

TROISIÈME PARTIE

LES EAUX DE LA RÉGION DU LOCLE

PAR ANDRÉ BURGER

CHAPITRE 5

LES RUISSELLEMENTS DE SURFACE ET DE SUBSURFACE

En ville du Locle, les orages, les journées pluvieuses et la fonte de la neige donnent lieu à un flot de ruissellements que recueille le réseau des canalisations urbaines. Ce flot, qui débute avec la pluie et cesse peu après la fin des averses, peut atteindre momentanément un débit considérable. Il provient, pour l'essentiel, des surfaces imperméabilisées: toits, rues et places, dont l'aire est estimée à quelque 20 ha dans l'agglomération du Locle. A partir de cette étendue, on calcule qu'un fort orage peut provoquer une pointe de débit de l'ordre de grandeur de 5 m³/s dans les canalisations. En moyenne annuelle, le ruissellement soustrait environ 300 000 m³ d'eau à l'infiltration dans le sous-sol et à l'enrichissement des eaux souterraines, notamment de la nappe phréatique.

Des terrains imperméables existent dans le milieu naturel, dont il a été fait état dans les chapitres précédents. Ils sont aussi le siège de ruissellements, mais ceux-ci ne s'opèrent pas directement à leur surface au sens strict du terme. La tranche supérieure en est soumise à divers processus mécaniques et chimiques qui l'altèrent et l'ameu-

blissent sur quelques mètres d'épaisseur. Une perméabilité secondaire s'y développe qui absorbe l'eau des précipitations atmosphériques.

Sur aires à faible pente, l'eau s'accumule en petites nappes hypodermiques souvent durables dans lesquelles sont creusés, ici ou là, des puits pastoraux. Leur profondeur n'excède guère 2 m (photo A, ci-contre). Dans les flancs inclinés des combes, l'eau infiltrée s'écoule au sein de la couche hypodermique, parallèlement à la pente et vient grossir vivement les ruisseaux, soit d'une manière diffuse, soit par des sources. Au terme des averses, ce processus, qualifié d'écoulement retardé, se poursuit tout en s'atténuant rapidement. Il ne cesse cependant pas totalement et il continue d'entretenir des bas-fonds humides à végétation hydrophile et de petites sources pérennes, fréquemment captées pour les besoins d'une ferme ou d'un abreuvoir (photo B, p. 104b).

Des écoulements hypodermiques de pente ont lieu aussi dans les versants de Pierre morte et contribuent aux crues brèves mais élevées des Bieds du Locle. Conjointement avec les afflux des combes érodées sur les marnes de l'Argovien, ces écoulements se sont illustrés, principalement dans la Combe des Enfers et dans la Combe Girard, par des montées de débits qui ont provoqué de mémorables dévastations en ville du Locle (photo p. 121).

Une nappe phréatique typiquement hypodermique occupe également toute la basse ville du Locle et la plaine du Col des Roches. Richement alimentée en eaux d'origines diverses, elle a été jadis la cause d'un état marécageux permanent qui opposa de sérieux obstacles aux entreprises humaines. Actuellement, le niveau de la nappe est abaissé par divers systèmes de drainage ainsi que par les puits de captage d'eau profonde.

LE RUISSELLEMENT SUPERFICIEL

Le ruissellement superficiel des eaux météoriques, au sens strict du terme, c'est-à-dire tel qu'il se produit sur des surfaces imperméabilisées – les toits, les rues, les places – donne lieu à des écoulements rapides, occasionnellement violents, mais de durée limitée, qui prennent le chemin des canalisations urbaines. Ils naissent avec la pluie et cessent quelques heures après la fin de celle-ci. Ils en suivent les variations d'intensité, dont le maximum a lieu généralement au début des averses, au cours de la première demi-heure. L'eau de la fonte de la neige obéit souvent à un régime comparable.



Photo A Puits pastoral dans une étroite bande de marne bathonienne à Pouillerel.

Photo B La plaine du Marais, vue du Col des Roches; au second plan, à droite, versant désorganisé par le glissement de La Jaluse; au milieu, bourrelet frontal du glissement.



Photo C Site du puits des Rondes à la base du glissement de La Molière.





