



HLST201

EXPERIMENTATION ET DYNAMIQUE TERRESTRE : MESURES IN SITU EN HYDROSCIENCES



(Responsable : S. Mazzotti)

MESURES IN SITU EN HYDROSCIENCES

Enseignants : V. de Montety / P. Fischer / G. Cinkus

SORTIE TERRAIN DU 12/02/21 :

Atelier N°1 : Site expérimental du Terrieu (Ecoulements souterrains)

Mesures en forages : P. Fischer et G. Cinkus

- relevés piézométriques
- diagraphies en forage

Atelier N°2 : Base nautique de Lavalette (Ecoulements de surface)

Mesures de débit : P. Fischer et G. Cinkus

- jaugeages au sel et flotteur
- test d'infiltrométrie de Beerkan

Objectif :

Effectuer des manipulations de base en hydrologie et hydrogéologie et comprendre leur principe.

Evaluation :

Un rapport de 5 pages (police 11) à rendre pour le 26/02/2021.

Sites d'étude :

Source du Lez : Source karstique (65m d'altitude, Saint Clément de Rivière) exploitée depuis 1981 pour l'alimentation en eau de la ville de Montpellier (max DUP 1700l/s avec débit réservé pour fleuve de 160l/s). Cette source draine un important réseau d'eau souterrain (calcaires), dont la superficie est estimée à 400 km²

Lez souterrain (Site expérimental du Terrieu) : Ce site expérimental du laboratoire HSM est situé à proximité de St-Mathieu de Trévières, au bord du Terrieu, un cours d'eau intermittent. Il est équipé sur 2 500 m² environ de 21 forages d'une soixantaine de mètre de profondeur. Il est situé sur les calcaires du Jurassique Supérieur et du Crétacé inférieur et fait partie du système aquifère du Lez (bassin d'alimentation souterrain de la source du Lez).

Lez aérien (Base nautique de Lavalette) : Le fleuve Lez parcourt 28 km de St Clément (source) à Palavas. Il dispose de plusieurs ruisseaux affluents, Terrieu, Lirou, Lironde, Mosson, dont le plus connu est le Verdanson qui coule dans Montpellier en grande partie enterré puis endigué. Le bassin versant du Lez en surface est de 566 km² environ.

Atelier N°1 : Site expérimental du Terrieu

Caractériser les circulations d'eau souterraine par deux approches:

- Horizontalement : réalisation d'une carte piézométrique et identification du sens général et de la direction des écoulements
- Verticalement: réalisation de diagraphies pour localiser les zones de circulations préférentielles.

Ces mesures et observations permettront de mieux comprendre l'influence des hétérogénéités du karst sur la circulation des eaux souterraines. De nombreux équipements sont sur place et il est donc recommandé d'être précautionneux afin de ne pas perturber les mesures réalisées.

