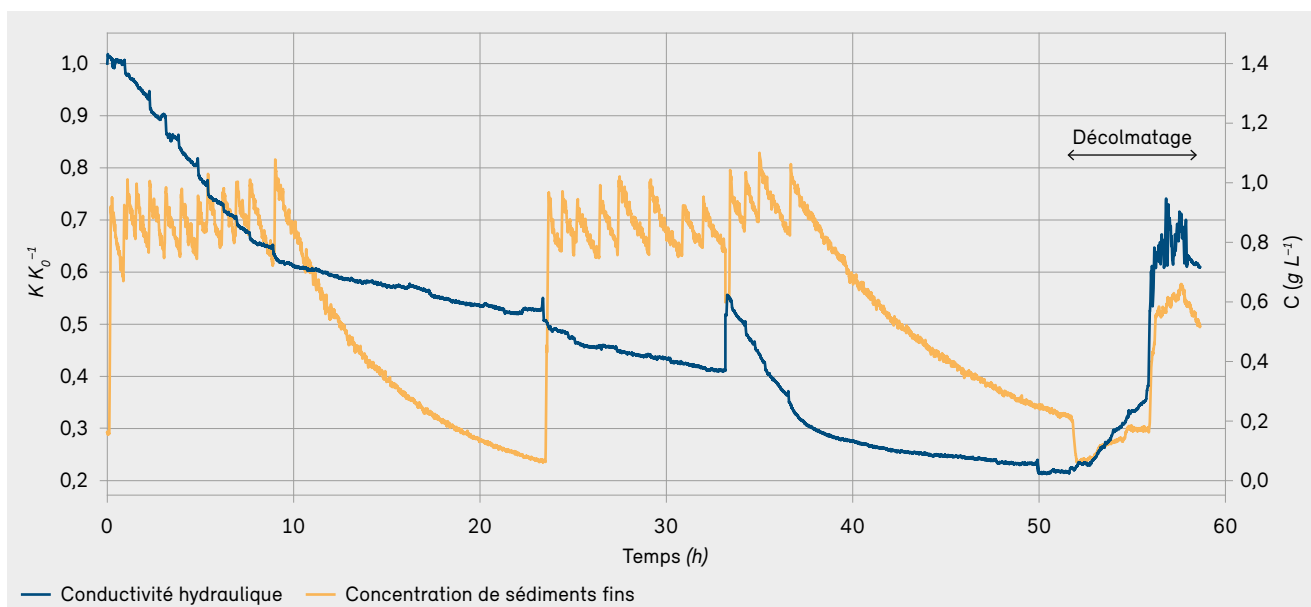
7.2 Décolmatage

7.2.1 Efficacité du décolmatage

L'efficacité du processus de décolmatage dépend de l'épaisseur de la couche mobilisée durant l'événement de crue. Dans les expériences à la Plateforme PL-LCH à l'EPFL, jusqu'à $3 D_m$ (diamètre géométrique moyen du substrat) environ ont été mobilisés (fig. 44). La conductivité hydraulique croît en conséquence, avec un gain prononcé lorsque le lit du cours d'eau commence à être mobilisé (fig. 45). Les couches supérieures du substrat sont habituellement les plus colmatées, mais aussi les premières à être décolmatées. Le fait que le décolmatage soit visible ne signifie pas que tous les sédiments fins qui se sont infiltrés ont été emportés par l'écoulement.

Figure 45

Conductivité hydraulique globale ($K K_0^{-1}$, par rapport à la valeur initiale) mesurée durant un cycle de colmatage-décolmatage. $K K_0^{-1}$ décroît plus rapidement lorsque les concentrations de sédiments fins sont élevées. Le pic à environ 33 heures est dû au prélèvement des échantillons. Le décolmatage accélère lorsque le lit commence à être mobilisé.



D'après Schälchli (1993), la contrainte de cisaillement adimensionnelle nécessaire pour que le décolmatage commence se situe autour de $\theta_k = 0,06$ et un décolmatage complet peut être observé pour $\theta_d > 0,07$, ce qui correspond à un charriage très bien développé. La durée minimale dont une crue a besoin pour rincer les sédiments fins colmatés d'un segment de cours d'eau dépend de la longueur du segment et de la vitesse d'écoulement à proximité du lit (vitesse de la dérive). Ce dernier paramètre contribue à déterminer si les sédiments en suspension sont transportés le long du segment de cours d'eau dans son entier, sachant que la majeure partie de la masse suspendue reste en général proche du lit (dans les 20 % inférieurs du cours d'eau). Cette vitesse peut être estimée à partir des profils logarithmiques usuels.