L'érosion procède par bonds: conséquences d'une crue violente du torrent des Entre deux Monts dans «les Chaudières» de la Baume (1896?). Des blocs volumineux arrachés aux éboulis des versants forment une imposante accumulation au bas de la cascade. Une image qui n'est pas sans analogie avec celle du Col des Roches (gravure, p. 109).

Le réseau des canalisations urbaines du Locle est développé sur une superficie d'environ **2 km²**, surface non négligeable, qui soustrait un important volume d'eau météorique à l'infiltration dans le sous-sol et à l'alimentation des eaux souterraines. Il est entièrement dérivé vers la station d'épuration du Col des Roches où son débit est mesuré.

Les dimensions des canalisations sont calculées de telle manière qu'elles ne soient jamais prises en défaut par les plus fortes intensités pluviales. Dans l'aire d'extension du réseau, estimée à 2 km², soit à 200 ha, les surfaces imperméabilisées varient avec la densité des constructions. Au Locle, une proportion de 10% **en moyenne** peut leur être affectée, ce qui ramène à 20 ha la surface effective de ruissellement. Au cours d'un fort orage, le débit pluvial peut atteindre 250 litres par seconde et par hectare. Le réseau des canalisations doit donc prendre en charge un ruissellement de 250 l/s × 20 ha, soit environ 5 m³ par seconde. Durant une année, ce ruissellement soustrait à l'enrichissement des eaux souterraines environ 300 000 m³, soit l'équivalent d'un débit continu de 10 l/s, ou encore le 2,5% du débit moyen du Bied.

LES ÉCOULEMENTS DE SUBSURFACE OU ÉCOULEMENTS HYPODERMIQUES

Le milieu aquifère hypodermique

En règle générale, les terrains marneux et limoneux réputés imperméables sont recouverts d'un sol épais, soit d'une couche meuble qui résulte de la décomposition superficielle, de l'**altération**, de la roche sous-jacente ou roche-mère. Elle permet à la végétation d'y prendre pied et, de plus, de l'enrichir en humus. Les produits de l'altération restent en partie sur place, mais sont, en partie également, entraînés par l'eau dans des dépressions où ils s'accumulent, dans les cours d'eau et dans l'endokarst.

Les agents de l'altération sont nombreux et conjuguent leurs effets: le gel désagrège la roche et plus généralement provoque un foisonnement de la couche altérée. La dessiccation peut causer des fissures de retrait dans les couvertures argileuses. Les racines et les animaux fouisseurs (insectes, lombrics, rongeurs, etc.) remanient et ameublissent inlassablement leur milieu vital. Ces facteurs, qualifiés d'externes, de **mécaniques**, s'ajoutent aux processus de l'altération interne, de nature **chimique**, rendus possibles par la présence de l'eau.

Vue sous l'angle de l'hydrologie, l'altération mécanique a pour conséquence la formation de vides petits et grands dans son domaine d'action, c'est-à-dire jusque vers 2 à 3 m de profondeur (fig. 5.1, p. 116). Ces vides, en partie canaliculaires, confèrent aux sols une porosité et une perméabilité **secondaires** élevées, différentes en nature et en grandeur de celles de la roche-mère – la porosité et la perméabilité **primaires** – que celle-ci soit marneuse ou limoneuse.

Les eaux hypodermiques

La porosité et la perméabilité secondaires de la tranche d'altération et de remaniement mécanique favorisent des rétentions et des circulations d'eaux dites subsuperficielles ou **hypodermiques**.

En terrain **peu incliné**, il se forme, dans la tranche de 1 à 3 m d'épaisseur au-dessus de la roche-mère très faiblement perméable, des nappes phréatiques hypodermiques, éphémères ou permanentes, dont l'eau s'évacue peu à peu par déplacement latéral, par une lente infiltration dans la roche sous-jacente et par évaporation.

Au sein des terrains **en pente** règnent des circulations hypodermiques généralement rapides qui aboutissent, sous la forme de veines diffuses ou parfois ponctuelles, dans les cours d'eau ou dans leurs alluvions. Leurs débits fluctuent fortement : élevés au moment même des pluies et donnant lieu à de brusques crues, ils se modèrent rapidement ensuite et se réduisent pour ne plus entretenir que de minces filets, apparents sous la forme de discrètes sources ou de suintements soulignés par une végétation hydrophile (photo B, p. 104b). Ce mode de ruissellement diffère de celui qui se produit sur une surface rigoureusement étanche, un toit par exemple, en ce qu'il est **retardé**, en d'autres termes, étalé dans le temps.

