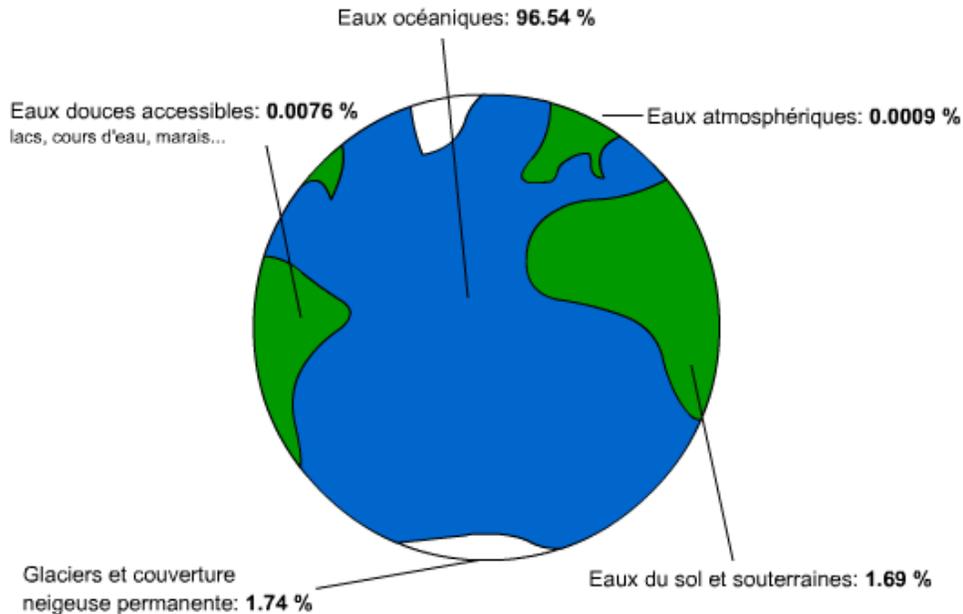


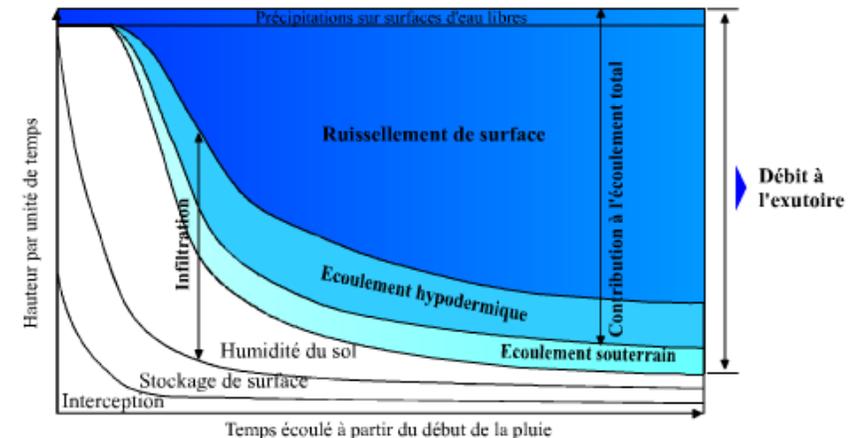
Bruno Arfib
 Université Aix-Marseille
 www.karsteau.fr

Quelques documents pour illustrer le cours d'Hydrogéologie générale



Réservoir	Temps de renouvellement (Jacques, 1996)	Temps de renouvellement (Gleick, 1993)
Océans	2500 ans	3100 ans
Calottes glaciaires	1000 – 10 000 ans	16000 ans
Eaux souterraines	1500 ans	300 ans
Eaux du sol	1 an	280 jours
Lacs	10-20 ans	1-100 ans (eaux douces) 10-1000 ans (eaux salées)
Cours d'eau	10-20 jours	12-20 jours
Eau atmosphérique	8 jours	9 jours
Biosphère	Quelques heures	-

Tableau 1.2 - Temps de renouvellement de l'eau dans les principaux réservoirs (Tiré de Gleick (1993), Jacques (1996))



L'hétérogénéité spatiale et temporelle des précipitations

Figure 1 : Carte de cumul des précipitations sur le pourtour méditerranéen français (du 01 au 31 décembre 2005)

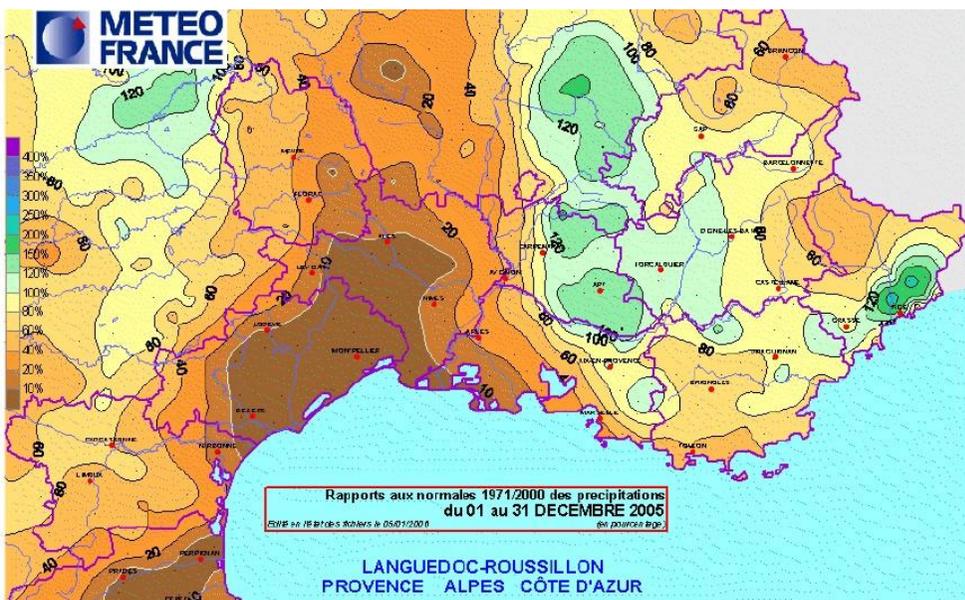
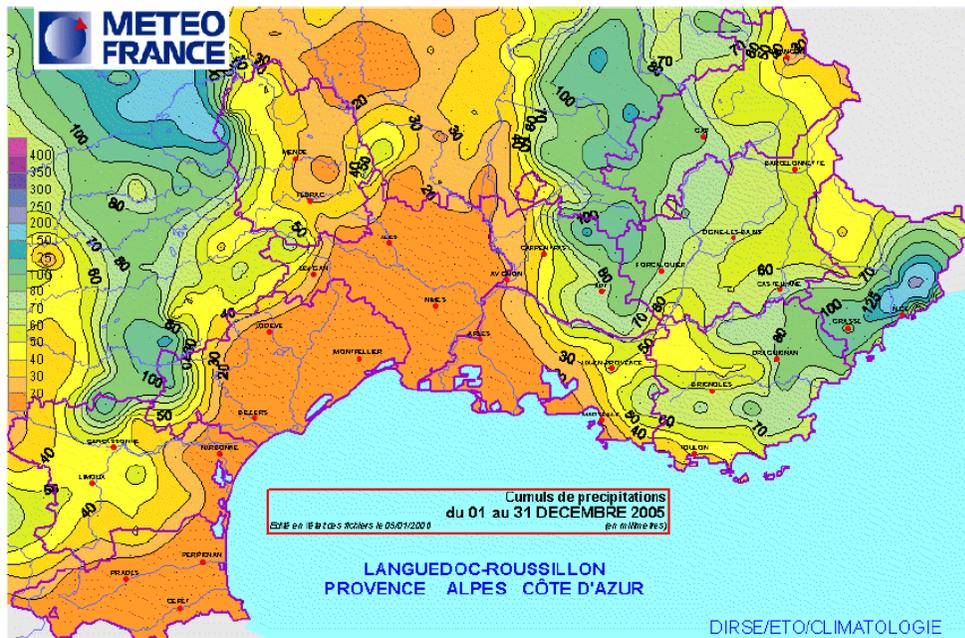
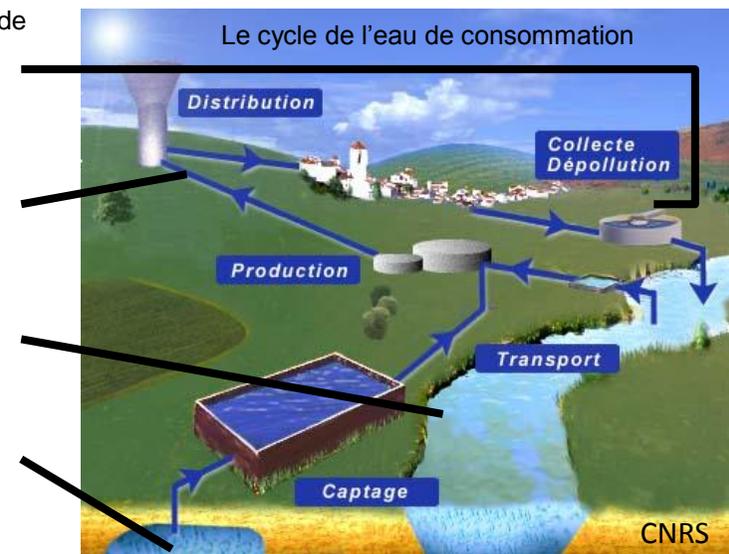


Figure 2 : Carte des rapports à la normale des précipitations de décembre 2005

Domaines d'étude



Définitions

AQUIFERE

Un *aquifère* est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre :

- l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et
- le captage de quantité d'eau appréciable.