7.2.2 Conséquences de la consolidation

Le colmatage du substrat implique sa consolidation. La première conséquence qui en découle est le fait que les poissons doivent fournir un effort considérablement plus élevé pour libérer les substrats des sédiments fins avant le frai. De la même façon, il est plus difficile pour la faune benthique de pénétrer dans la zone hyporhéique. La deuxième conséquence est qu'il est moins probable qu'un décolmatage se produise. Cette boucle de rétroaction négative réduit la possibilité de conserver des lits de cours d'eau naturellement colmatés qui suivent les cycles de crues. Cependant, des travaux de recherche ont montré que la bioturbation peut augmenter la mobilité du lit en évacuant la partie fine des sédiments et peut favoriser les habitats pour le frai (Buxton 2018). Fournir des zones adéquates aux espèces qui favorisent la bioturbation telles que les salmonidés et certains types de macroinvertébrés pourrait ainsi aider à réduire le colmatage à l'avenir.

7.3 Changements anthropiques et leurs conséquences

Bien que le colmatage soit un processus naturel, les changements dans l'utilisation des terres et les infrastructures modifient considérablement l'écoulement et le régime sédimentaire des cours d'eau. Ces éléments touchent principalement les concentrations de sédiments fins et la mobilisation des lits des cours d'eau.

Plusieurs facteurs influent sur la concentration de sédiments fins dans les cours d'eau. Le moment et la durée des concentrations périodiques élevées de sédiments fins déterminent directement les effets sur le colmatage. La concentration de sédiments fins dans des cours d'eau comme le Rhône, qui est caractérisé par la présence de nombreuses usines hydroélectriques et de l'eau de fontes glaciaires, se maintient à des niveaux moyens à élevés tout au long de l'année. Dans ce contexte, l'infiltration prend place sur de longues périodes et engendre un important colmatage interne. Cependant, des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires pour comprendre l'effet cyclique de conditions d'écoulement variables et de concentrations de sédiments élevées associées à des crues.

Dans les bassins hydrographiques proches de l'état naturel, des concentrations de sédiments moyennes ou élevées dans l'écoulement sont généralement associées à des événements de crues, et la majeure partie du processus de colmatage survient pendant les heures et les jours suivant ces événements. Dans les cours d'eau comprenant des seuils et des mouilles, les conditions dynamiques et la variété des zones d'infiltration et d'exfiltration d'eau entraînent une distribution irrégulière des sédiments fins. La configuration dynamique du cours d'eau dans le temps contribue à décolmater les bancs et à en refaire un milieu adéquat pour le frai.

Les changements anthropiques peuvent être résumés selon les points ci-après.

- Changements concernant l'utilisation des terres, la présence de sols ouverts et l'érosion en raison des activités agricoles et des constructions : un colmatage accru engendré par des concentrations plus élevées de sédiments fins peut générer une couche colmatée davantage consolidée, qui sera plus difficile à briser durant les crues naturelles.
- Changements climatiques : des températures plus élevées, une augmentation des événements de précipitations extrêmes et une fonte accélérée des glaciers entraînent un écoulement d'eau accru avec des concentrations élevées de sédiments fins.
- Canalisation des cours d'eau : des conditions d'écoulement uniformes sont associées à une faible variation

de la taille des graviers. Le taux d'infiltration peut varier le long d'un tronçon et conduire à différents degrés de colmatage. Si une couche de pavage est présente, le lit du cours d'eau est rarement mobilisé et renouvelé. Le charriage (ou une rupture occasionnelle de la couche de pavage) peut restreindre la formation d'une couche colmatée à proximité de la surface du substrat, mais une couche colmatée plus profonde peut se former.

- Écoulement régulé (résiduel) dans les cours d'eau à l'aval des barrages, discontinuité des sédiments, réduction de la fréquence des crues et mobilisation des sédiments : une obstruction du transport de sédiments peut résulter en un substrat plus grossier en raison du déficit de charriage et de l'érosion du lit du cours d'eau (Facchini 2017 ; voir également le chap. 9 ; Mörtl *et al.* 2023). Cela entraîne la formation d'une couche de pavage grossière qui est rarement mobilisée à nouveau. Le décolmatage s'en voit entravé. L'absence de crues transforme le lit en un puits pour les sédiments fins. Les colmatages biologique et chimique peuvent accentuer ces effets. La couche de pavage grossière favorise la capture de sédiments fins, un dépôt se formant sous la couche de pavage, tel qu'on a pu l'observer le long de la Sarine (canton de Fribourg). Un écoulement régulé diminue le potentiel de réponses morphogéniques en cas de crue et réduit donc les possibilités de décolmatage.
- Diffusion soudaine d'une grande quantité de sédiments fins (vidange de réservoir) : de grandes quantités de sédiments fins sont déposées sur la surface et les couches supérieures du lit du cours d'eau. Un colmatage de surface est probable dans les mouilles et dans les zones temporairement humides ou à faible contrainte de cisaillement. Une vidange avec de l'eau propre peut aider à restaurer une surface non colmatée, mais une contrainte de cisaillement suffisante est nécessaire pour libérer les sédiments fins piégés dans la zone hyporhéique.
- Éclusées : bien que l'écoulement varie, la contrainte de cisaillement créée par les régimes de crue est en général insuffisante pour permettre un décolmatage. Une couche de pavage résistante aux débits récurrents peut se former. Il a parfois été suggéré que les éclusées entraînent davantage de colmatage (Schälchli, Abegg + Hunzinger 2002). Cependant, bien que d'autres travaux de recherche soient nécessaires pour étayer ce point, une étude récente (Hauer *et al.* 2019) a montré qu'il semble n'exister aucune corrélation directe