Le cas de l'œningien

Le ruissellement retardé est une des caractéristiques hydrologiques des versants raides des vallons œningiens. La couverture de sol y est généralement mince, sujette à des glissements, mais suffisante cependant pour assurer partiellement le processus du transit hypodermique de l'eau atmosphérique. Le Bied de la Combe Girard en fournit un bon exemple. En périodes de basses eaux, son cours

supérieur est à sec dans le domaine des calcaires jurassiques perméables. Il retrouve un débit dès qu'il passe sur l'œningien. Au début, ce ne sont que quelques minces filets d'eau qui suintent du pied des versants. Mais, en direction de l'aval, les émissions hypodermiques occultes (partiellement enrichies par l'aquifère œningien lui-même) s'accroissent à un point tel qu'elles ont justifié un captage par des drains longitudinaux placés au bas des versants, parallèlement aux berges du ruisseau. Ce phénomène ne se limite pas aux versants forestiers de la Combe Girard. Les pentes à végétation herbacée, telles que celles de la Combe des Enfers ou de la Combe Robert produisent les mêmes effets.

Le cas des combes et des paliers argoviens

Du fait de leurs pentes généralement modérées et de l'abondance des résidus insolubles de la roche-mère restés sur place, la couche d'altération peut atteindre, ici, plusieurs mètres d'épaisseur.

Un sondage effectué pour la réfection du captage d'une source, aux Entre deux Monts, a mis à jour, au-dessus de l'Argovien marneux intact, deux niveaux d'altération significatifs au point de vue de leur comportement hydrologique (fig. 5.1, p. 116):

1. de 0 à 1,5 m environ : une couche de sol ameubli, sablo-limoneux, d'apparence terreuse, claire, caractéristique de l'altération mécanique;
2. de 1,5 à 2,5 m : une couche ayant l'aspect d'une masse argileuse amorphe gris-bleu, dense et humide, pratiquement imperméable. Hors d'atteinte des principaux agents de transformation mécanique, elle résulte principalement de l'altération chimique de l'Argovien dont elle constitue le résidu insoluble.

La couche d'altération mécanique (1), au-dessus de l'imperméable argileux basal (2), est suffisamment épaisse pour abriter des nappes phréatiques sur les paliers à faibles pentes et de petits systèmes sourciers hypodermiques permanents, dans les versants inclinés. Dans ce second cas, l'eau gravitaire se fraie des passages sous la forme de canalicules capricieux et labiles qu'elle agrandit par érosion. Quelques-uns d'entre eux ramènent l'eau à la surface, en formant précisément des **sources** (fig. 5.1, A, p. 116 et photo B, p. 104b).

Parfois, l'érosion des canalicules conduit à la formation de véritables cavités au sein de la couche d'altération, lesquelles, se développant vers le haut, finissent par s'effondrer en créant des trous béants. Avec le temps, ceux-ci se transforment en petits entonnoirs her-

beux, qualifiés à tort d'emposieux. Ils sont fréquents surtout sur les versants modérément inclinés.

Contrairement à ce qui se passe sur l'Éningien, la couche d'altération argileuse compacte, puis la roche en place elle-même forment un substrat parfaitement imperméable. L'eau météorique, diminuée de la fraction évaporée, se retrouve donc totalement en surface, dans les ruz des combes, sous les formes diverses de suintements et de flux sourciers, permanents ou temporaires.