Un aquifère peut comporter une zone non saturée.

AQUITARD

Un *aquitard* est une formation peu perméable (ou semi-perméable), dans laquelle l'eau souterraine circule à faible vitesse. Ces formations peuvent assurer la communication entre des aquifères superposés par le phénomène de drainance.

AQUICLUDE

Les *aquicludes* sont des formations imperméables ne produisant pas d'eau.

Le niveau piézométrique est l'altitude de la surface de l'eau d'une nappe d'eau souterraine lorsque celle-ci est en équilibre avec la pression atmosphérique. Le niveau piézométrique se mesure dans des puits, forages ou piézomètres, ainsi que sur les zones d'affleurement de l'eau souterraine (sources, lac ou rivière en connexion avec la nappe).

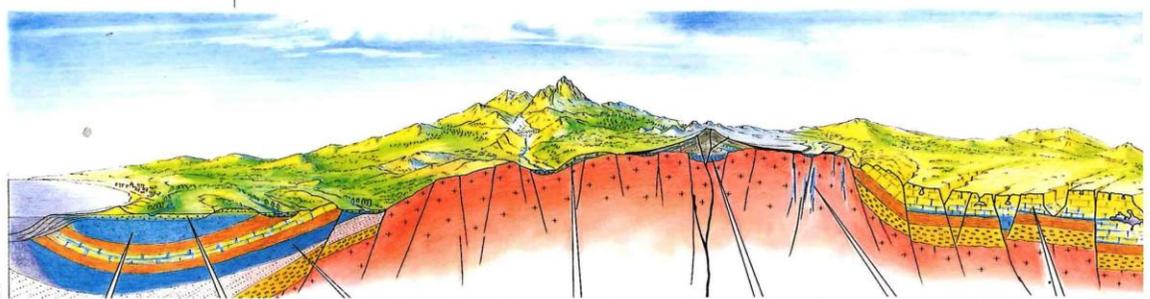
BASSINS VERSANTS

Le bassin versant représente l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Le bassin versant hydrologique est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont du point le plus bas considéré.

Le bassin versant hydrogéologique, ou réel, tient compte des écoulements d'eau souterraine. Il diffère du bassin versant hydrologique en fonction de la nature lithologique des roches à l'affleurement et en profondeur.

Bassin d'alimentation d'un captage, ou d'une source (ou impluvium) : surface topographique à travers laquelle l'eau d'infiltration (pluie, cours d'eau) alimente la nappe qui est drainée au niveau d'un captage ou d'une source.



© J.-J. Collin, Les eaux souterraines

<p>Aquifères de roches sédimentaires (libres)</p>  <p>Calcaire, craie, grès</p> <p>Débit : moyen à élevé</p>	<p>Sables et alluvions des vallées</p>  <p>Graviers et sables</p> <p>Débit : bon à élevé</p>	<p>Aquifères sédimentaires profonds (captifs)</p>  <p>Formations sédimentaires poreuses Calcaires, craie, grès</p> <p>Débit : bon à élevé</p>	<p>Dépôts glaciaires (moraines)</p>  <p>Association de blocs, argiles, graviers, sables</p> <p>Débit : très variable</p>	<p>Aquifères volcaniques</p>  <p>Laves et scories</p> <p>Débit : excellent dans les scories, faible dans les laves</p>	<p>Roches dures fissurées</p>  <p>Fractures dans le granite ou autres roches cristallines</p> <p>Débit : faible à moyen</p>	<p>Aquifères karstiques</p>  <p>Cavités dans le calcaire compact</p> <p>Débit : très variable</p>
--	--	---	--	--	---	---



Entités nationales NV1 par thème

- Alluvial
- Sédimentaire
- Socle
- Intensivement plissé
- Volcanisme



Carte schématique de répartition des entités nationales de niveau 1 selon les types de formation géologiques
Extrait de la BDLISA

<http://journeebdlisa.brgm.fr/>

3 grands types d'aquifères (schéma à modifier en cours)

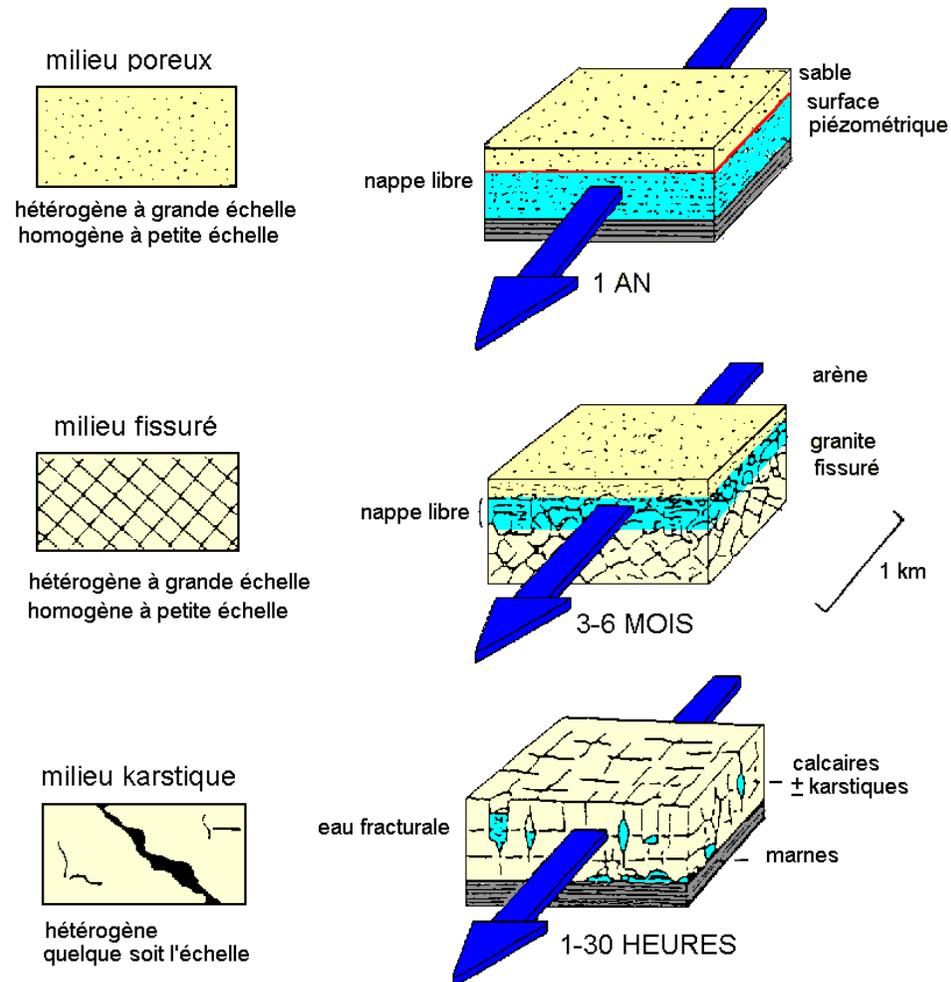
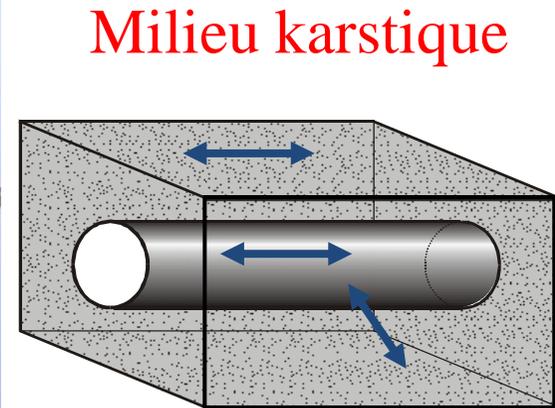