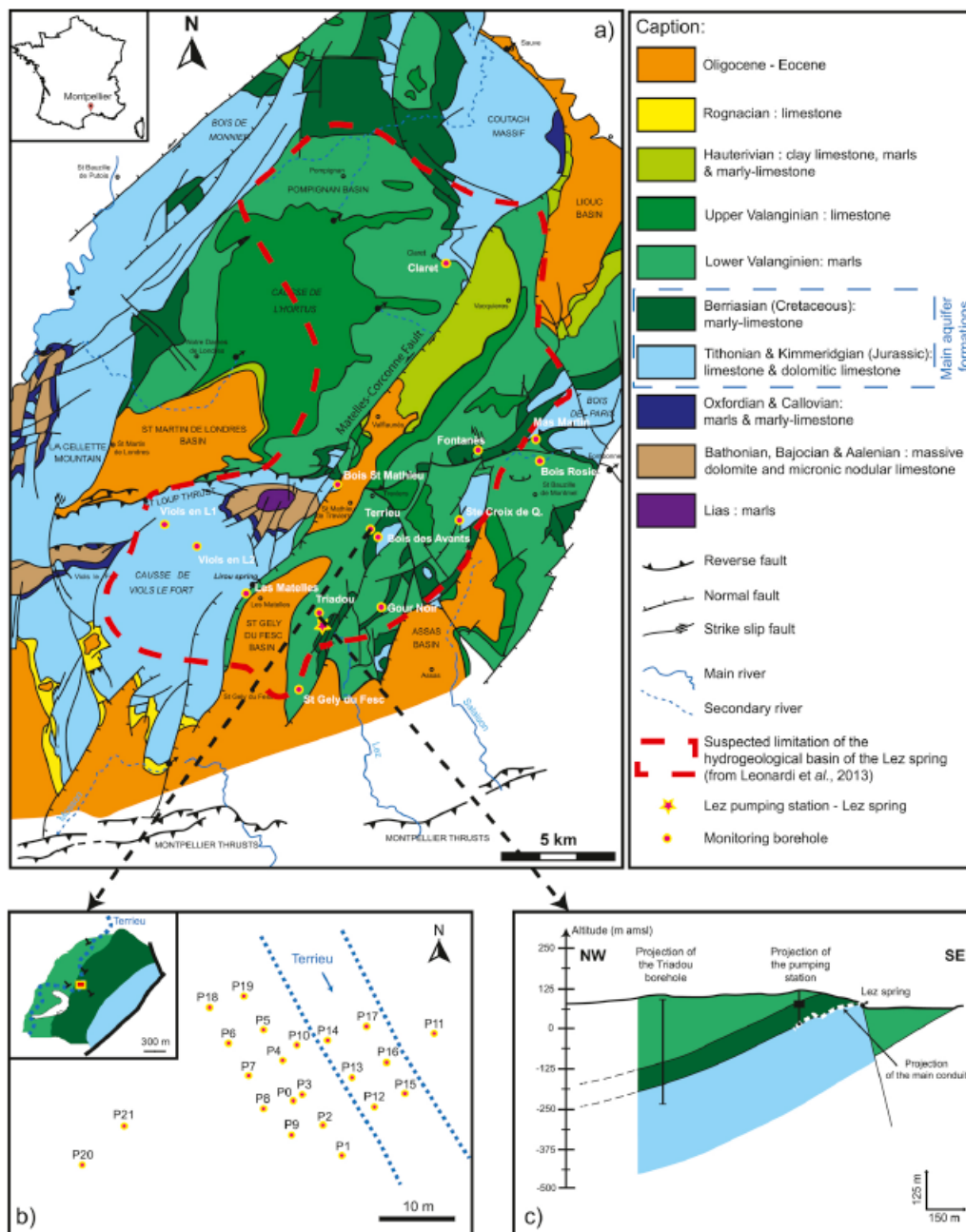


Figure 1 : Contexte géologique du secteur de la Source du lez et du site expérimental du Terrieu (d'après Dausse et al. 2019)

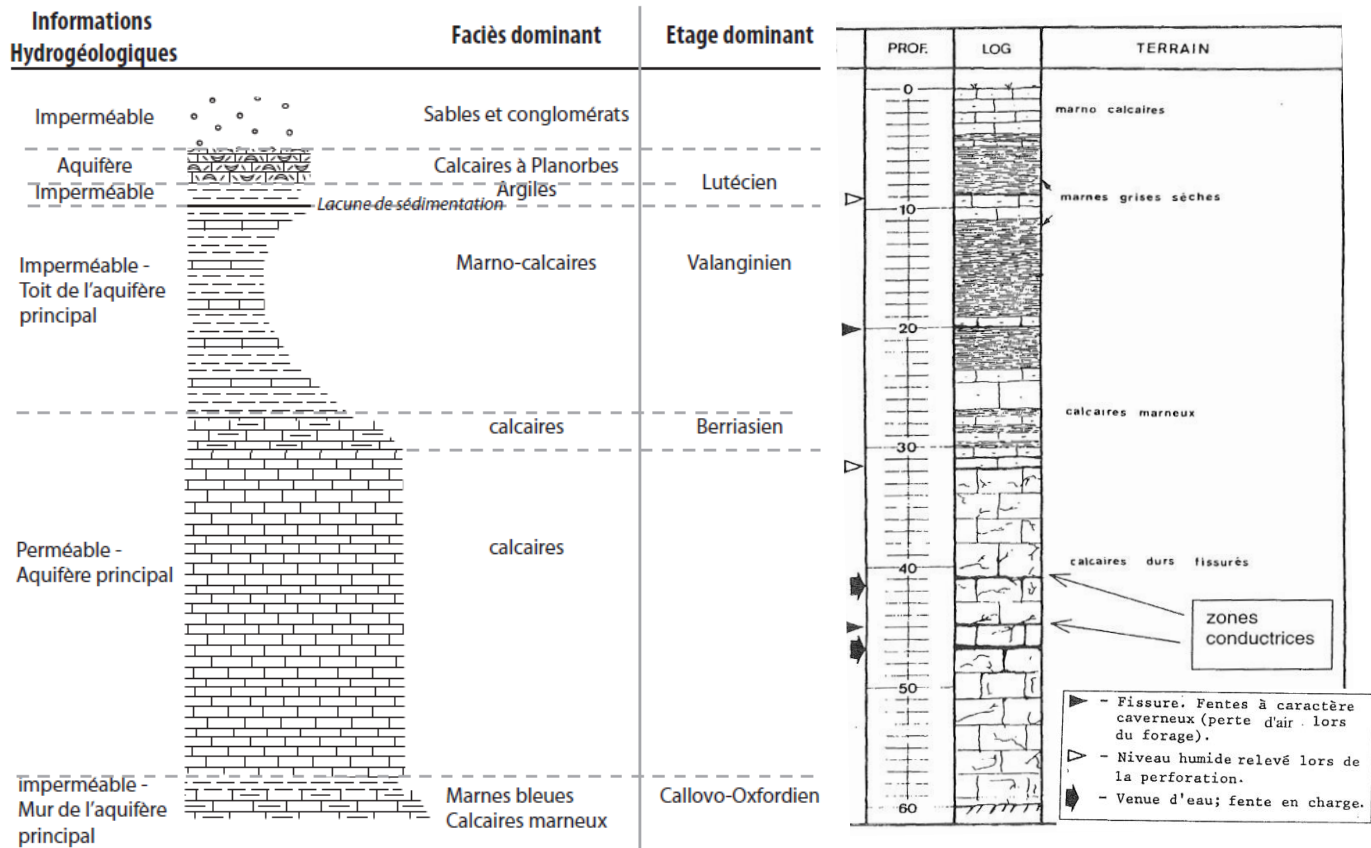


Figure 2. Log hydrogéologique du secteur entre la source du Lez et les Matelles à gauche (d'après Conroux, 2007) et coupe du Piézomètre 8 du site du Terrieu à droite (Pitard, 1976)

Figure 3 : Orientation des fractures sur le site du Terrieu (Jazayeri, 2009).