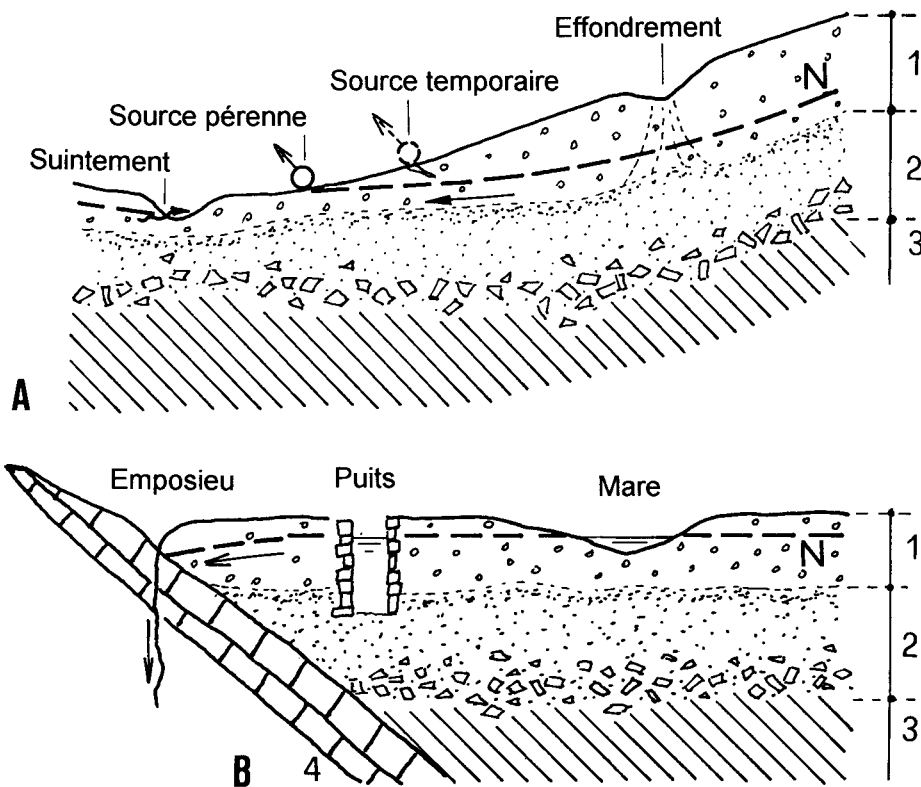


Fig. 5.1 Écoulements hypodermiques dans la couche d'altération des marnes de l'Argovien. 1: zone d'altération mécanique à porosité grossière et perméabilité élevée, 1 à 2 m d'épaisseur; 2: zone d'altération chimique à porosité très fine et perméabilité faible ou nulle, 1 à 1,5 m; 3: marnes et marno-calcaires argoviens non altérés, imperméables; 4: calcaire adjacent karstifié; N: niveau de l'eau phréatique.

A: cas d'un versant incliné. B: cas d'un palier marneux.

Sur les **paliers argoviens**, l'absence de pentes affirmées favorise la persistance de nappes phréatiques permanentes. Leurs eaux excédentaires s'évacuent par des canalicules hypodermiques occultes dans des entonnoirs de pertes – des emposieux vrais – disséminés à leur périphérie. Ces petites nappes fournissent de modestes débits à des puits domestiques et pastoraux. D'anciennes excavations, dont on tirait autrefois de la marne, ont laissé subsister des dépressions dans lesquelles la nappe affleure en forme de mares permanentes ou saisonnières, devenues des biotopes humides d'un grand intérêt. La région des Trembles et La Combe Boudry sont bien caractéristiques à cet égard; il est certain que de nouveaux biotopes humides pourraient y être créés.

Les gisements d'eau hypodermiques sont fréquents aussi sur les étroites bandes d'affleurement des marnes du Dogger au sommet de Pouillierel. Leur présence est attestée par des lieux humides, des entonnoirs de pertes limitrophes ainsi que par des puits peu profonds (photo A, p. 112a). Ces rétentions d'eau très localisées produisent un contraste surprenant au sein de leur environnement calcaire aride.