entre l'infiltration de sédiments fins et la variabilité des débits dans les cours d'eau concernés par les éclusées. Toutefois, dans de tels cours d'eau, il y a souvent une différence entre la zone humide en permanence, sans colmatage de surface, et la zone temporairement humide, où des sédiments fins s'accumulent et rendent la surface étanche. Cela peut être dû à l'érosion et aux dépôts sur les rives causés par la haute fréquence des fluctuations de débit.

7.4 Conclusions

La répartition granulométrique du substrat et l'interaction entre les eaux superficielles et les eaux souterraines ont des effets significatifs sur le colmatage et le décolmatage, la remontée d'eau empêchant un colmatage à large échelle. Les activités et les infrastructures humaines modifient le processus naturel et cyclique, principalement en raison de concentrations de sédiments fins plus élevées, et changent de même le régime de crue et le transport de sédiments. Au lieu de présenter un colmatage distribué irrégulièrement et à des degrés variables à l'instar des systèmes naturels, les cours d'eau canalisés au débit régulé connaissent davantage de colmatage sur des zones de taille importante et presque aucun décolmatage saisonnier. Des événements de décolmatage, au moins partiels, devraient avoir lieu chaque année pour conserver une bonne connectivité verticale afin d'améliorer les chances de succès des poissons frayant et les habitats de la faune benthique. La réussite du décolmatage de la zone hyporhéique est largement dépendante des crues capables de mobiliser le substrat et de briser la couche de pavage. Des cours d'eau dans un état proche du naturel et connaissant davantage de crues naturelles (engendrant un décolmatage) ainsi qu'un transport accru de sédiments naturels sont nécessaires. De plus, les effets néfastes des colmatages biologique et chimique ne doivent pas être négligés, en particulier dans les systèmes où la température de l'eau est élevée.

Encadré 10 : En pratique – évaluation du colmatage

Tobias Meile, BG Ingénieurs Conseils SA

Un objectif majeur de la politique suisse de la protection des eaux est de renaturer les cours d'eau en fixant des espaces réservés aux eaux, en mettant en place des mesures de revitalisation et en réduisant les dégâts écologiques engendrés par la production hydro-électrique. Dans ce contexte, deux guides de mise en œuvre décrivent des méthodes pratiques pour analyser le colmatage interne et externe (Tonolla *et al.* 2017).

Ces méthodes d'analyse ont été utilisées dans plusieurs cours d'eau alpins et préalpins comme la Sarine, le Rhône, la Dranse de Ferret, la Dranse de Bagnes et la Matter Vispa. La méthode proposée par Schälchli, Abegg + Hunzinger (2002), qui implique d'évaluer le degré de colmatage (de nul à très élevé) en utilisant des images comparatives, est pratique et largement employée, mais elle se limite à la partie temporairement humide du cours d'eau. Dans l'idéal, l'évaluation est réalisée lorsque les niveaux d'eau sont extrêmement bas et par beau temps. La méthode développée par Guthruf (2014) (force nécessaire pour extraire une tige en acier) et la méthode des bottes (force nécessaire pour pénétrer le substrat) (Schälchli, Abegg + Hunzinger 2002 ; Pulg *et al.* 2013)

sont autant de solutions pour évaluer le colmatage dans les zones humides. Cependant, ces solutions ne conviennent pas dans les cours d'eau alpins hautement structurés à forte pente (supérieure à 1 %). Comme le substrat est relativement grossier et qu'une couche de pavage est potentiellement présente, le risque est élevé de systématiquement attribuer la classe de colmatage la plus élevée indépendamment du véritable degré de colmatage interne.

Pour obtenir des résultats solides, il y a lieu de récolter trois ou quatre échantillons par site, de comparer différentes méthodes et d'analyser des segments de cours d'eau qui ne sont pas influencés par des activités humaines. Pour l'interprétation des résultats, il est important de tenir compte du contexte, notamment (1) du colmatage naturel, souvent présent dans le cas des eaux glaciaires, (2) de la dernière crue ayant reformé le lit ou éliminé la couche de pavage et (3) d'événements particuliers tels que les coulées de débris, les glissements de terrain et les vidanges de réservoirs.

Il faut par ailleurs veiller à garantir des conditions de travail sûres dans le lit du cours d'eau, en particulier à l'aval d'installations hydroélectriques. Une planification minutieuse est un facteur essentiel pour des évaluations efficaces des sites.