

A

Processus hydrologiques dans les bassins versants

- **Fiche A-1** Organisation des bassins versants : compartimentation physique /compartimentation hydrologique fonctionnelle
- **Fiche A-2** Circulations d'eau dans les bassins versants : processus hydrologiques

Voir également les autres fiches disponibles sur les thèmes suivants :

B

Rôle, formes et transferts d'éléments intervenant dans la qualité des eaux

C

Temps de réponse des bassins versants

D

Les mécanismes de perturbation littorale liés aux apports terrestres de nutriments

E

Indicateurs pour la représentation des données de suivi et leur méthode de calcul

F

Clés de lecture ou d'interprétation des chroniques de suivi de la qualité des eaux

G

Protocoles de suivi de la qualité de l'eau dans les bassins versants

H

Impacts de la gestion de l'interculture sur la qualité de l'eau


I

Le phosphore dans le sol

J

Rôle des éléments du paysage dans le bassin versant

Glossaire

Tous les mots marqués par le symbole  sont définis dans le glossaire.

ORGANISATION DES BASSINS VERSANTS : COMPARTIMENTATION PHYSIQUE / COMPARTIMENTATION HYDROLOGIQUE FONCTIONNELLE

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Le **milieu physique** au sein des bassins versants est hétérogène et conduit à un premier type de compartimentation verticale des bassins versants. Il est composé de 3 couches :
 - le sol : généralement de type limono-acide
 - la roche altérée
 - la roche mère : socle ancien (schiste ou granite), peu perméable, fissuré et fracturé.
- La position de la **nappe d'eau**, qui contrôle en partie les transferts de solutés tels que les nitrates, conduit à un second type de compartimentation, plus fonctionnelle :
 - la **zone saturée** dans laquelle la nappe est présente
 - au dessus, la **zone non saturée**, partiellement remplie d'eau.Le niveau supérieur de la nappe dans les bassins versants sur socle est caractérisé par :
 - une faible profondeur (0 à 1 m dans les bas de versants, 2 à 10 m dans les hauts de versant),
 - une forte réactivité aux pluies en hiver,
 - une profondeur fluctuante, avec un battement de nappe supérieur à 5 m dans les hauts de versant.
- Ces deux facteurs, hétérogénéité du milieu physique et position de la nappe, contrôlent largement les schémas de transferts de solutés dans les bassins versants armoricains.

COMPARTIMENTATION PHYSIQUE DES BASSINS VERSANTS BRETONS

Dans les bassins versants, les milieux traversés par l'eau et les solutés qu'elle véhicule tels que les nitrates, entre la surface du sol et le cours d'eau, sont divers. **Les bassins versants bretons sont pour la plupart des bassins sur socle ancien granitique ou schisteux.** On peut y distinguer 3 couches de nature et de propriétés différentes (Figure 1).

Le sol

En Bretagne, **le sol est généralement de type limoneux acide.** La teneur en matière organique est variable à l'échelle régionale. Les sols sont **d'épaisseur moyenne**, de l'ordre du mètre. La profondeur est toutefois très variable à l'échelle locale et difficile à apprécier. Les sols présentent une forte perméabilité. Ils sont généralement bien drainés en haut de versant et hydromorphes en bas de versant (Curmi et al., 1998). Ils sont le lieu de transformations biogéochimiques de l'azote en raison de la présence de matière organique et d'une forte activité biologique (*voir fiche B-1*).

● La roche altérée (altérites de schiste, ou arènes granitiques)

Elle résulte des processus d'altération de la roche mère sous-jacente. L'épaisseur de la couche altérée est très variable, de l'ordre de une à plusieurs dizaines de mètres, et généralement plus importante en haut qu'en bas de versant. Les propriétés hydrologiques des altérites dépendent de leur caractéristiques minéralogiques et granulométriques, de leur degré d'altération et de leur épaisseur : elles sont très variables à l'échelle locale.

● La roche mère (ou substrat, substratum, socle)

Elle est constituée de terrains cristallins : schistes, granites, gneiss pour la plupart. La roche mère est **très peu perméable**. Les substrats en Bretagne sont des milieux dits **fracturés** : l'eau circule dans les fissures et les fractures et non pas dans la matrice de la roche. Les propriétés d'écoulement dépendent de son état de fracturation, de leur connectivité, très variable spatialement, et du réseau de fractures. Il peut toutefois y avoir des échanges d'éléments chimiques entre la roche et l'eau qui circule dans les fissures.

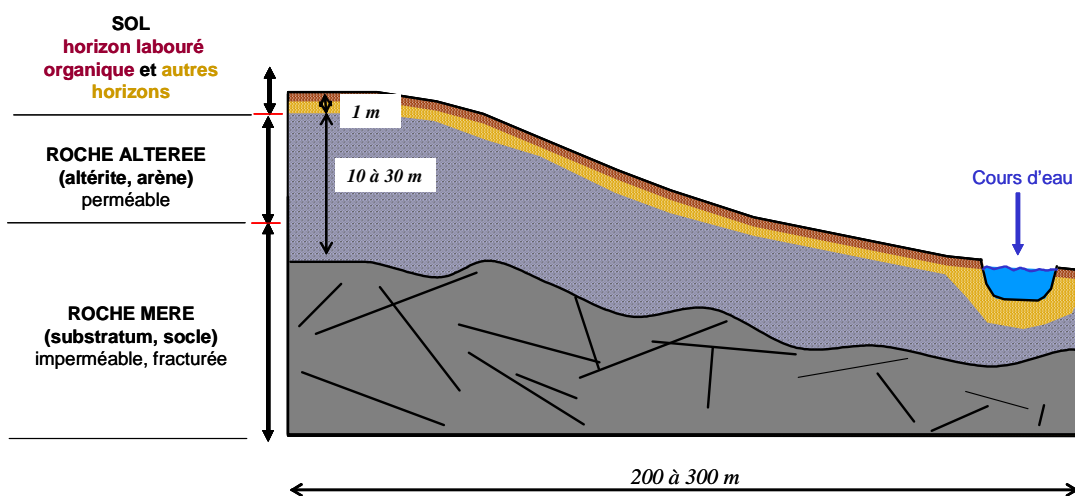


Figure 1 : Coupe schématique d'un versant.