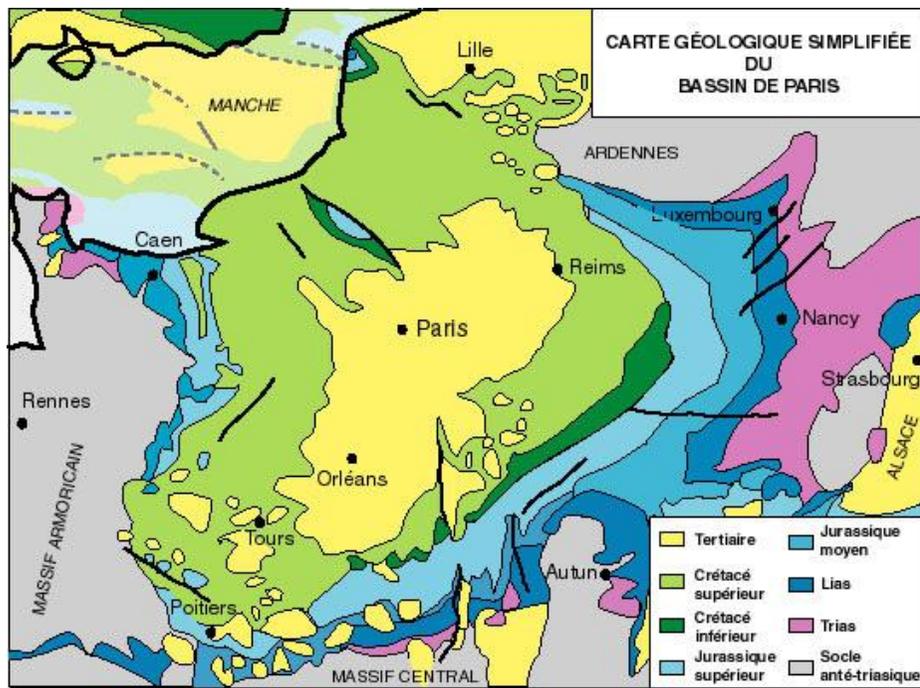
Figure 7-16A: Hétérogénéité des aquifères et vitesse d'écoulement (adapté de DROGUE in GUILLEMIN et ROUX).

Table 5.11 Principal differences between single-, double- and triple-porosity aquifers. Most karst aquifers have triple-porosity characteristics Reproduced from Worthington, S. R. H., and Ford, D. C., Chemical hydrogeology of the carbonate bedrock at Smithville. Smithville Phase IV Bedrock Remediation Program. Ministry of the Environment, Ontario, 2001

Parameter	Aquifer type		
	Single porosity (porous medium)	Double porosity	Triple porosity (karst)
Flow components	Matrix	Matrix Fracture	Matrix Fracture Channel
Flow laws	Darcy	Darcy Hagen–Poiseuille	Darcy Hagen–Poiseuille Darcy–Weisbach
Flow modes	Laminar	Laminar	Laminar Turbulent
Flow lines are	Parallel	Mostly parallel	Convergent to channels

Extrait de Ford and William, Karst Hydrogeology and Geomorphology, 2007





Forage exécuté de 1835 à 1841 jusqu'à 548 m de profondeur (sables verts de l'Albien)

Fontaine artésienne de Grenelle, Place Breteuil
Eau à 28 °C. Niveau d'eau stabilisé à 33 m de hauteur

COUPE SYNTHÉTIQUE DU BASSIN DE PARIS

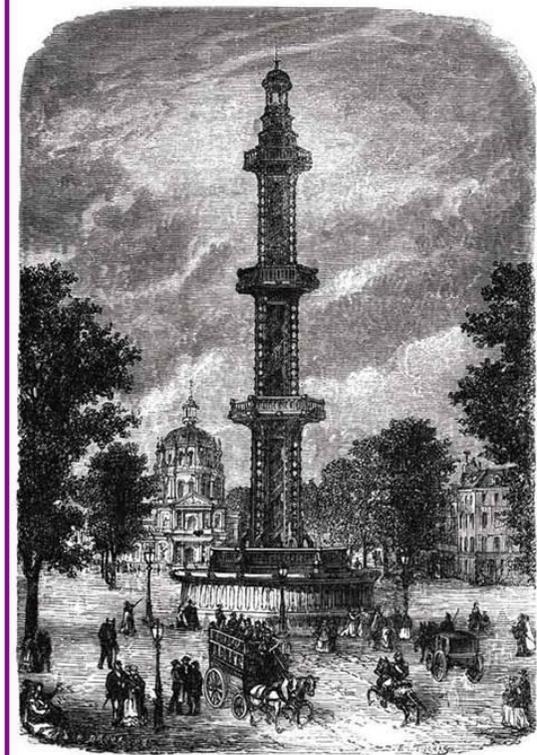
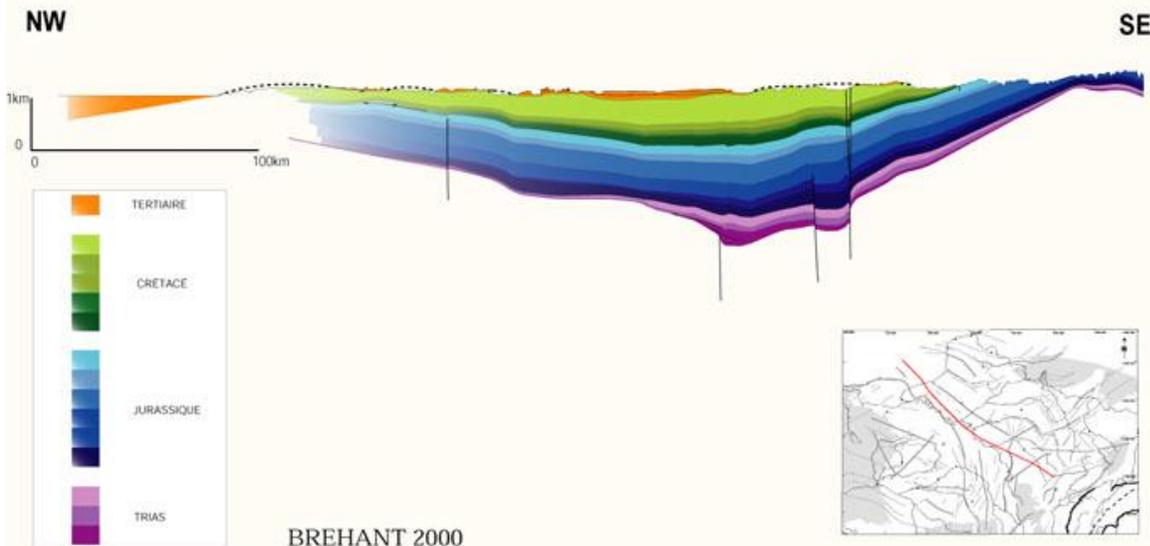


Fig. 381.— La colonne monumentale du puits de Grenelle, sur la place Breteuil.