- Piézométrie :

a/- Données:

- Mesurer l'altitude du niveau d'eau (niveau piézométrique par rapport au NGF)

b/- Interprétation:

- Quel est l'intérêt de travailler en niveau d'eau (altitude par rapport au NGF) par rapport à la profondeur de l'eau ?
- Reporter sur la carte le niveau piézométrique (par rapport au NGF)
- Le niveau est-il le même sur l'ensemble du secteur? Les valeurs sont-elles homogènes ou est-ce qu'il y a quelques points très différents ? Quel lien pouvez-vous faire avec l'hétérogénéité du calcaire?
- Déterminer le sens et la direction générale des écoulements

ID	Abscisse (m)	Ordonnée (m)	Élévation (m)	Profondeur de l'eau (m)	Niveau piézométrique (m)
pz1	723458,593	162879,065	85,277		
pz2	723456,332	162883,486	85,561		
pz3	723453,246	162888,291	85,380		
pz4	723450,857	162893,079	85,453		
pz5	723448,498	162897,791	85,531		
pz6	723444,040	162896,054	85,560		
pz7	723446,598	162891,060	85,586		
pz8	723448,709	162886,308	85,656		
pz9	723452,265	162882,056	85,859		
pz10	723452,828	162895,447	85,298		
pz11	723469,693	162895,550	85,015		
pz12	723462,957	162886,429	84,020		
pz13	723460,066	162890,952	84,109		
pz14	723456,797	162896,226	84,368		
pz15	723466,980	162888,391	84,240		
pz16	723464,496	162893,000	84,234		
pz17	723461,658	162898,537	84,115		
pz18	723441,569	162901,192	85,755		
pz19	723445,972	162903,005	85,424		
pz20	723425,192	162877,775	91,064		
pz21	723430,405	162883,339	90,179		

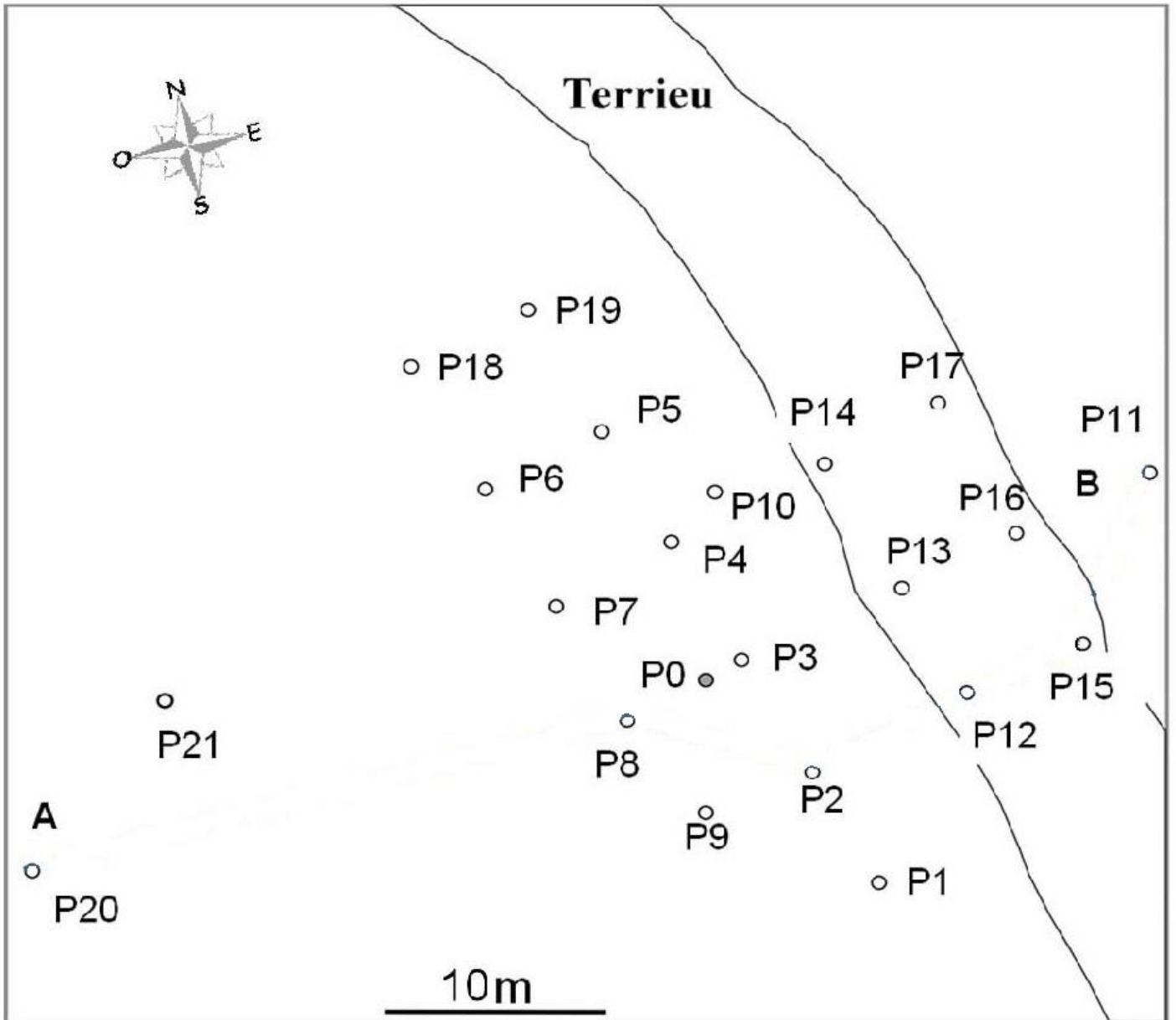
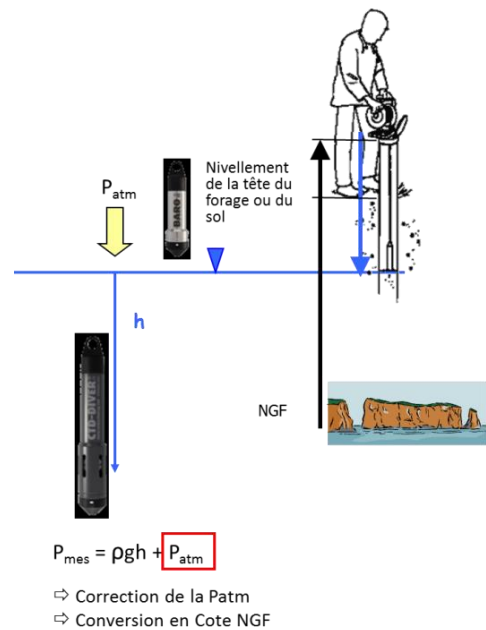