● COMPARTIMENTATION HYDROLOGIQUE FONCTIONNELLE

Il est possible d'adopter un autre point de vue et de définir, au sein du bassin, des compartiments au fonctionnement hydrologique comparable, à partir de la position de la nappe, qui contrôle en grande partie l'hydrologie des bassins versants bretons.

La nappe peut se situer dans les 3 milieux constitutifs du bassin versant, sol, altérite ou socle :

- dans la porosité interstitielle du sol et de l'altérite (porosité liée à l'assemblage des particules de sol ou d'altérite et à l'activité biologique),
- dans les fractures ou les fissures du substrat géologique.

Les altérites constituent un **aquifère** de grande capacité dans les bassins versants armoricains, alors que les fissures et les fractures du substrat géologique non altéré constituent un réservoir de capacité plus faible mais de forte transmissivité, c'est-à-dire que les transferts y sont relativement plus rapides (Martin, 2003)

● **Compartmentation verticale : zone saturée, zone non saturée, zone de battement de nappe**

Le toit de la **nappe** est localisé très différemment dans les trois milieux (sol, altérite, socle) selon les saisons et la position topographique dans le bassin.

Le **niveau de la nappe est caractérisé par de fortes fluctuations saisonnières** (Gascuel-Oudoux et al., 2004) :

- En haut de versant : la profondeur de la nappe est de 1 à 2 m sous la surface du sol, durant les périodes de hautes eaux (décembre à mars, selon les années climatiques), elle peut atteindre 8 à 10 m dans les périodes de basses eaux (juin à septembre).
- En bas de versant, les fluctuations sont plus faibles : la nappe affleure à la surface du sol en hiver et descend à 1 ou 2 m de profondeur durant les mois d'été

A partir de la localisation de la nappe au cours des saisons, on définit donc **trois zones fonctionnelles** (Figure 2) :

- la **zone non saturée** : il s'agit de la zone située en surface, que la nappe n'atteint pas et dont une partie de la porosité seulement est remplie d'eau. Selon les bassins versants et la position topographique considérée, la zone non saturée est constituée par le sol et/ou l'altérite.
- la **zone de battement de nappe** : elle correspond à la zone dans laquelle la nappe fluctue au cours de l'année. Elle est saturée en eau pendant une partie de l'année.
- la **zone saturée** : il s'agit de la zone, située en profondeur, que la nappe occupe pendant toute l'année et dont toute la porosité est remplie par de l'eau en permanence.

Les propriétés hydrodynamiques (transfert, vitesse de l'eau) des 3 compartiments sont différentes.

● **Compartmentation horizontale : zone bien drainée, zone humide de bas de versant**

La position de la nappe par rapport à la surface topographique conduit à définir une compartimentation latérale des versants (amont - aval) en deux domaines :

- une **zone bien drainée** correspondant aux **domaines de plateau et de haut de versant**, où les **sols sont bien drainés et où une circulation verticale de l'eau domine** (voir fiche A-2) ;
- une **zone humide de bas de versant**, où les écoulements convergent et où la **nappe remonte jusque dans les horizons les plus superficiels du sol et affleure une partie de l'année**. Les sols présentent un caractère hydromorphe, avec un engorgement temporaire ou permanent.

L'extension relative des deux domaines est variable entre les bassins versants. Les zones humides de bas de versant représentent en moyenne 15 à 20% de la surface des bassins versants bretons (Mérot et al., 1999).

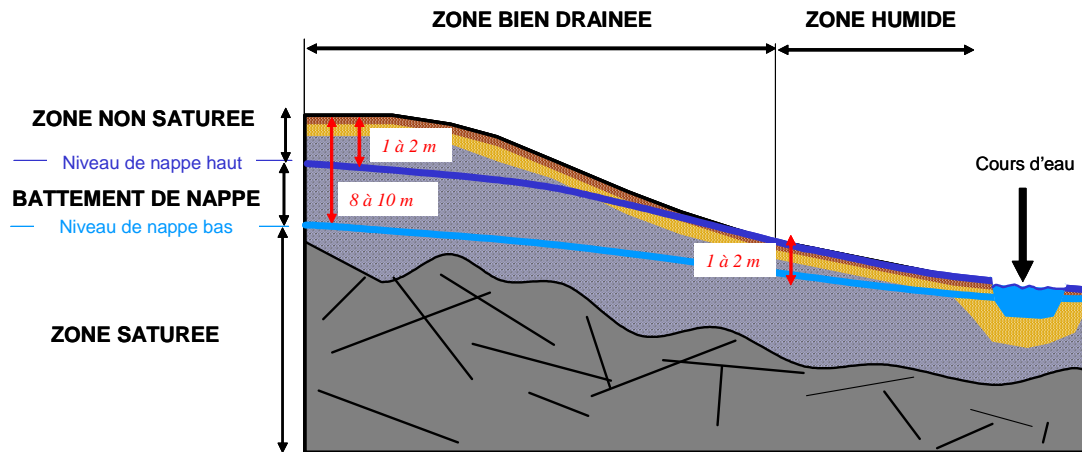


Figure 2 : Compartimentation fonctionnelle d'un versant, liée à la localisation du toit de la nappe.