Coupe schématique de synthèse des différents types de nappes à l'échelle d'un bassin versant, et les particularités hydrogéologiques associées

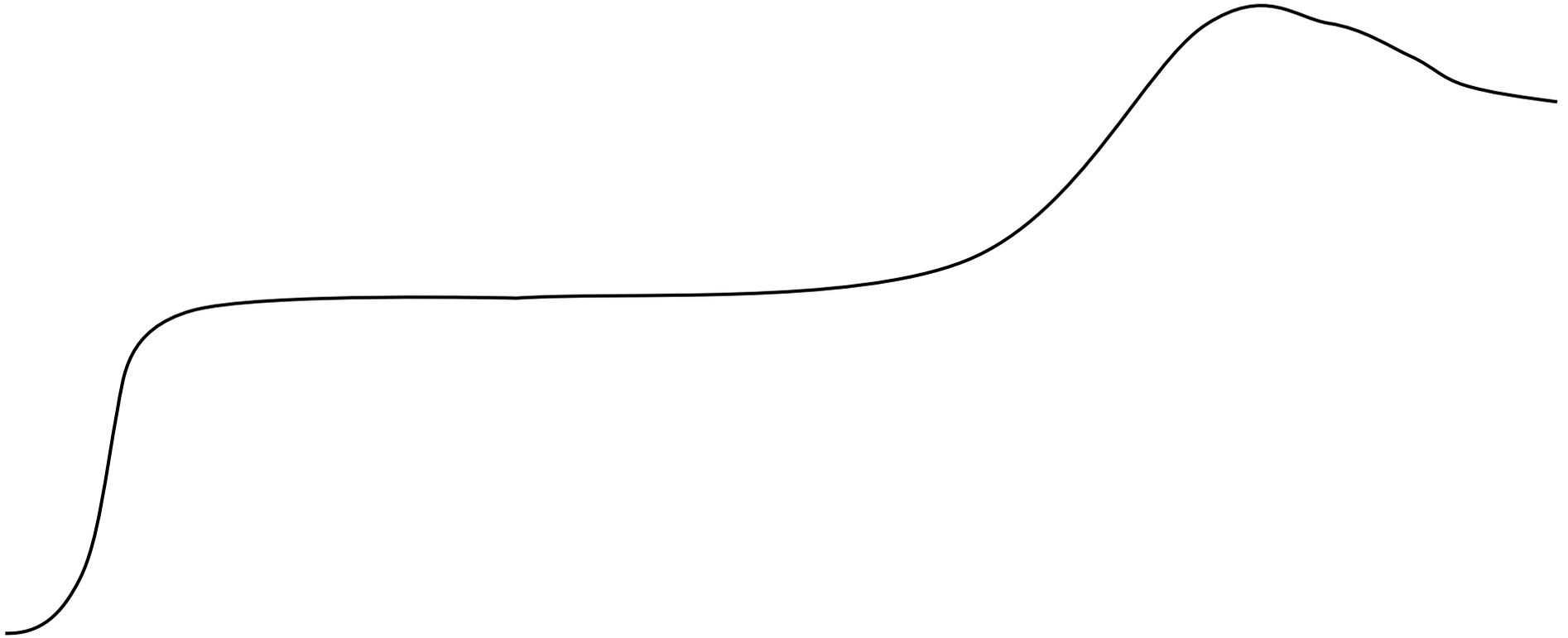


Tableau 13 - Classification granulométrique des roches meubles

Désignations		Diamètres des grains mm
Caillou, pierre, bloc		supérieur à 16
Tamis	Gravier, gravillon	16 à 2
	gros	2 à 0,5
	Sable moyen	0,5 à 0,25
	fin	0,25 à 0,06
Silt		0,06 à 0,002
Argile		plus petit que 0,02

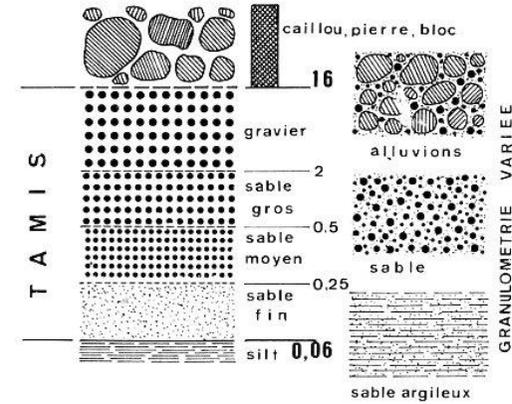
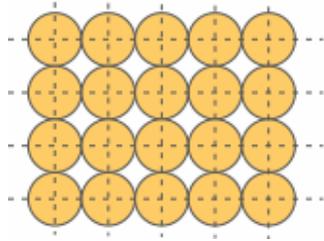


Figure 34 - Classification granulométrique.

Tassement cubique
 $P_o = 47,6\%$



Tassement rhomboédrique
 $P_o = 25,9\%$

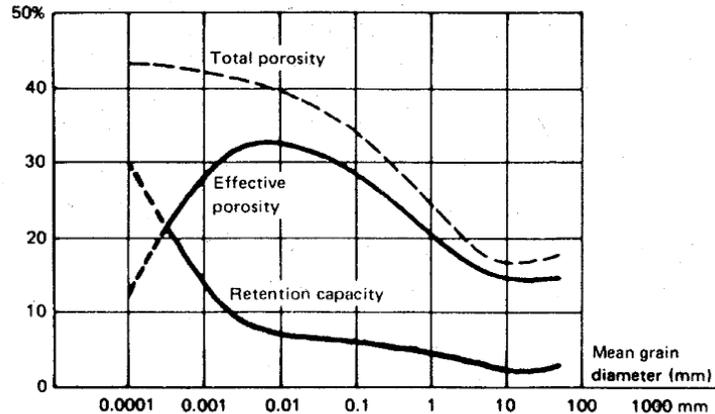
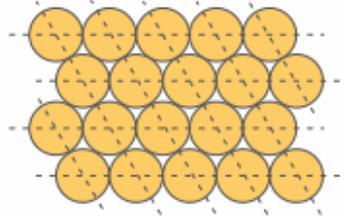


Figure 1.16 Composantes de la porosité en fonction de la granulométrie (de Marsily, 1986)

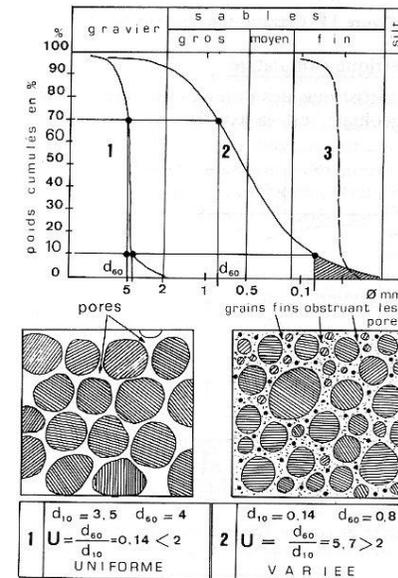
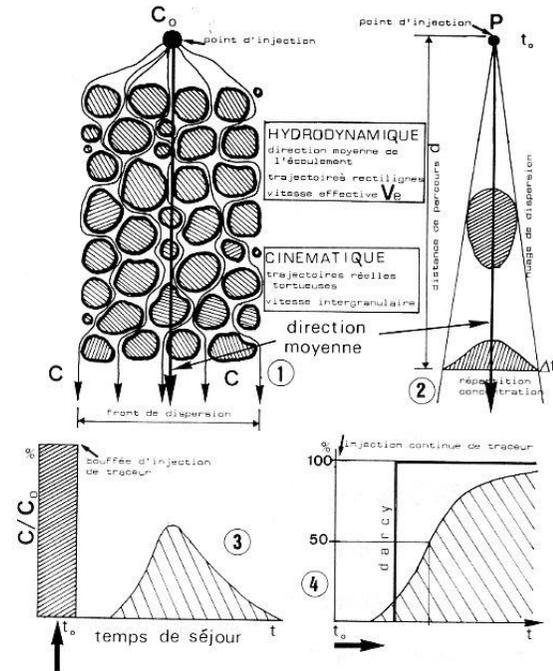
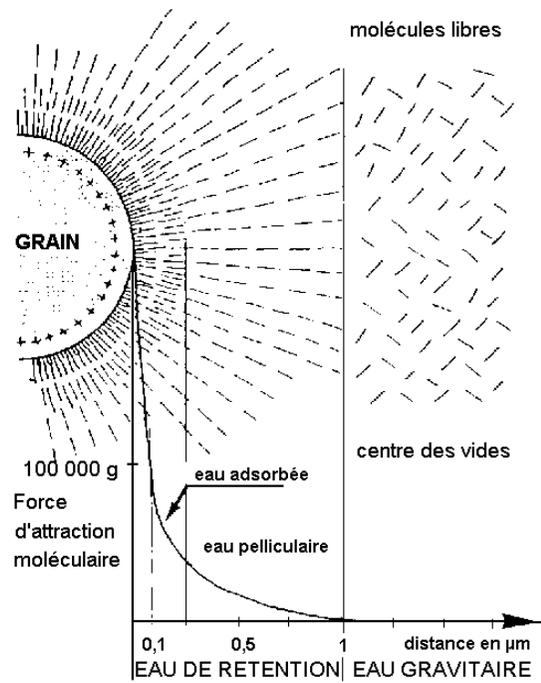
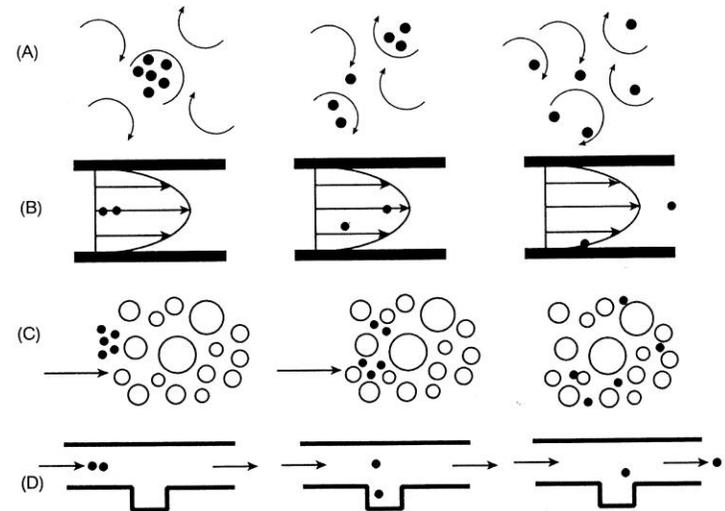
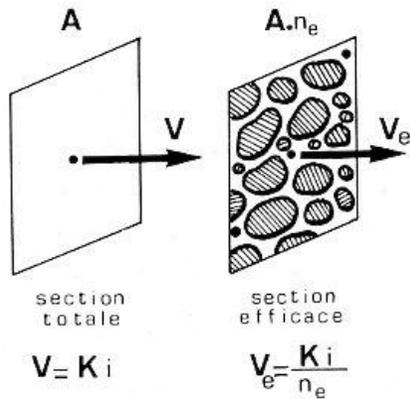