Figure 4 : Schéma d'implantation des forages du site expérimental du Terrieu.

Figure 5. Principe de la mesure de hauteur d'eau avec une sonde CTD et conversion des profondeurs d'eau en altitude



Diagraphie :

a/- Données:

- Mesurer la conductivité électrique le long du forage en descendant une sonde.

Récupérer le fichier de données brutes

- Supprimer les données hors de l'eau (laisser 2 mesures hors de l'eau avant et après les mesures dans l'eau)

- Convertir les données de pression en profondeur sous l'eau (en m) et en profondeur par rapport au haut du tube (pour comparaison avec la diagraphie manuelle).

- Tracer un premier graphique Température (axe principal) et Conductivité (axe secondaire) en fonction de la profondeur (ajuster l'échelle des axes pour visualiser au mieux les variations). Repérer les profondeurs de variations

- Tracer :

- un graphique pour la variation de température sur tous les forages mesurés

- un graphique pour la variation de conductivité sur tous les forages mesurés

Vous mettrez l'altitude en 'y'.

b/- Interprétation:

- Différence entre les 2 traceurs (température/conductivité)? A quel pourcentage de la mesure correspond la variation totale observée pour chacun des traceurs ?

- Repérer les profondeurs de variations. Différence entre descente et remontée.

- Tous les forages présentent-ils une variation notable ? Si oui, est-ce à la même profondeur ?

- Que concluez-vous sur la présence et l'orientation de drains ?

Information sur la précision et la résolution des mesures de la sonde autonome

Model CT2X	Pression (cmH ₂ O)	Température (°C)	Conductivité (μS/cm)
Gamme de variation	0-70 m		0-100
Précision	±0.05% de la lecture	±0.1	±0,5% de la lecture
Résolution	0.0034%	0.01	0.1μS/cm

Diagraphie des forages du Terrieu

N° de Forage :			
Profondeur en m	Conductivité électrique en µS/cm	Température en °C	Description
0			Tête du forage
			Niveau d'eau

Atelier N°2 : Base nautique de Lavalette

Le but de cet atelier est de mesurer le débit du fleuve Lez en surface et ses échanges hydriques avec le sol au travers de :

- mesure de débit par traçage au sel,
- mesure de la vitesse de surface par flotteur
- mesure d'infiltrométrie par la méthode Beerkan