REFERENCES

Curmi P. ; Walter C. ; Hallaire V. ; Gascuel-Oudoux C. ; Widiatmaka ; Taha A. ; Zida M., 1998. Les sols du bassin versant du Coet-Dan : caractéristiques hydrodynamiques des volumes pédologiques. In : C. Cheverry (ed), Agriculture Intensive et Qualité des Eaux. INRA. P 109-127.

Gascuel-Oudoux C. ; Aquilina L. ; Martin C. Molénat J., 2004. Modèles hydrologiques et temps de réponse. In Savoirs et Savoir-faire sur les bassins versant. Pollution de l'eau et dynamique de restauration de sa qualité en milieu rural. Vannes, 20-22 avril 2004. p 195-203.

Martin C., 2003. Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versant agricoles. Approche expérimentale et modélisation. Thèse de l'Université de Rennes 1, 267p.

Mérot P. ; Molénat J. ; Gascuel-Oudoux C. ; Durand P. ; Kao C. ; Arlot M.P. ; Nédélec Y. ; Chaumont C. ; Pinay G. ; Curmi P. ; Esneault C. ; Ruiz L. ; Beaujouan V. ; Bariuso E. ; Burel F. ; Baudry J. ; Hubert-Moy L. ; Levasseur J. ; Clément B. ; Hollier-Larousse A. ; Walter C., 1999. TY-FON : Typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse. Rapport de synthèse de deuxième année, Mars 1999, 34 p. + annexes.

CIRCULATIONS D'EAU DANS LES BASSINS VERSANTS : PROCESSUS HYDROLOGIQUES

● CE QU'IL FAUT RETENIR

- Les différents types d'écoulements d'eau dans les bassins versants sur socle sont synthétisés dans la Figure 1 :

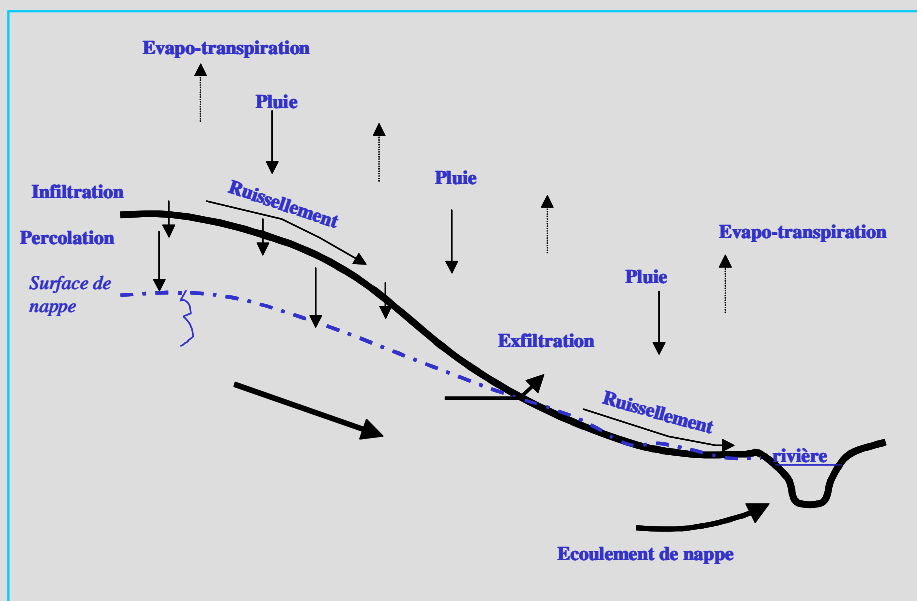



Figure 1 : Les écoulements d'eau dans les bassins versants sur socle.

- L'écoulement de nappe**, qui désigne l'eau qui s'est infiltrée dans le sol des bassins versants (par opposition au ruissellement en surface du sol) et qui a été transférée via la nappe jusqu'à l'exutoire, est l'un des chemins majeurs de circulation de l'eau dans les bassins versants armoricains :
 - à l'échelle de l'année hydrologique, l'écoulement de nappe représente 95% de l'écoulement total,
 - à l'échelle de la crue, l'écoulement de nappe représente 70 à 90% de l'écoulement total, le ruissellement reste modéré (10 à 30%).
 Les écoulements de nappe sont aussi appelés **écoulements souterrains**.
- L'écoulement de l'eau vers la nappe** dans la zone non saturée est essentiellement **vertical**. Ces transferts sont lents avec une **vitesse de l'ordre du mètre par an**. Les **écoulements de nappe** sont essentiellement **latéraux**. Les temps de transfert sont hétérogènes allant de quelques jours, en bas de versant, à plusieurs années.
- Trois grandes familles de facteurs contrôlent les écoulements** d'eau :
 - La **végétation** : influence le retour de l'eau vers l'atmosphère par évaporation et transpiration et l'infiltration dans le sol
 - La **topographie** : influence la vitesse des écoulements
 - La **pédo-géologie** : joue sur la perméabilité, la porosité, le partage des écoulements entre la surface et la subsurface,
- Les nitrates, éléments très solubles, sont transportés par les écoulements souterrains (infiltration, percolation, écoulements de nappe). Les eaux de ruissellement sont généralement peu chargées en nitrates.

● ENTREE D'EAU DANS LES BASSINS VERSANTS : NOTION DE PLUIE EFFICACE


L'eau de pluie précipitée sur un bassin versant se répartie en deux composantes :

- l'eau qui retourne à l'atmosphère par évaporation ou par la transpiration des végétaux,
- l'eau qui s'écoule en surface du sol ou qui s'infiltré dans le sol et qui participe à l'écoulement dans la rivière. Cette composante est appelée  **pluie efficace**.