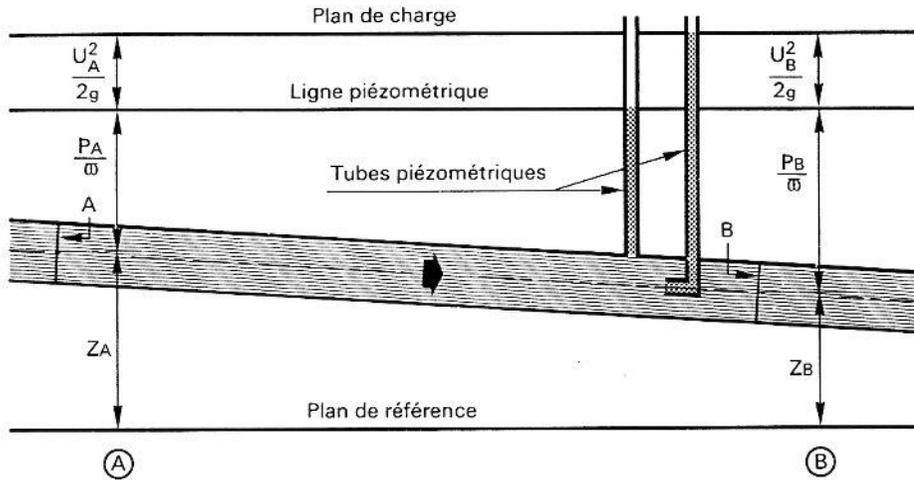
Figure 36 - Qualification d'un matériau meuble par sa granulométrie. Position et pente de la courbe granulométrique. Granulométrie uniforme et variée. Signification du diamètre efficace d_{10} .
1, gravier à granulométrie uniforme ; 2, gravier sableux à granulométrie variée ; 3, sable fin à granulométrie uniforme.



Castany



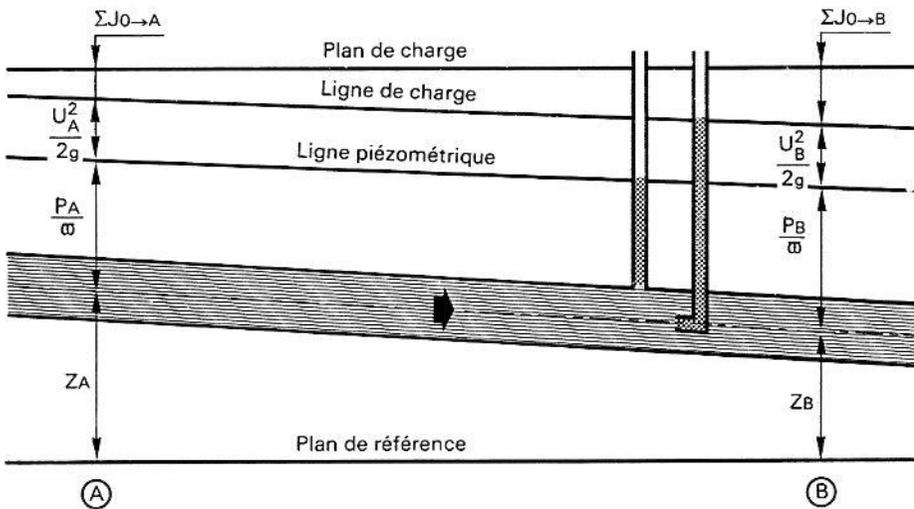
1^{er} cas : fluide parfait, section constante



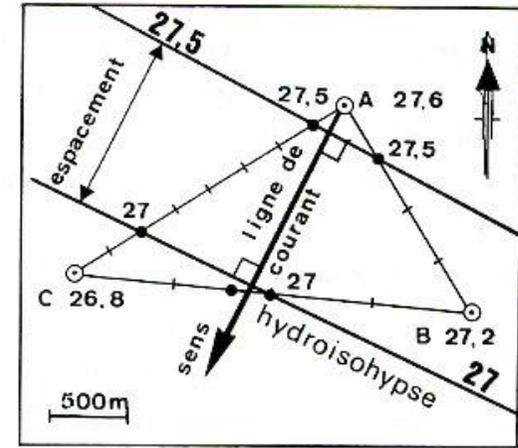
La section de la veine fluide étant constante, la vitesse est constante et par suite le terme $U^2/2g$ également.

in Hydraulique pratique, C. Roux 1994

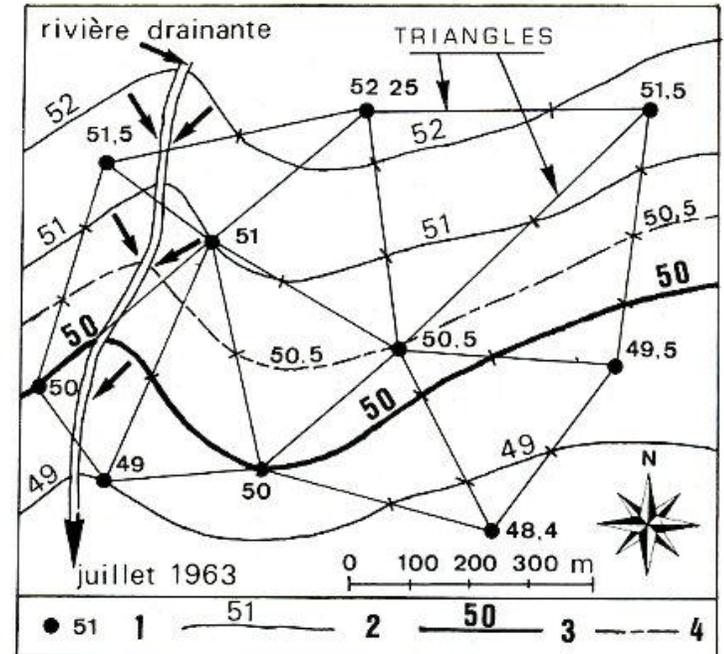
2^e cas : fluide réel, section constante