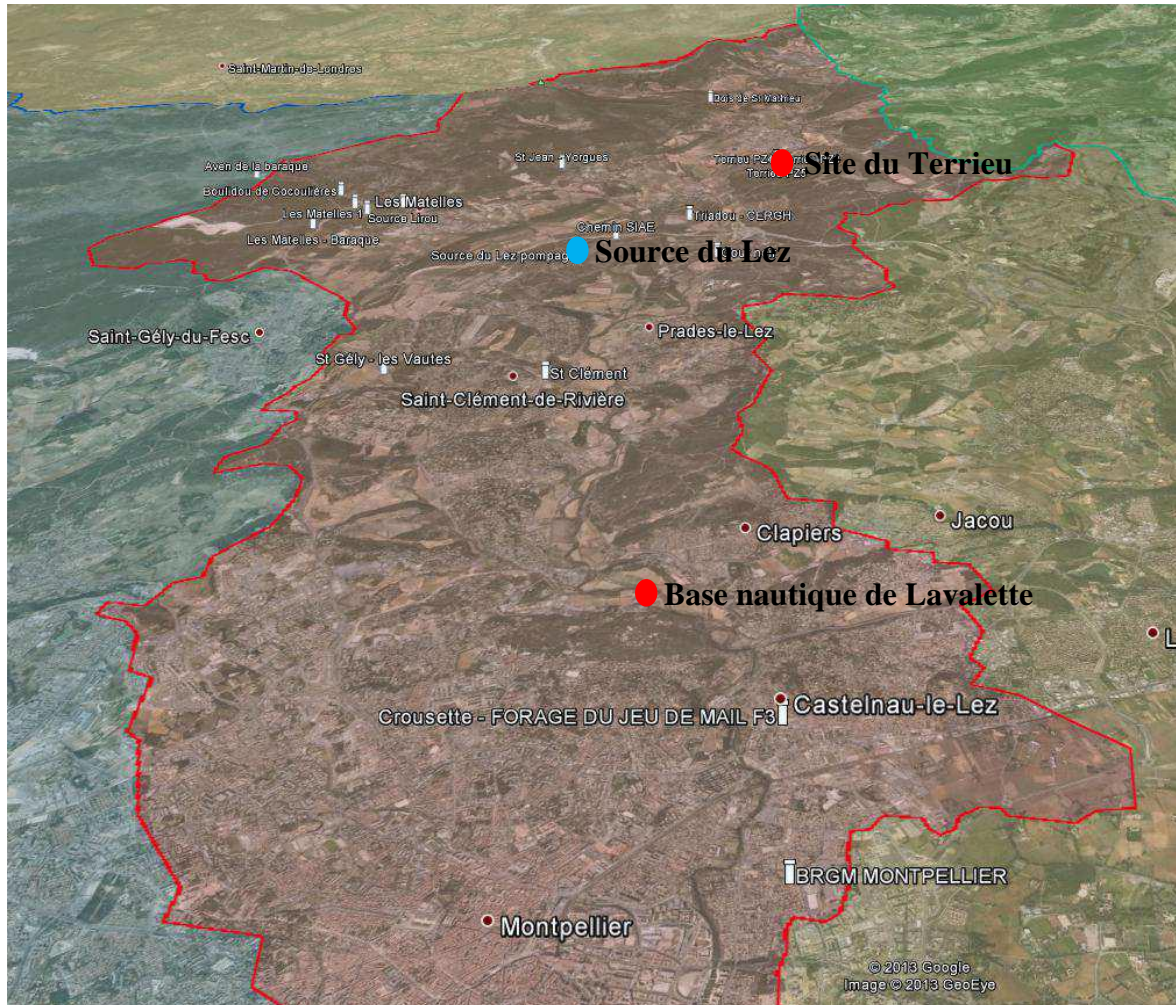


Figure 6 : Bassin versant hydrologique du Lez en amont de Montpellier (en rouge)

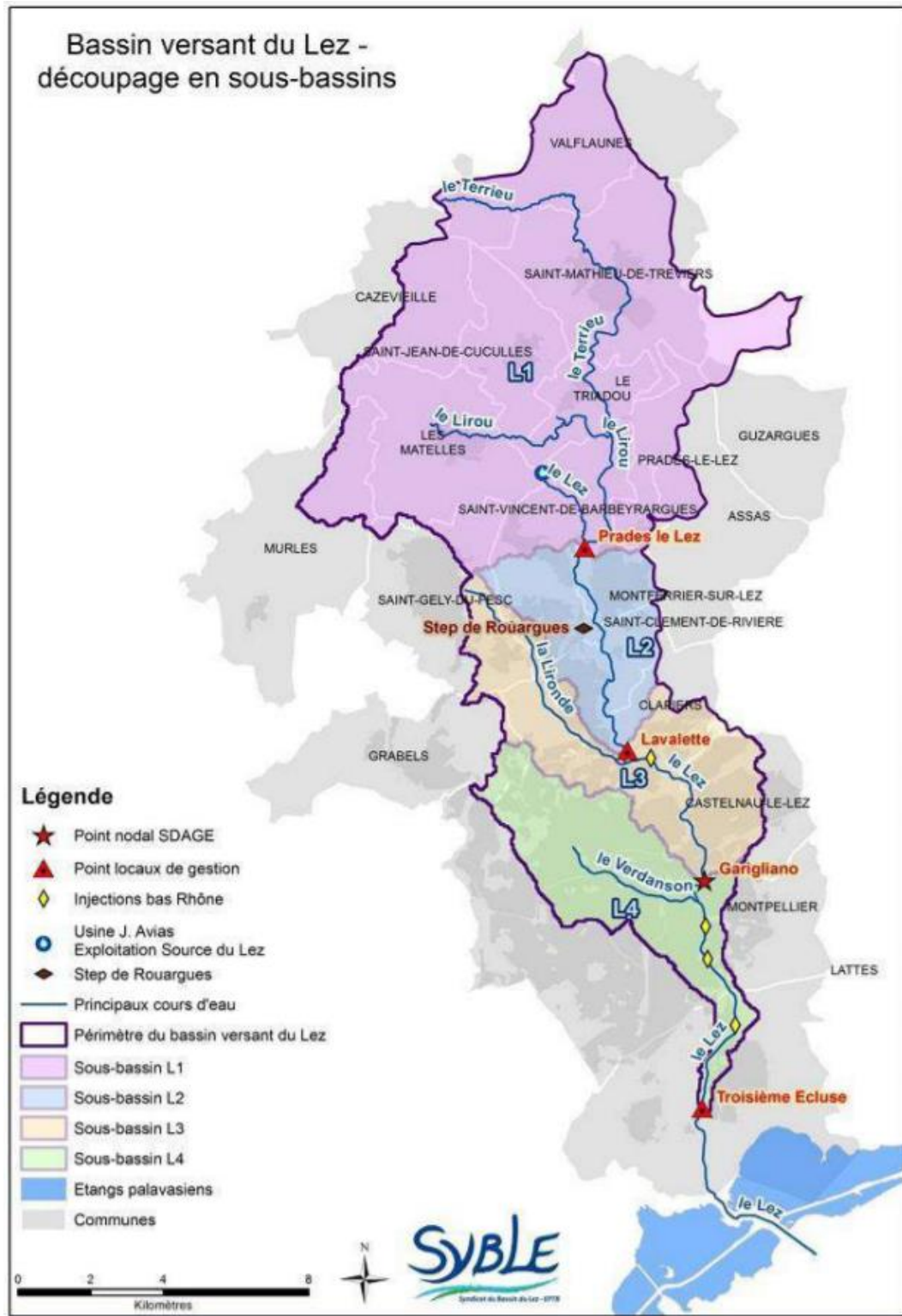


Figure 7: Cartographie du bassin versant du Lez (Syndicat du bassin du Lez)