Dans le reste de cette fiche, on ne s'intéressera qu'à l'eau qui contribue à l'écoulement dans un bassin versant : les processus d'évapotranspiration ne sont pas détaillés ici.


● LES ECOULEMENTS D'EAU DANS LES BASSINS VERSANTS BRETONS


La quantité d'eau collectée puis transportée par le cours d'eau provient :


- des précipitations directes à la surface du cours d'eau
- l'eau qui circule à la surface du sol (ruissellement)
- l'eau qui s'infiltré et qui est transférée via le sol et la nappe du bassin versant jusqu'à l'exutoire du bassin :  **écoulements souterrains** (en anglais : subsurface flow)

La proportion entre les écoulements de surface et les écoulements souterrains est définie par la quantité d'eau infiltrée dans le sol.

● **L'infiltration**

 **L'infiltration** désigne le passage de l'eau de la surface du sol vers l'intérieur de celui-ci.

L'estimation de l'importance du processus d'infiltration permet de déterminer quelle fraction de la pluie va participer à l'écoulement de surface, et quelle fraction va alimenter les écoulements souterrains et donc aussi participer à la  **recharge** des nappes souterraines. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol. La progression de l'eau dans le sol est régie par la gravité, force motrice dominante lorsque le sol est saturé en eau, à laquelle s'ajoutent des forces d'attraction exercées par le sol sur l'eau (suction), lorsqu'il n'est pas saturé.

L'infiltration est contrôlée par la  **capacité d'infiltration** (ou infiltrabilité) locale du sol en surface, qui représente le flux d'eau maximal (en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou s'il est recouvert d'eau.

La capacité d'infiltration dépend :

- de la texture du sol : elle décroît des sables vers les limons et les argiles.
- de son état structural (présence d'agrégats, de mottes, d'une croûte de battance moins perméable en surface)
- de son humidité : elle décroît quand l'humidité augmente.

Elle est **très variable dans l'espace**, en raison de la variabilité spatiale des propriétés des sols, **et dans le temps** :

- à l'échelle de l'événement pluvieux en raison de la modification de l'humidité du sol et de la dégradation possible de son état structural qui évoluent sous l'effet de l'impact des gouttes de pluie,
- à l'échelle intra-annuelle car l'état structural du sol dépend de l'activité biologique des sols et des pratiques agricoles.

Le ruissellement

Le **ruissellement** désigne l'écoulement de l'eau à la surface du sol. Il se produit dans deux types de situations :

- lorsque la capacité d'infiltration du sol est dépassée
- lorsque le sol est saturé jusqu'à la surface.

Le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration du sol, dit ruissellement hortonien

Le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration survient lorsque l'intensité de la pluie (IP en mm/h) est supérieure à la capacité d'infiltration du sol (CI en mm/h).

- Si $IP < CI$: il n'y a pas de ruissellement
- Si $IP > CI$: il y a ruissellement R avec $R = P - CI$.

Dans le massif armoricain, la capacité d'infiltration des sols varie de l'ordre de 1 mm/h à au moins plusieurs dizaines de mm/h. L'intensité des pluies est rarement supérieure à 10 mm/h (1 à 3 fois par an en fonction des localisations) : compte tenu des propriétés hydrodynamiques des sols et des intensités de pluie, le **ruissellement hortonien se produit rarement dans les bassins versants bretons et ne contribue que pour une faible part aux écoulements annuels**. Il est favorisé sur les sols nus où une croûte de battance peut se développer en surface du sol et limiter l'infiltration (Figure 2).

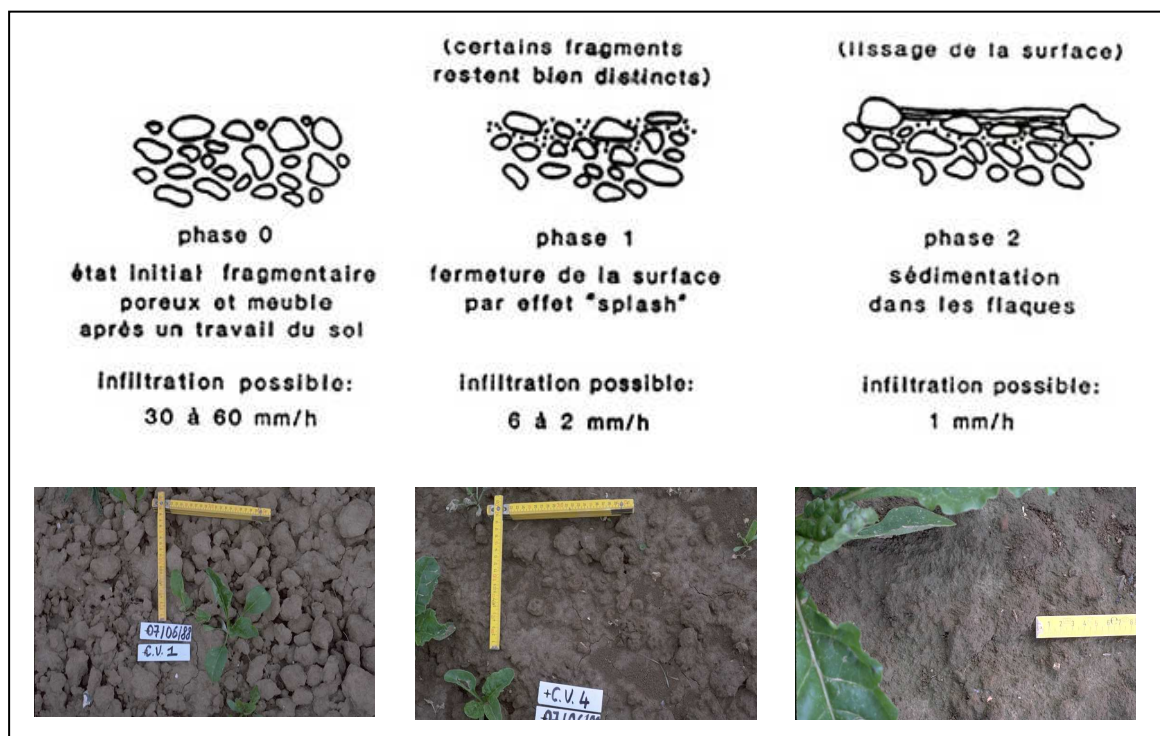


Figure 2 : Formation d'une croûte de battance à la surface du sol sous l'effet des pluies (Boiffin, 1984).