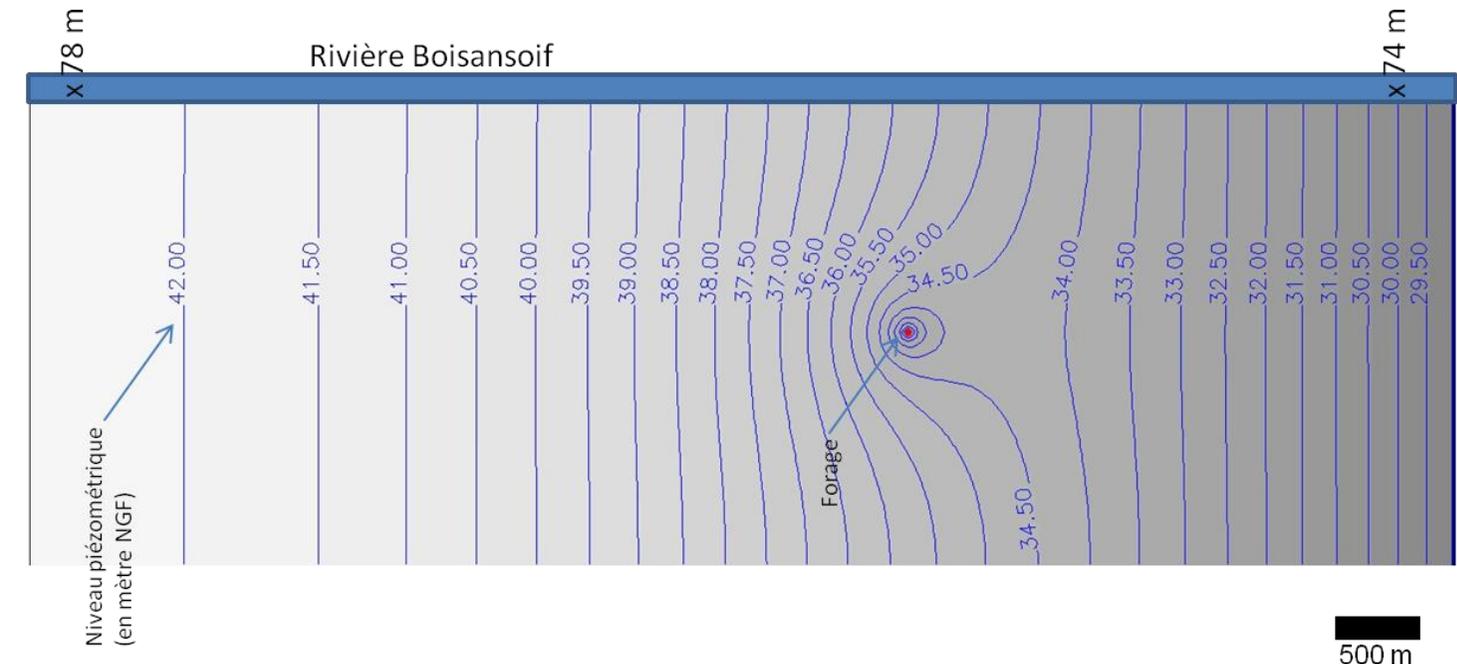


Tracé des courbes hydrosiohypses



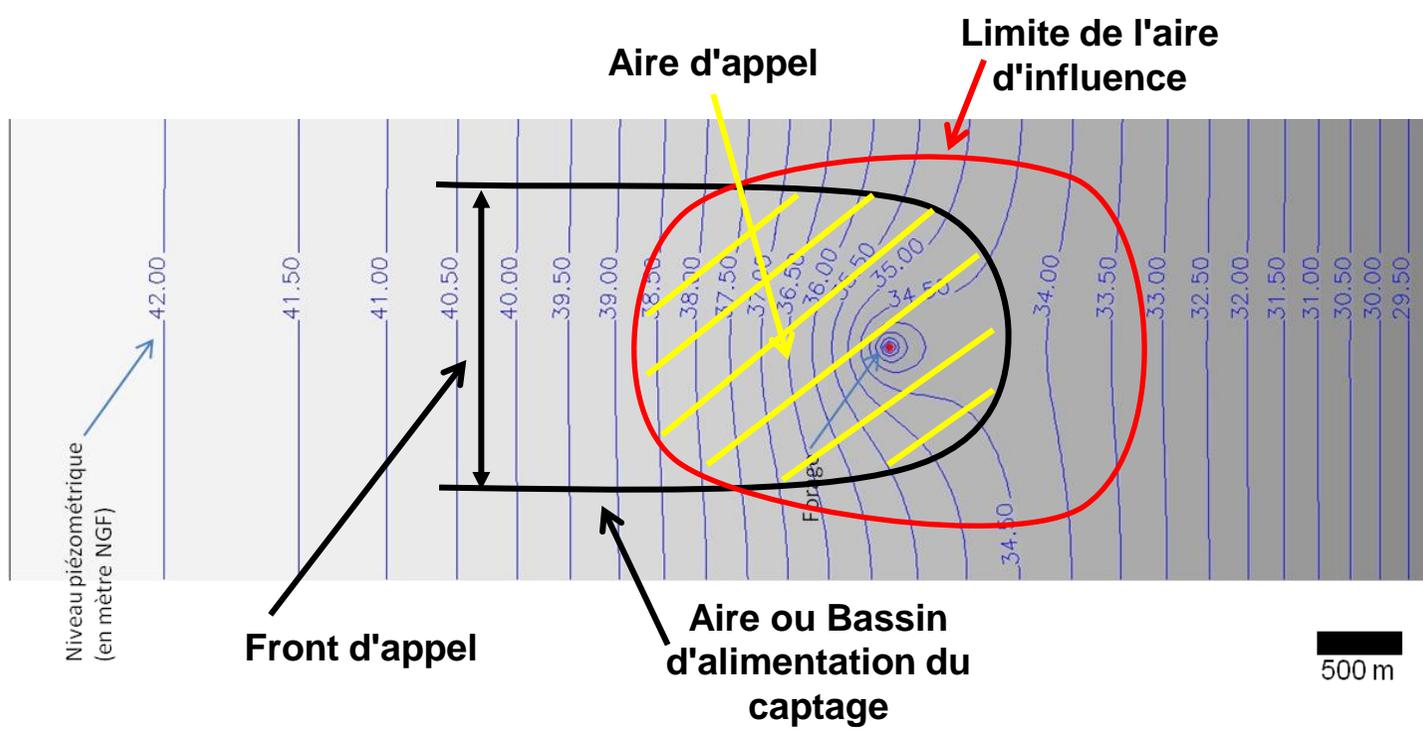
Castany



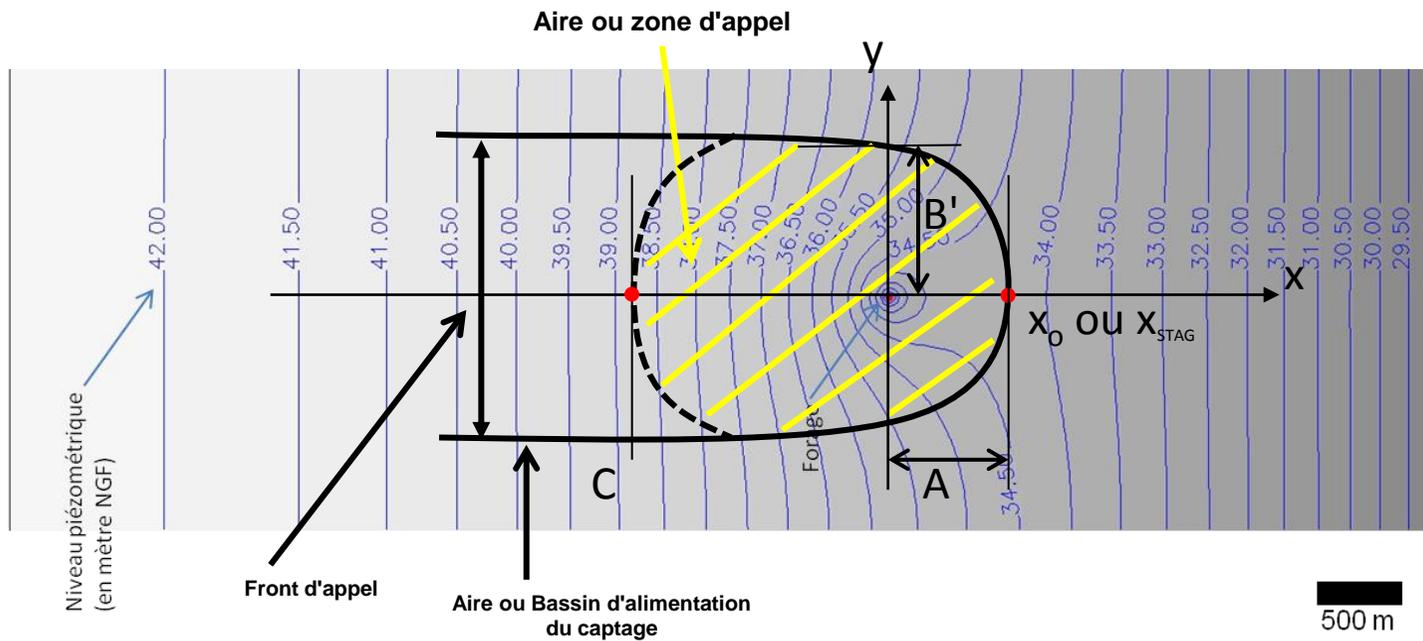


Arfib, 2013

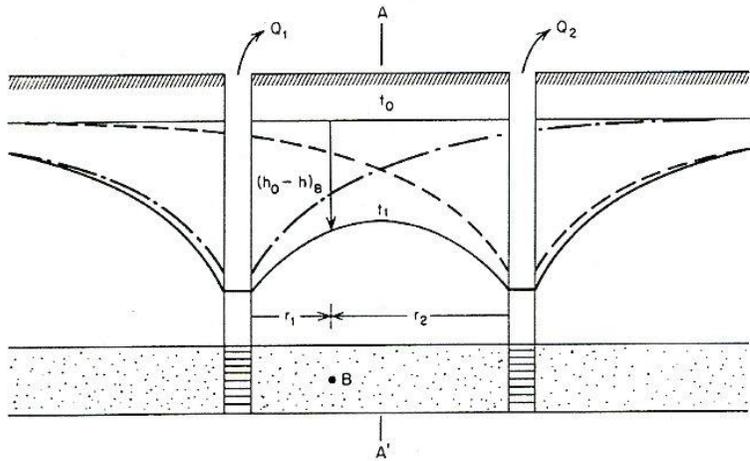




Arfib, 2013



Principe de superposition



--- Drawdown due to Q_2 -.-.- Drawdown due to Q_1 — Total drawdown

Figure 8.13 Drawdown in the potentiometric surface of a confined aquifer being pumped by two wells with $Q_1 = Q_2$.

Principe des images

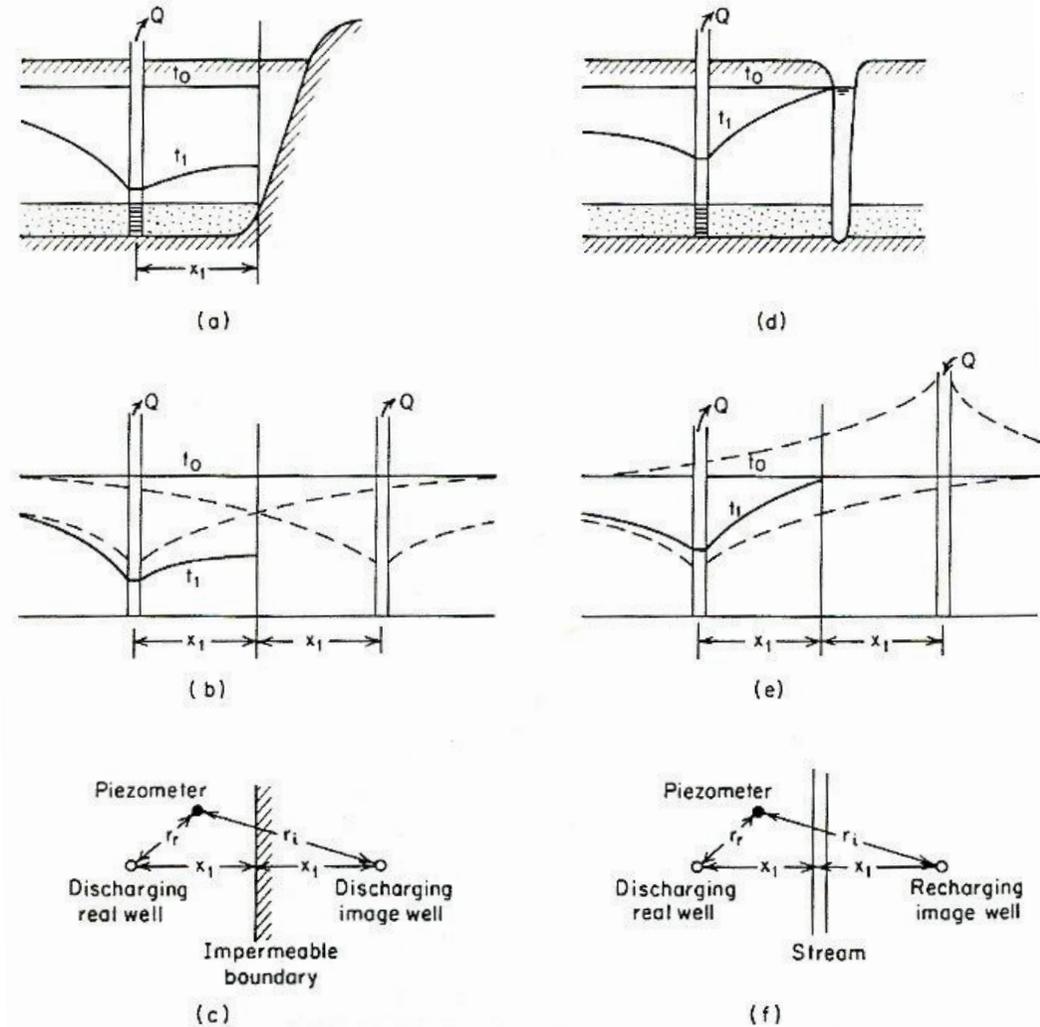