- Estimation de débit/vitesse d'écoulement :

a/- Données:

- Etablir des repères amont et aval dans le cours d'eau et en mesurer la distance
- Déterminer la section mouillée du cours d'eau
- Mesurer l'évolution de conductivité de l'eau au repère aval après injection de sel à l'amont. En interpréter le débit par intégration de la courbe (méthode des rectangles)
- Mesurer le temps de parcours d'un flotteur entre les deux repères. En déduire le débit.

b/- Interprétation:

- Quelles sont les conditions à respecter pour pouvoir appliquer correctement ces méthodes ?
- A quel phénomène peut être attribué la différence entre les deux valeurs de débit estimées ?
- Etablir un profil de vitesse simplifié à partir des résultats obtenus.

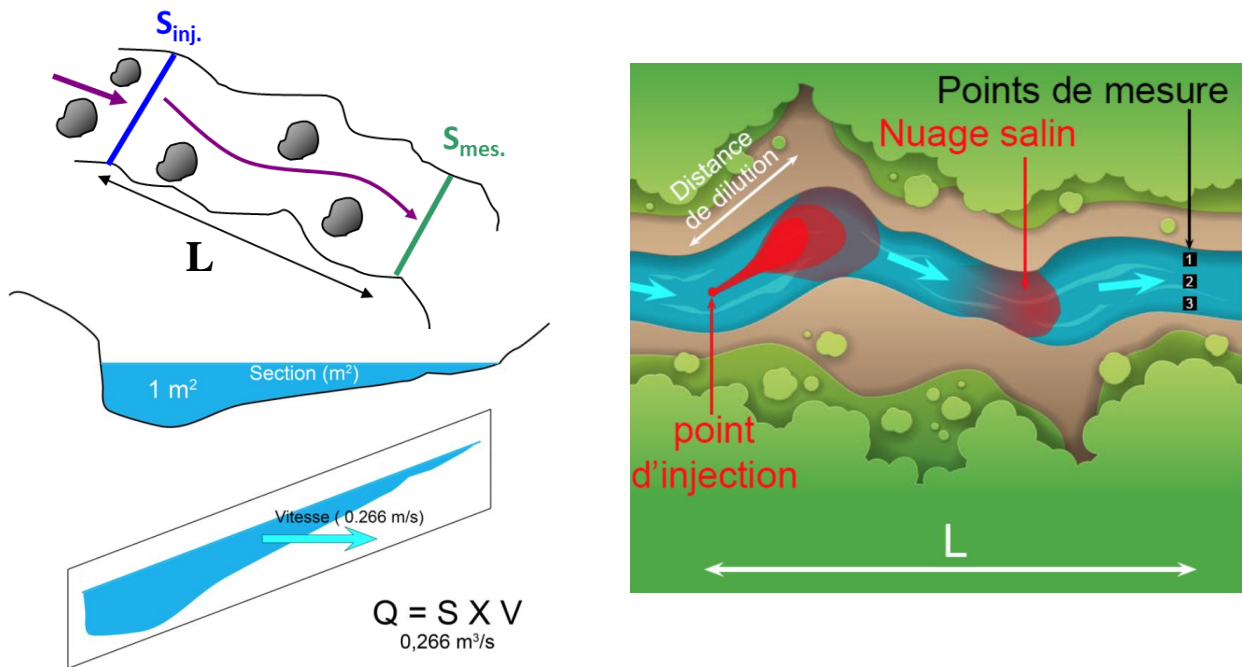


Figure 8 : Schéma de mesure du débit par flotteur (Gauche) et par jaugeage au sel (Droite).

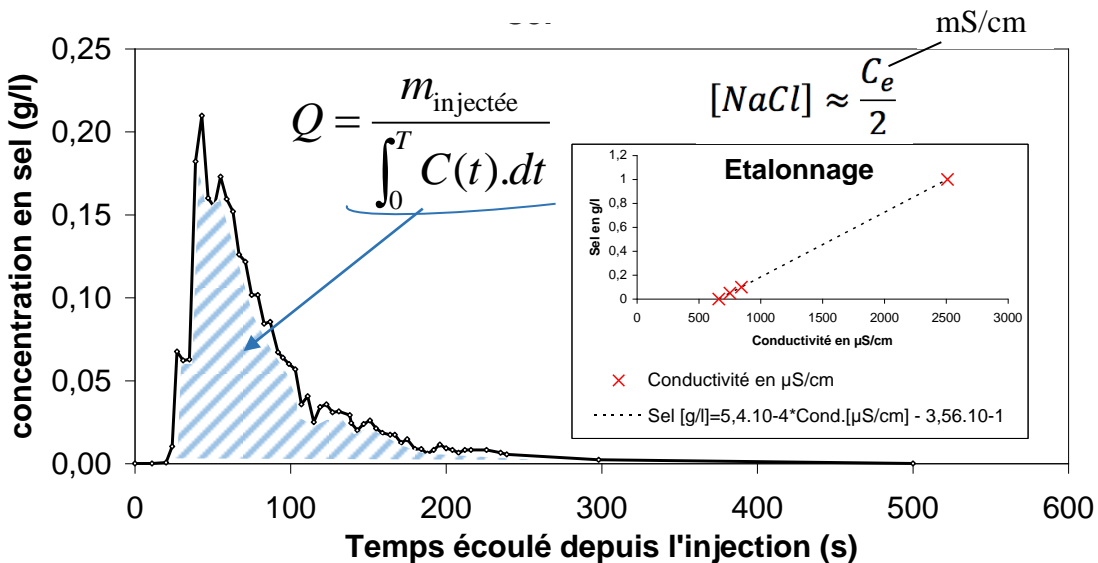


Figure 9 : Interprétation du débit par intégration de la courbe de restitution d'un jaugeage au sel