Le cas des Grandes Crosettes mérite une mention particulière, du fait de son exceptionnelle ampleur. Les versants et le fond de la combe, depuis la culmination occidentale des Roulet, présentent des pentes modérées qui favorisent l'existence d'un grand système hypodermique aux limites incertaines et labiles. La carte de J.-F. d'Ostervald, publiée en 1837, signale la présence de trois grands étangs permanents, au sein d'une zone cartographiée comme tourbeuse, au sud-est du Vuillème. Antérieurement, ils étaient quatre qui avaient été établis pour accumuler de l'eau hypodermique destinée à mouvoir trois moulins (Cop, 1987). Ils ont disparu aujourd'hui. Deux réseaux de drainage artificiels accélèrent maintenant le processus d'écoulement hypodermique: le **réseau amont**, à débit permanent, aboutit à une perte aménagée au centre de la combe, qui, selon toute vraisemblance, est branchée sur l'aquifère sous-jacent du Dogger; le **réseau aval**, à débit permanent lui aussi, se décharge dans l'emposieu dit le Creux Colomb, au sud du Bois du Couvent. Il vient d'être réaménagé également, au contact de l'Argovien et du Séquanien et il dérive l'eau dans l'aquifère du Malm.

Les sources des combes argoviennes

Elles jaillissent le plus fréquemment vers le bas des versants inclinés, près du fond des combes, dont elles alimentent le ruz. Toutes, elles sont caractérisées par un **régime très variable** et cela, d'autant plus qu'elles sont élevées en altitude. Il peut arriver que leur point d'émergence se déplace. La majorité d'entre elles, les plus

«sûres», sont captées pour les besoins de fermes (dont elles ont fréquemment motivé l'établissement) ou d'abreuvoirs.

Leur variabilité affecte autant le débit que la température et le chimisme. C'est elle qui a valu aux sources, qualifiées sans discrimination de jurassiennes, une certaine mauvaise réputation.

A défaut de données relatives à la région locloise, des mesures anciennes faites dans la Combe argovienne des Quignets, au nord du Mont Racine, sur une douzaine de sources, fournissent une image de cette variabilité:

	Débit (l/min)	Température (° C)	Conductibilité électrique (mS)
Juillet 1949, moyenne	0,6	12,1	419
Idem valeurs extrêmes	0,1-3,0	8,6-14,5	245-581
Avril 1950, moyenne	26	4,2	265
Idem valeurs extrêmes	4,5-40	2,6-5,9	209-321

Variabilité saisonnière des sources de la Combe des Quignets; valeurs moyennes et extrêmes.

Ces chiffres parlent d'eux-mêmes et, en outre, illustrent la relation inverse qui existe entre le débit et la minéralisation totale exprimée par la conductibilité électrique (cf. p. 148). Ils sont sans autre extrapolables aux sources argoviennes du bassin du Locle.

LE MARAIS

Les plus récents dépôts d'alluvions du Bied et de ses affluents consistent surtout en limons mélangés d'éléments gravillonneux, ainsi qu'en formations issues de plans d'eau peu profonds et plus ou moins libres, telles que la tourbe et la craie lacustre (à ne pas confondre avec celle de l'Éningien). Faiblement perméables, ces matériaux occupent toute la plaine subhorizontale du Col des Roches; ils se retrouvent sous la basse ville (Matthey, 1983) et remontent, avec une légère pente, jusqu'au Pied du Crêt et dans la Combe des Enfers.

Depuis le bas des Calame jusqu'au Bied de la Combe Girard, ces dépôts composaient originellement un bas-fond marécageux dont la trace se retrouve dans la toponymie. Ainsi la plaine du Col est-elle cadastrée sous le nom de **Marais**

(photo B, p. 112 a); sa limite orientale est formée par la rue des **Fritillaires** (une plante de terrains humides); plus à l'est, la rue du **Marais** borde le jardin public.

De l'altération superficielle de ces dépôts résultent, ici aussi, une porosité et une perméabilité secondaires relativement élevées, affectant une tranche de 1 à 3 m d'épaisseur. En raison de la quasi-horizontalité de la plaine qui restreint la dynamique des écoulements hypodermiques, cette tranche reste gorgée d'eau; elle l'était, jadis, pratiquement jusqu'à la surface du sol. Elle abrite donc une nappe phréatique caractérisée.

Antérieurement à la colonisation, la plaine du Marais était éminemment inondable par des afflux d'eau d'origines diverses: précipitations atmosphériques, ruissellements hypodermiques des versants œningiens limitrophes et débordements du Bied. Et, phénomène remarquable, l'artésianisme de l'aquifère œningien sous-jacent aux alluvions suscite, dans ces dernières, une lente remontée d'eau diffuse qui, en plus des bugnons localisés, contribue à enrichir le gisement phréatique (fig. 6.5, p. 144). En d'autres termes, on peut assimiler le Marais à un système **émissif** dont l'excès d'eau se décharge dans Le Bied. Ce phénomène sera explicité au chapitre suivant.