Figure 8.15 (a) Drawdown in the potentiometric surface of a confined aquifer bounded by an impermeable boundary; (b) equivalent system of infinite extent; (c) plan view.

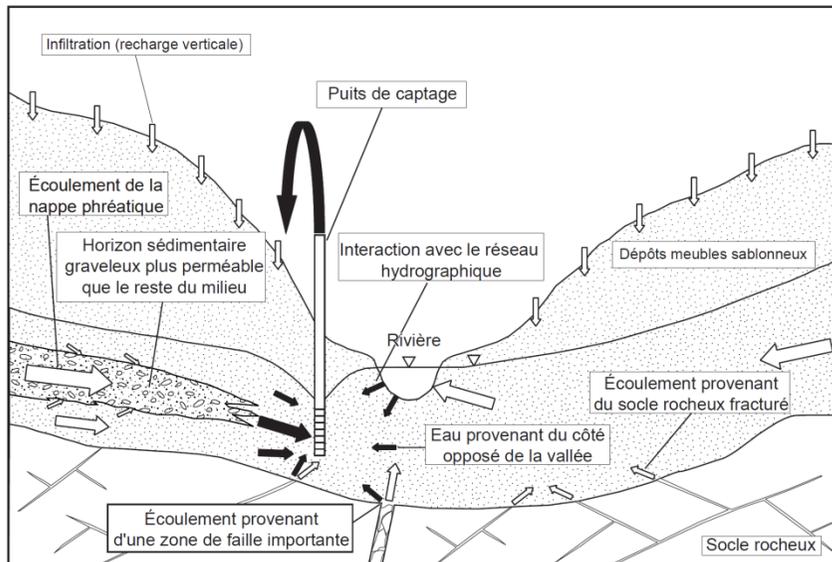
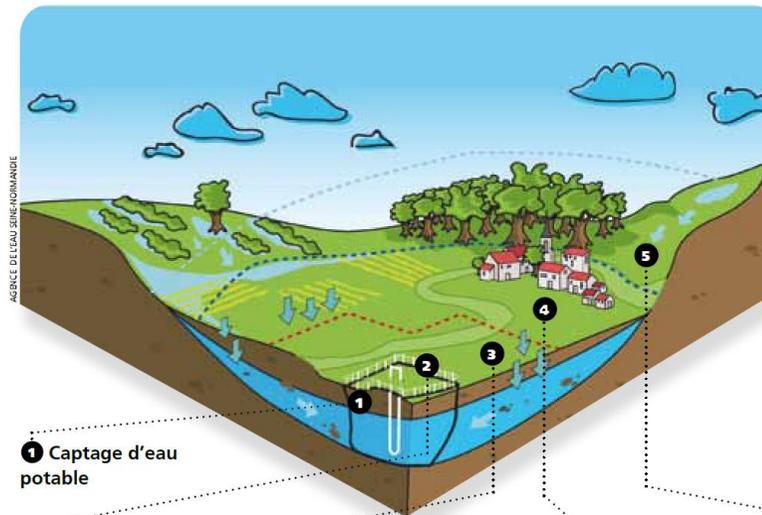


Figure 8.1 : Exemple de l'interaction de plusieurs facteurs d'écart par rapport aux modèles simples dans un aquifère soumis à un pompage; la dimension des flèches indique l'importance relative de l'écoulement ; les flèches blanches indiquent des écoulements naturels et les flèches noires des effets de la perturbation causée par le pompage du puits (Rasmussen et al., 2003).