Figure 10 : Photographie aérienne du Lez au niveau de la base de Lavalette (Géoportail)

Distance entre les repères amont et aval :
 Section mouillée du cours d'eau :
 Temps de parcours du flotteur :
 Concentration de sel injecté :

Jaugeage au sel	
Temps (min/s)	Conductivité électrique (μS/cm)

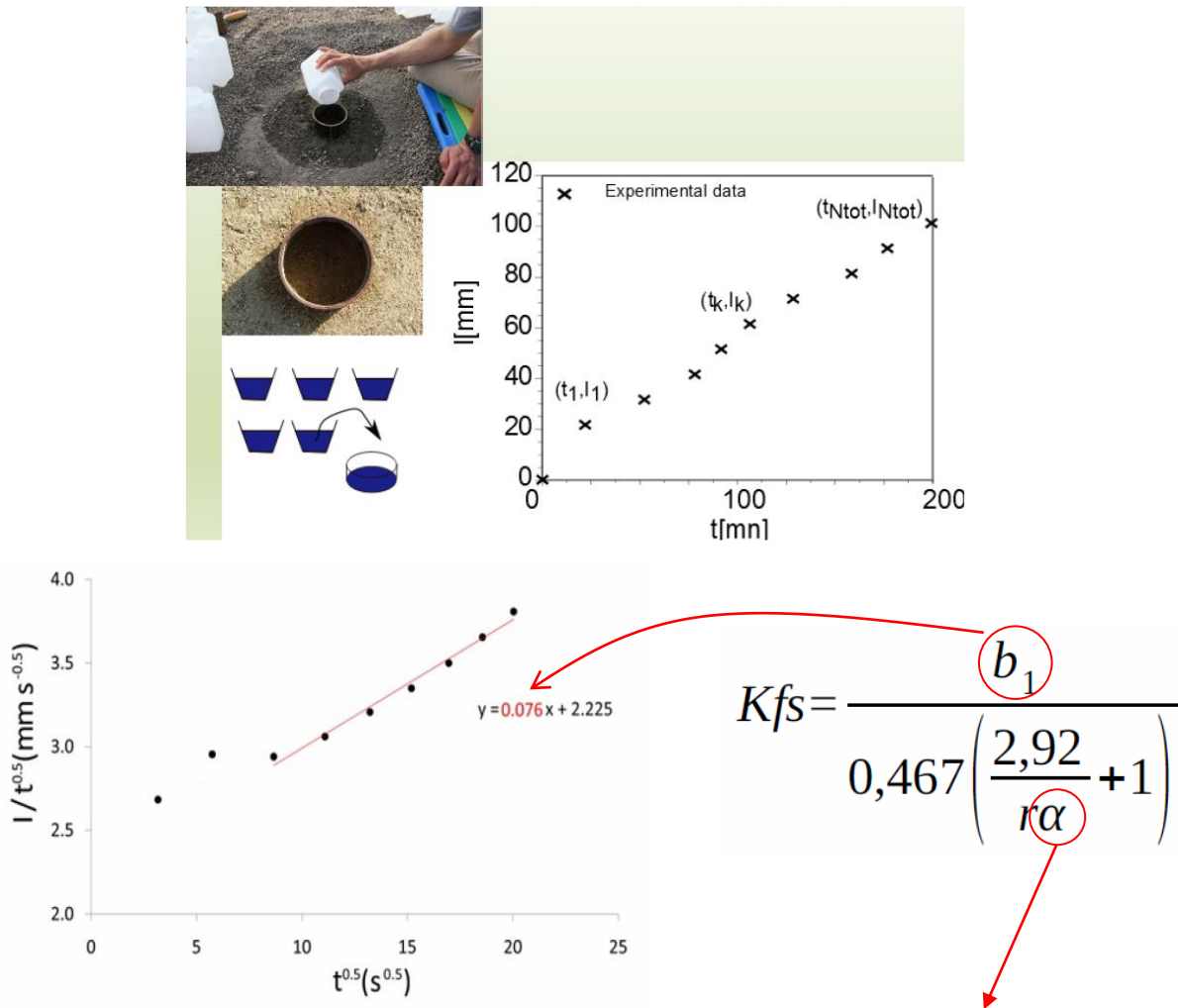
Mesurer les propriétés d'infiltration du sol :

a/- Données:

- Chronométrer les temps successifs d'infiltration d'un volume élémentaire d'eau dans le sol (méthode Beerkan)

b/- Interprétation:

- Appliquer la méthode d'interprétation pour déterminer b. Calculer la conductivité du sol.
- La conductivité estimée est-elle cohérente avec ce qu'on trouve dans la littérature ?
- Pourquoi le temps d'infiltration finit-il par se stabiliser ? Dans quel état se trouve alors le sol ?
- Pour quelles raisons la connaissance des propriétés hydrauliques des sols est-elle importante ?