Les eaux de ruissellement peuvent se réinfiltrer au cours de leur cheminement vers le cours d'eau, en fonction de variabilité spatiale de la topographie, des propriétés du sol, des couverts végétaux.

Le ruissellement hortonien est responsable entre autres des transferts de pesticides et de phosphore sur les plateaux et les hauts de versants.

- **Le ruissellement sur surface saturée**

Il se produit sur les sols dont le profil est saturé (par le dessous), les pluies (P) tombant sur ces surfaces ne peuvent pas s'infiltrer et ruissellent vers la rivière : dans ce cas $R=P$ et $I=0$ (avec I , infiltration). Contrairement au ruissellement hortonien, les quantités ruisselées ne dépendent pas de l'intensité des pluies.

Le ruissellement sur surface saturée est le principal type de ruissellement qui se produit dans les bassins versants bretons. Il intervient surtout dans les zones de bas de versant, où la nappe est située à faible profondeur et où le sol est saturé une partie de l'année. L'étendue des zones saturées est variable entre les bassins versants, elle est en partie contrôlée par la topographie. Elle varie également dans le temps, à l'échelle intra-annuelle et à l'échelle de la crue (Figure 3).

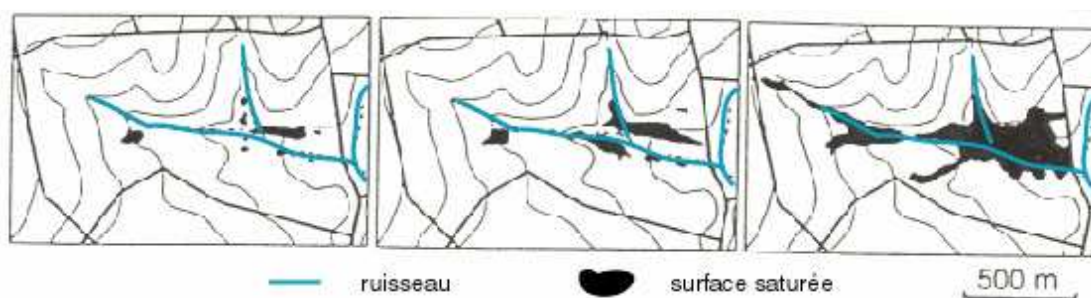


Figure 3 : Variation de l'extension de la surface saturée sur le site du Mercy (bassin versant de Kervidy-Naizin). D'après Gascuel et al., 1999.

- **Les écoulements de subsurface ou souterrains : percolation et écoulements de nappe**

- **Les écoulements dans le sol**

Alimentation et stockage d'eau

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut contenir correspond à la capacité de rétention du sol qui dépend essentiellement de la texture (granulométrie) du sol : elle décroît des argiles vers les limons et les sables. Lorsque la capacité de rétention est atteinte, l'eau se situe dans les porosités gravitaires où elle va percoler pour rejoindre la nappe.

Déplacement de l'eau dans le sol : processus de percolation

La **percolation** désigne l'écoulement de l'eau dans le sol (milieu poreux proche de la saturation) en direction de la nappe phréatique, sous l'influence majeure de la gravité. Ce processus succède à l'infiltration et participe majoritairement à l'alimentation en eau des nappes souterraines.

L'augmentation de la teneur en eau en surface sous l'effet des précipitations ne détermine pas automatiquement un transfert en profondeur : l'eau peut rester retenue dans le sol par les forces d'attraction exercées par le sol sur l'eau (force de capillarité).

Dans le sol, l'eau s'écoule essentiellement verticalement, sous l'effet de la gravité. Des écoulements horizontaux (dits « écoulements hypodermiques ») peuvent se développer localement dans le cas où un horizon de sol peu perméable est présent à faible profondeur, par exemple au niveau d'une semelle de labour.

Selon le type de sol, les conditions d'humidité et l'intensité des pluies, l'eau circule dans la matrice du sol, c'est-à-dire dans la microporosité ou dans des macropores (emplacement d'anciennes racines, galeries créées par la faune du sol, fentes de dessiccation) (Figure 4) :

- dans la microporosité, le flux infiltré pousse par « effet piston » l'eau déjà présente dans le sol. La vitesse de transfert dépend de la structure et de la texture du sol. Les transferts sont lents et de l'ordre de 1 à 5 m.an⁻¹ dans les sols bretons (Gascuel-Oudou et Mérot, 1986 ; Legout, 2003) et dépendent essentiellement de la pluie efficace ;
- dans les macropores, la vitesse peut être très rapide (environ 1m.h⁻¹); on parle alors d'un effet de « court-circuit ».

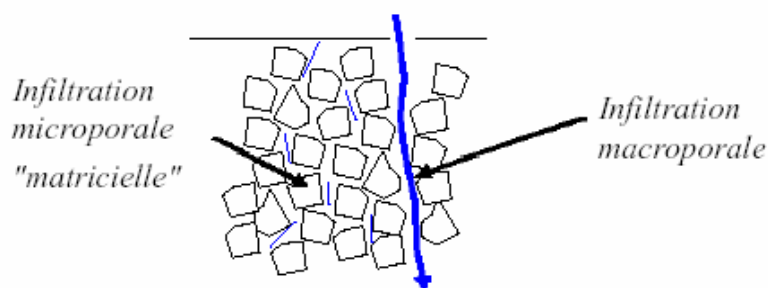


Figure 4 : Schéma de la percolation de l'eau dans le sol.