Guide Ministère - Québec

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>



AGENCE DE L'EAU SÈNE-LOIRE

1 Captage d'eau potable

2 Le périmètre de protection immédiate est destiné à protéger les ouvrages du captage. Il doit être clôturé et est généralement enherbé. La collectivité distributrice de l'eau en est propriétaire. Aucune activité autre que l'entretien mécanique et l'entretien de l'ouvrage n'y est autorisée.

3 Le périmètre de protection rapprochée est défini pour protéger le captage des migrations de substances polluantes. Il permet de préserver le captage des risques de pollutions accidentelles ou ponctuelles. Dans le cas de petits bassins versants, il permet aussi d'agir sur des pollutions diffuses. Les activités ou aménagements pouvant nuire à la qualité des eaux y sont réglementés ou interdits.

4 Le périmètre de protection éloignée constitue une zone de vigilance particulière, vis-à-vis notamment des pollutions accidentelles pouvant avoir des conséquences sur la ressource. Les activités ou aménagements à l'intérieur de ce périmètre y sont souvent réglementés. L'application de la réglementation générale doit y être appliquée en toute rigueur, c'est-à-dire sans possibilité de dérogation.

5 Le bassin d'alimentation de captage (BAC), aussi appelé aire d'alimentation de captage (AAC), désigne la surface du sol sur laquelle l'eau qui ruisselle et/ou s'infiltré alimente le captage.

On parle de **pollution ponctuelle** quand une source de pollution localisée en un point précis provoque une contamination (bactériologique ou par des hydrocarbures...) de la ressource.

Les pollutions accidentelles font référence par exemple à des erreurs de manipulation ou des défaillances de transport. Elles sont localisées.

Quant aux pollutions diffuses, leur origine ne peut être localisée en un point précis, ni concerner un acteur en particulier. Elles sont réparties sur une surface importante. Les résidus polluants sont entraînés par les eaux de ruissellement ou par percolation dans le sol et le sous-sol.

Protection des captages d'eau potable, préservation de la ressource en eau : comment passer à l'action ?

http://www.alterre-bourgogne.fr/fileadmin/Alfresco/Eau/Guide_protection_captages_2011.pdf

Fréquence de mesures du niveau d'eau en cours de pompage et lors de la remontée

Sur l'ouvrage de pompage

Temps (t) écoulé depuis le début du pompage ou de la remontée	Fréquence des mesures
de 0 min à 15 min	1 min
de 15 min à 30 min	5 min
de 30 min à 60 min	10 min
de 1 h à 2 h	15 min
de 2 h à 4 h	30 min
de 4 h à 8 h	1 h
> 8 h	2 h

Sur le(s) piézomètre(s)

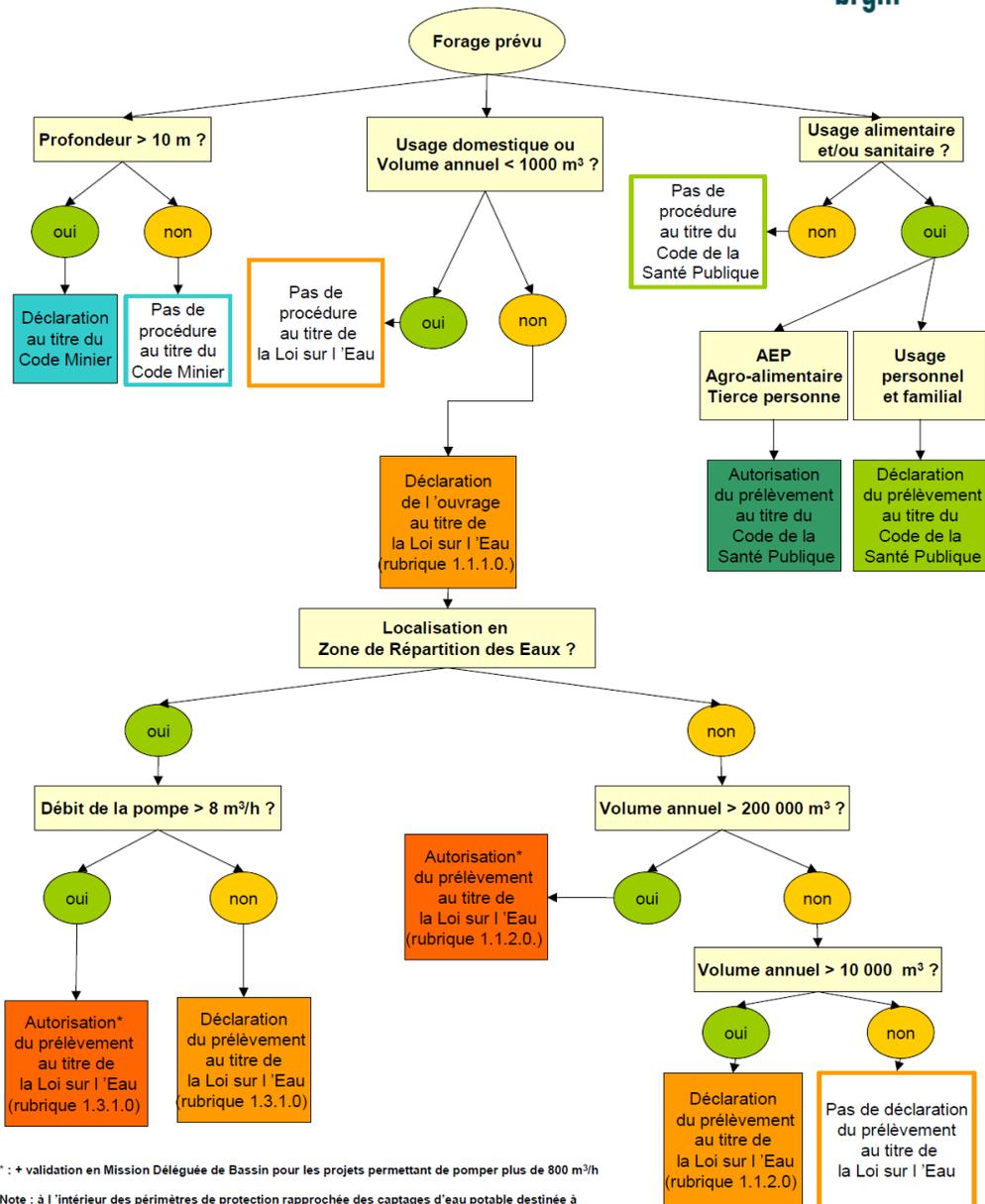
Distance du piézomètre par rapport au forage pompé	Temps (t) écoulé depuis le début du pompage ou de la remontée	Fréquence des mesures
Nappe libre < 25 m Nappe captive < 500 m	de 0 min à 10 min	2 min
	de 10 min à 30 min	5 min
	de 30 min à 60 min	10 min
	de 1 h à 4 h	20 min
	> 4 h	idem forage
Nappe libre 25 m — 100 m Nappe captive 500 m — 1 000 m	de 0 min à 60 min	15 min
	de 1 h à 4 h > 4 h	30 min idem forage
Nappe libre > 100 m Nappe captive > 1 000 m	de 0 min à 60 min	30 min
	de 1 h à 4 h > 4 h	1 h idem forage

Paliers de débit et durées lors des essais de puits et de nappe

Classe de débits	Essai par paliers ^{a)}	Essai longue durée	Nombre de piézomètres à suivre s'ils existent (à titre indicatif)	Suivi de la remontée à l'issue du pompage de longue durée
> 80 m ³ /h	≥ 4 paliers de 2 h	≥ 72 h	3	≥ 24 h
de 8 m ³ /h à 80 m ³ /h	≥ 4 paliers de 1 h	≥ 24 h	2	≥ 8 h
de 0 m ³ /h à 8 m ³ /h à usage professionnel	≥ 4 paliers de 1 h	≥ 12 h	1	≥ 6 h
< 1 000 m ³ /an (usage domestique)	≥ 3 paliers de 1 h (enchaînés sans remontée)	≥ 3 h enchaîné	—	≥ 3 h

a) Les paliers seront non enchaînés sauf stipulation contraire au cahier des charges.

Schéma des différentes procédures applicables aux forages et aux prélèvements en dehors des périmètres de protection rapprochée des captages d'eau potable



* : + validation en Mission Déléguée de Bassin pour les projets permettant de pomper plus de 800 m³/h

Note : à l'intérieur des périmètres de protection rapprochée des captages d'eau potable destinée à l'alimentation des collectivités humaines, les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à Déclaration au titre de la Loi sur l'Eau relèvent du régime de l'Autorisation