L'équilibre de ce système naturel a été dérangé, dès la fin du XVIII^e siècle, par des corrections et approfondissements successifs du Bied ainsi que par la construction de nombreux canaux d'assainissement. Le niveau général de la nappe phréatique s'en est trouvé abaissé et les inondations sont devenues exceptionnelles, de courte durée et limitées aux bas-fonds de la région du Col.

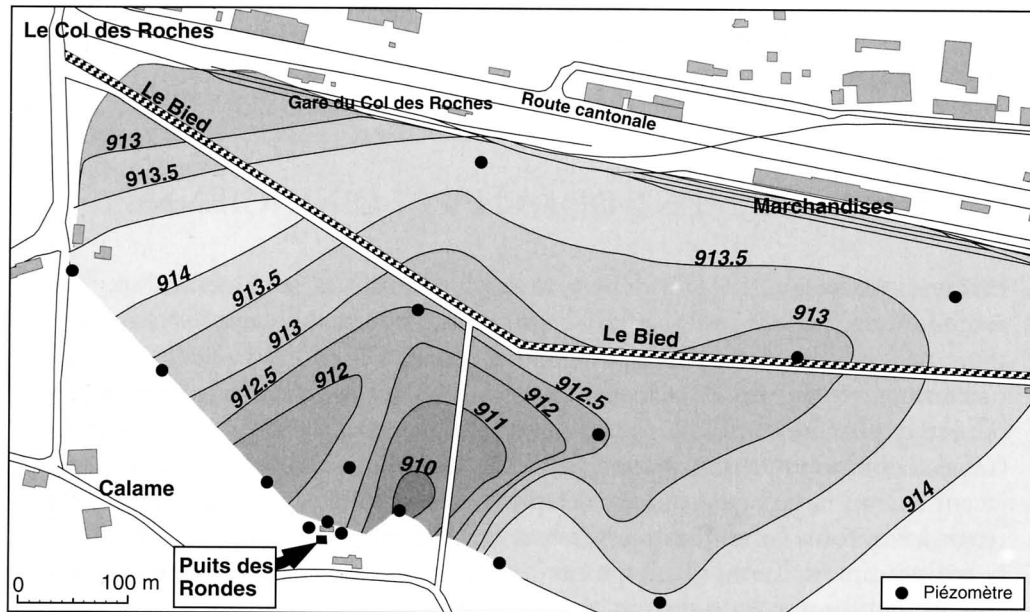
L'AFFAISSEMENT DE LA NAPPE CENINGIENNE

En conditions naturelles et indépendamment de toute autre alimentation, l'eau ascendante de l'œningien suffirait à maintenir en permanence le niveau phréatique proche de la surface de la plaine. En réalité, l'équilibre naturel, déjà perturbé nous venons de le voir, par des assainissements superficiels, l'est encore beaucoup plus, aujourd'hui, par les pompages effectués dans les puits profonds. Ceux-ci diminuent la pression artésienne régnant dans le milieu œningien sous-jacent sur un large rayon autour des puits. La surface de la nappe phréatique réagit à son tour, en se déprimant très sensiblement. Dès lors, son eau, incitée à s'infiltrer, participe au soutirage effectué par les puits; elle peut y induire une contamination par des polluants ramenés de la surface.

L'exemple du puits des Rondes

La figure ci-dessous illustre la dépression résultant du pompage effectué au puits des Rondes (photo C, p. 112 a). Les courbes de niveau de la surface de la nappe phréatique (les « isopièzes ») se situent vers 914-915 m à l'est de la rue des Fritillaires, en deçà de la zone d'influence du puits. En revanche, elles marquent une dépression oblongue de plus de 5 m de profondeur à l'origine qui, partant du puits, se dirige obliquement vers l'amont sur environ 200 m, puis change de direction et se développe encore longuement, de part et d'autre du Bied. Il est manifeste que, dans l'aquifère profond qu'exploite le puits, le rabattement piézométrique n'est pas symétrique autour de l'ouvrage mais au contraire, orienté dans la direction préférentielle de l'appel d'eau, suivant un axe à perméabilité élevée que reflète le sillon de la nappe superficielle. Cette anisotropie au sein de l'Éningien est motivée par une zone de fracture importante ou par le front d'un niveau calcaire enfoui.