L'eau percolée jusqu'à la base de la zone non saturée recharge la nappe permanente.

Dynamique saisonnière des transferts d'eau dans le sol


L'eau stockée dans le sol du fait de la forte capacité de rétention de ce milieu est transpirée par les plantes au cours des mois les plus chauds. Ce mécanisme est responsable d'une limitation de la recharge de la nappe au cours de l'été : la nappe n'est plus alimentée et une part de l'eau stockée retourne vers l'atmosphère, directement ou via les plantes. Cela entraîne un tarissement des cours d'eau, c'est-à-dire une baisse du niveau de la nappe et du débit des rivières. Par contre, tout au long de l'hiver, la nappe se recharge une fois que le sol s'est totalement réhumecté au cours de l'automne. La recharge s'explique par des précipitations plus importantes et par une évapotranspiration plus faible.

• Les écoulements dans la nappe

Alimentation et stockage d'eau dans la nappe

La nappe est alimentée par l'eau de la recharge.

La capacité de stockage des nappes dépend de la porosité de la roche mère (volume des fissures) et de l'altérite.

Seule une fraction du volume d'eau contenu dans les nappes, l'eau gravitaire, est mobile. L'autre fraction, l'eau de rétention, n'est pas mobilisable, car elle est retenue dans les vides, à la surface des grains ou des parois des fissures, par des forces supérieures à celle de la gravité. Le volume d'eau mobile est caractérisé par la  **porosité efficace**, correspondant au rapport du volume d'eau gravitaire au volume total de la roche saturée en eau.

Déplacement de l'eau dans la nappe

Dans la nappe, la gravité et la pression font migrer l'eau du point haut du versant vers la rivière, point bas. Les écoulements de nappe sont essentiellement latéraux : la circulation de l'eau au sein de la nappe suit le champ de potentiel et se fait selon des boucles qui peuvent s'approfondir si elles ne sont pas limitées par une barrière imperméable (Figure 5).

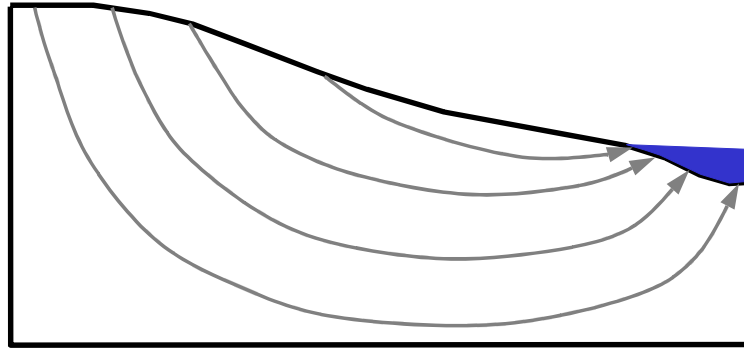


Figure 5 : Circulation de l'eau dans un versant.

La vitesse de transfert de l'eau dans la nappe dépend :

- De la **conductivité des milieux** : celle-ci est liée à la nature des milieux traversés (nature de la roche mère, degré d'altération). Les propriétés physiques des milieux vont conférer aux « réservoirs hydrologiques » des propriétés différentes. La conductivité des milieux est constante dans le temps mais très variable dans l'espace au sein d'un même bassin versant, et d'un bassin à l'autre.
- Des **gradients moteurs** : les écoulements de nappe sont déterminés par la différence de charge hydraulique entre deux points. Le gradient hydraulique correspond à la pente de la surface de la nappe. Plus ce gradient est fort, plus la vitesse de transfert est élevée. Le gradient hydraulique est variable au cours du temps : les pluies hivernales contribuent à l'augmentation du gradient par la mise en charge de la nappe.

Il n'existe pas actuellement de mesures directes des chemins et des vitesses d'écoulements dans les nappes des bassins versants. Dans le bassin versant de Kervidy-Naizin (Morbihan), l'utilisation d'une méthode de modélisation numérique (MODFLOW-MT3D) à l'échelle du versant (Molénat et Gascuel-Odoux, 2002) a permis de montrer que :

- Les **vitesses de transfert sont très variables en fonction de la position topographique** : en bas de versant, l'eau va en quelques jours ou mois à la rivière, alors que celle située sur les plateaux mettra quelques années (Figure 6). En amont sur les plateaux, le gradient hydraulique et la conductivité hydraulique imposent des vitesses de transfert très lentes.
- **L'eau de la rivière**, qui vient essentiellement de la nappe, **regroupe des eaux de provenance et donc d'âges très différents**.

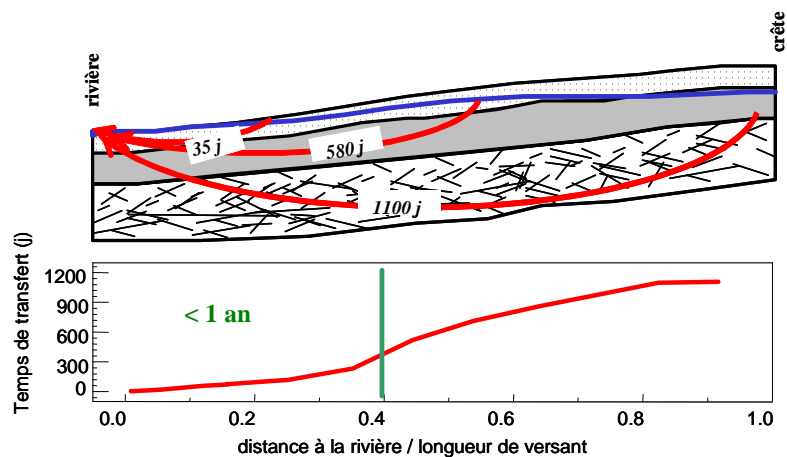


Figure 6 : Temps de transferts dans le bassin versant de Kervidy, estimés par modélisation numérique à l'aide du modèle MODFLOW-MT3D (d'après Molénat et Gascuel-Oudou, 2002)

Deux types d'écoulements de nappe sont souvent distingués :

- Les **écoulements de nappe rapides** qui correspondent aux écoulements de la nappe de versant (jusqu'à 15-20 m de profondeur) et qui contribuent majoritairement aux écoulements des cours d'eau en période de hautes eaux, en hiver.
- Les **écoulements de nappe lents**, qui correspondent aux écoulements de la nappe plus profonde (au-delà de 20 m de profondeur) et qui contribuent majoritairement aux écoulements des cours d'eau en période de basses eaux, en été.

Bilan : caractéristiques hydrologiques des nappes des bassins sur socle

Les nappes sont peu profondes : dans les bassins sur socle, les nappes sont superficielles par rapport à d'autres contextes : le toit de la nappe est situé à moins de trente mètres de la surface du sol.

Les nappes sont fluctuantes : Le niveau de la nappe est caractérisé par de fortes fluctuations saisonnières avec un battement de nappe qui peut dépasser 5 m et qui varie dans l'espace en fonction de la localisation topographique dans le versant :

- En haut de versant : la profondeur moyenne de la nappe est de 1 à 2 m sous la surface du sol, durant les périodes de hautes eaux (décembre à mars, selon les années climatiques), elles peuvent atteindre 8 à 10 m en moyenne dans les périodes de basses eaux (juin à septembre).
- En bas de versant, les fluctuations sont plus faibles : la nappe affleure à la surface du sol en hiver et descend à 1 ou 2 m de profondeur durant les mois d'été.

Les nappes sont réactives aux pluies en hiver : les nappes sont réactives aux pluies car la porosité de l'altérite et de la roche mère est relativement faible. La nappe peut monter de plusieurs centimètres en quelques heures lors des pluies hivernales. La réactivité de la nappe dépend de la porosité du sol et de l'altérite, qui contrôlent la percolation de l'eau jusqu'au toit de la nappe. La porosité de l'altérite dépend de la nature de la roche mère et du degré d'altération. Elle peut être très variable à courte distance.

● SYNTHÈSE : ECOULEMENTS EN CRUE ET HORS CRUE

● Les écoulements en crue

En période de crue, l'eau qui arrive à la rivière provient (Durand et Juan Torres, 1996) :

- du ruissellement sur surface saturée 10 à 30%
- de la nappe 70 à 90 %

Dans les bassins bretons, l'essentiel du ruissellement est de type ruissellement sur surface saturée et exfiltration (Figure 7).

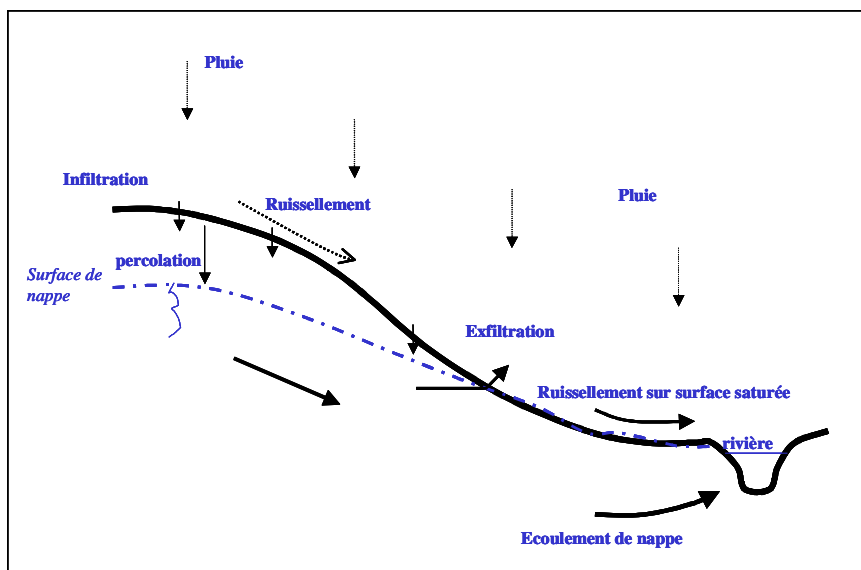


Figure 7 : Ecoulements d'eau dans un versant lors d'une crue.

● Les écoulements hors crue

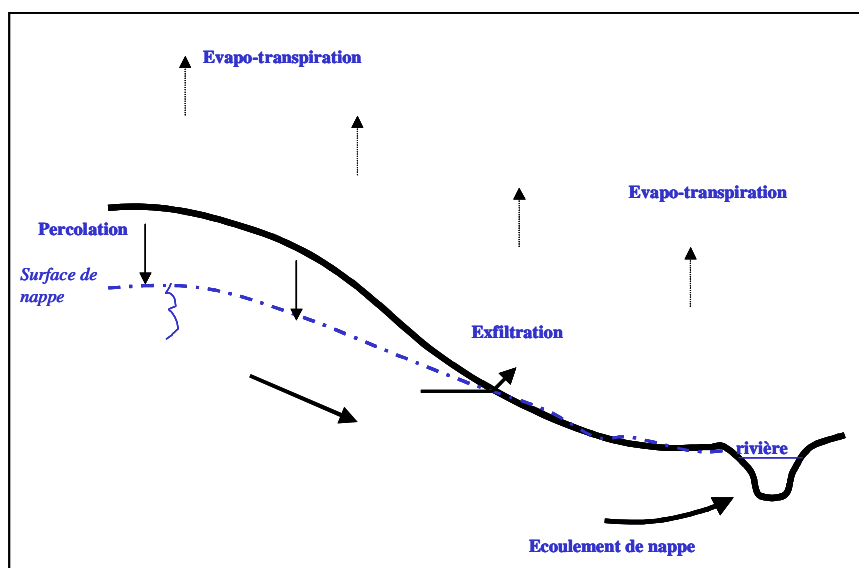


Figure 8 : Ecoulements d'eau dans un versant hors crue.