Fig. 5.2 Déformation de la surface piézométrique de la nappe phréatique, sous l'effet du pompage dans l'Éningien sous-jacent, au puits des Rondes; les lignes isopièzes sont exprimées par leur altitude.



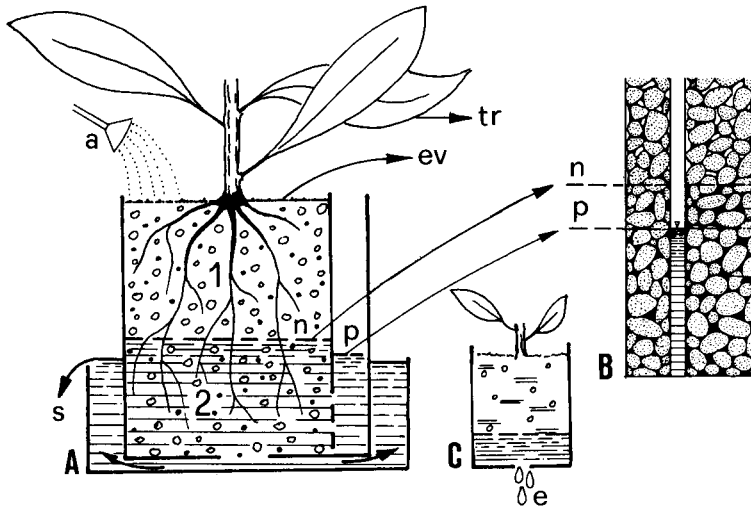
Sur la même figure, la nappe phréatique laisse apparaître une nette pente en direction de la paroi de calcaire jurassique du Col des Roches, pente matérialisée par la courbe de 913 m. Le calcaire perméable soutire manifestement de l'eau de la nappe phréatique, si ce n'est de l'Éningien lui-même.

Les autres puits profonds, groupés au centre-ville, ont des conséquences similaires sur la nappe phréatique qui seront étudiées spécialement au chapitre 9.



Le débordement du Bied à la rue Daniel-JeanRichard le 26 juin 1896 (Musée d'histoire du Locle).

UNE NAPPE D'EAU SOUTERRAINE EN APPARTEMENT



Le pot contenant la terre (A) forme autour d'elle une *limite imperméable*. L'eau d'alimentation (a) commence par *percoler* depuis la surface, plus ou moins rapidement, sous l'effet de la *gravité* à travers les pores grossiers de la terre (B). Dans les pores fins ainsi que dans les "coins" entre les grains, l'eau est fixée par des *forces de rétention*, notamment la capillarité et est à disposition des racines. Au-dessous du bord du bac inférieur tous les pores sont *saturés* d'eau jusqu'à une limite désignée comme *niveau de la nappe souterraine* (n), lequel se retrouve, un peu au-dessous, dans la double paroi simulant un *piézomètre* (p), assimilable à un pore très grossier. Au-dessus de ce niveau, la terre forme une *zone non saturée* (1); au-dessous, une *zone saturée*, soit une *nappe souterraine* en miniature (2).

L'excédent d'eau alimentaire s'accumule dans le bac et finit par déborder en simulant une *source* (s). Le niveau de cette dernière règle la hauteur du *niveau piézométrique* (p).

Lorsque l'alimentation cesse, la source tarit progressivement. En outre, l'*évaporation* (ev) et la *transpiration* (tr) de la plante épuisent progressivement la provision d'eau contenue dans le sol, causant l'abaissement du niveau piézométrique.

Si, au terme de l'alimentation, le bac inférieur est retiré, la zone saturée perd son eau gravitaire par *égouttement* (C, e).

Ces notions peuvent être transposées aux diverses structures des roches et aux diverses échelles que l'on rencontre dans la nature, pour comprendre les éléments essentiels du comportement des eaux souterraines.