Hors période de crue, l'eau des cours d'eau provient uniquement des écoulements de nappe (Figure 8).

- **Bilan : contribution des différents écoulements à l'échelle de l'année hydrologique**

Sur une année, 90 à 95% de l'eau des cours d'eau provient de la nappe (Molénat et al. 1999).

 **REFERENCES**

Boiffin J., 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse INA-PG, 320 p.

Durand P. ; Juan Torres J.L., 1996. Solute transfer in agricultural catchments : the interests and limits of mixing models. Journal of Hydrology, 181 : 1-22.

Gascuel-Oudou C. ; Mérot P., 1986. Variabilité du transfert de l'eau dans le sol : utilisation du traçage et analyse géostatistique. Journal of Hydrology 89 : 93-107.

Gascuel-Oudou C. ; Mérot P. ; Durand P., 1999. Genèse des crues normales dans les petits bassins versants ruraux. Colloque de la Société Hydrotechnique de France. 160^{ème} session du comité scientifique et technique, Lyon, mars 1999 : 59-68.

Molénat J., 1999. Rôle de la nappe sur les transferts d'eau et de nitrate dans un bassin versant agricole : étude expérimentale et modélisation. Thèse de l'Université de Rennes 1 : 249p.

Molénat J. ; Gascuel-Oudou C., 2002. Modelling flow and nitrate transport in groundwater for the prediction of water travel times and of consequences of land use evolution on water quality. Hydrological Processes, 16 : 479.



GLOSSAIRE (FICHES A)

A

AQUIFERE

Formation géologique perméable (sol, roche) dont les pores ou les fissures communiquent et sont suffisamment larges pour que l'eau puisse y circuler librement sous l'effet de la gravité. L'aquifère constitue un réservoir des nappes. Le terme aquifère est utilisé à la fois pour désigner le contenu (eau) et le contenant (milieu).

C

CAPACITE D'INFILTRATION

Flux d'eau maximal (en mm.h^{-1}) que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou s'il est recouvert d'eau.

E

ECOULEMENT SOUTERRAIN

Tout écoulement au dessous de la surface du sol (en anglais : subsurface flow).

I

INFILTRATION

- Mouvement de l'eau pénétrant dans un milieu poreux depuis la surface du sol (A. Musy, *Cours d'hydrologie Générale, EPLF*)
- Passage de l'eau de la surface du sol vers l'intérieur de celui-ci.

N

NAPPE

La nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Le mouvement de l'eau est fonction des gradients d'élévation et de pression.

Ensemble du volume d'eau compris dans la partie saturée d'un aquifère.

P

PERCOLATION

Écoulement de l'eau dans le sol (milieu poreux non saturé) en direction de la nappe phréatique, sous l'influence majeure de la gravité. Ce processus succède à l'infiltration et conditionne directement l'alimentation en eau des nappes souterraines.

PLUIE EFFICACE

Volume d'eau qui reste disponible pour le sol après soustraction de l'eau qui retourne à l'atmosphère par évaporation ou par la transpiration des végétaux. Il s'agit de la fraction de la pluviométrie qui s'écoule en surface du sol ou qui s'infiltre dans le sol et qui participe à l'alimentation des nappes et du réseau hydrographique :

Pluie efficace = Pluie – Evapotranspiration

POROSITE EFFICACE

Rapport du volume d'eau gravitaire au volume total de la roche saturée en eau.

R

RECHARGE

Processus par lequel la zone saturée d'un aquifère reçoit un apport d'eau extérieur, soit directement dans la formation elle-même, soit indirectement par l'intermédiaire d'une autre formation (sol).

RUISELLEMENT

Le ruissellement désigne l'écoulement de l'eau à la surface du sol. Il se produit dans deux types de situations :

- lorsque la capacité d'infiltration du sol est dépassée (ruissellement hortonien)
- lorsque le sol est saturé jusqu'à la surface.

🔴 Dans certains cas, le terme de ruissellement est utilisé improprement pour désigner les écoulements, sous la surface du sol, dans les parties superficielles des nappes situées à faible profondeur, telles que dans les bassins versants sur socle.

Z

ZONE DE BATTEMENT DE NAPPE

Zone dans laquelle la nappe fluctue verticalement au cours de l'année. Elle est saturée en eaux pendant une partie de l'année.

ZONE NON SATUREE

- Système à 3 phases (solide, liquide, gaz) où seule une partie de la porosité est remplie d'eau, le reste étant occupé par de l'air.
- Zone située au dessus de la zone saturée, que la nappe n'atteint pas en permanence et dont une partie de la porosité seulement est remplie d'eau. Selon les bassins versants et la position topographique considérée, la zone non saturée est constituée par le sol et/ou l'altérite.

ZONE SATUREE

- Système à deux phases (solide, liquide) où tous les pores sont remplis d'eau.
- Zone située en profondeur, que la nappe occupe pendant toute l'année et dont toute la porosité est remplie par de l'eau en permanence.