Texture des sols – catégorie des structures	α^* (cm ⁻¹)
Compacté, sans structure, matériaux argileux ou limoneux tels que remblais, revêtements, terrains lacustres, sédiments marins, etc.	0.01
Texture fine (argileuse ou limoneuse) déstructurée ; également quelques sables fins.	0.04
La plupart des types de sols argileux à limoneux ; également quelques sables fins et moyens déstructurés. Catégorie la plus fréquente et applicable aux sols agricoles.	0.12
Sables grossiers et graveleux ; également quelques sols structurés avec des fissures larges et/ou nombreuses, macropores, etc.	0.36

Figure 11 : Protocole de traitement des données de la méthode Beerkan pour l'estimation de la conductivité hydraulique du sol

Rayon du cylindre :

Volume élémentaire :

Type de sol :

Méthode Beerkan	
Volume cumulé infiltré (mL)	Temps cumulé (min : s)

Rappel général sur la rédaction d'un rapport

Le rapport doit être structuré. Il doit contenir :

- 1 page de garde, un sommaire, une liste des figures et une liste des tableaux,
- 1 introduction générale
- 1 corps de texte
- 1 conclusion générale

Attention à l'orthographe et la syntaxe

Page de Garde

Discipline dans laquelle s'inscrit le rapport.

Titre du rapport : le titre doit résumer au mieux le contenu du rapport

Titre du module suivi.

Nom des enseignants qui dispense le module.

Nom des personnes qui ont rédigé le rapport.

Filière + Année. Ex : L1 STU année 2020-2021

Date de rendu du rapport.

Introduction générale

L'introduction comprend 3 parties : contexte général, présentation du sujet du rapport (objectif de la sortie, où s'est-elle déroulée,...), présentation du plan du rapport.

Corps du rapport

Une partie pour chaque atelier comprenant chacune : une introduction, les techniques de mesure utilisées, les données obtenues, une interprétation/un commentaire des mesures et une conclusion.

Conclusion générale

De manière générale, la conclusion comprend :

- un bilan, une synthèse des principaux résultats du rapport qui répond aux objectifs énoncés en introduction.

- des perspectives

Ici, on attend une conclusion générale sur :

- l'intérêt et la complémentarité des différentes techniques de mesures pour étudier la ressource en eau dans un système hétérogène.

- la mise en œuvre (facilité, coût,...) par rapport au résultat obtenu.

Annexes (éventuelles)

Elles doivent être numérotées.

Elles doivent être appelées (avec leur numéro) dans le corps du texte.

Illustrations

On numérote séparément les figures et les tableaux.

Chaque illustration possède un titre. Ce titre doit contenir :

- la nature de l'illustration (carte, photo, schéma, coupe, panorama, tableau)

- l'information principale apportée par l'illustration (ex : Photo montrant le pendage des calcaires du Berriasien)

NB : pour les cartes, coupes, panoramas ou photos : orientation, annotation, échelle

Toutes les illustrations doivent être appelées dans le texte.

Quelques définitions et documents utiles:

Bassin versant : Surface dont les écoulements sont dirigés vers un même point, appelé exutoire. Il est dit hydrologique pour les ruissellements de surface et subsurface alimentant un cours d'eau, ou hydrogéologique pour les écoulements souterrains ressortant au niveau d'une résurgence.

Zone non saturée : zone comprise entre la surface du sol et la surface piézométrique d'une nappe libre. Elle constitue la zone d'infiltration de l'aquifère.

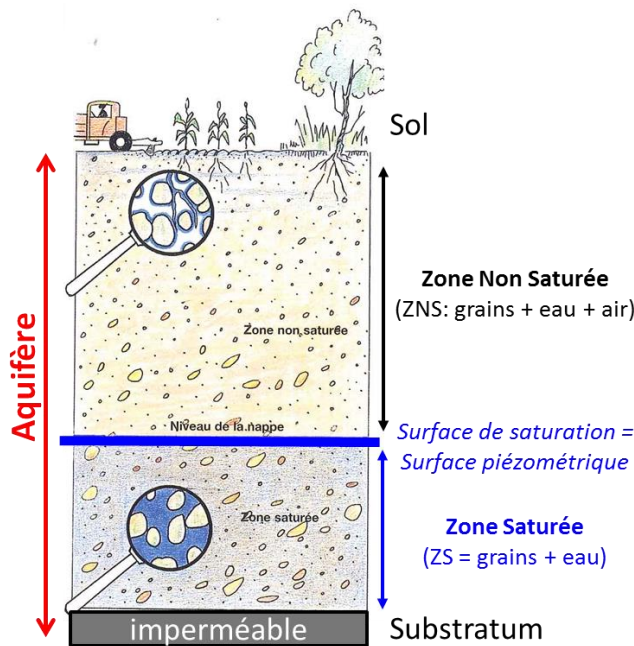


Figure 12 : Représentation schématique des zones saturées et non saturée dans un aquifère poreux homogène

Nappe d'eau souterraine : Ensemble des vides entièrement saturés d'eau dont toutes les parties sont en continuité hydraulique = Zone saturée (grains + eau)

Surface piézométrique : Limite entre la zone d'infiltration et la zone saturée. C'est la surface d'équilibre de l'eau de la nappe avec la pression atmosphérique. Sa profondeur est déterminée par des mesures piézométriques. Le niveau piézométrique doit être exprimé en altitude rapporté au zéro NGF. Le niveau piézométrique varie en fonction de l'alimentation par infiltration et de la vidange naturelle (source) ou artificielle (prélèvement par pompage) de la nappe.

Aquifère : Formation géologique (couche ou massif solide), perméable, poreuse, permettant l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine et le captage.

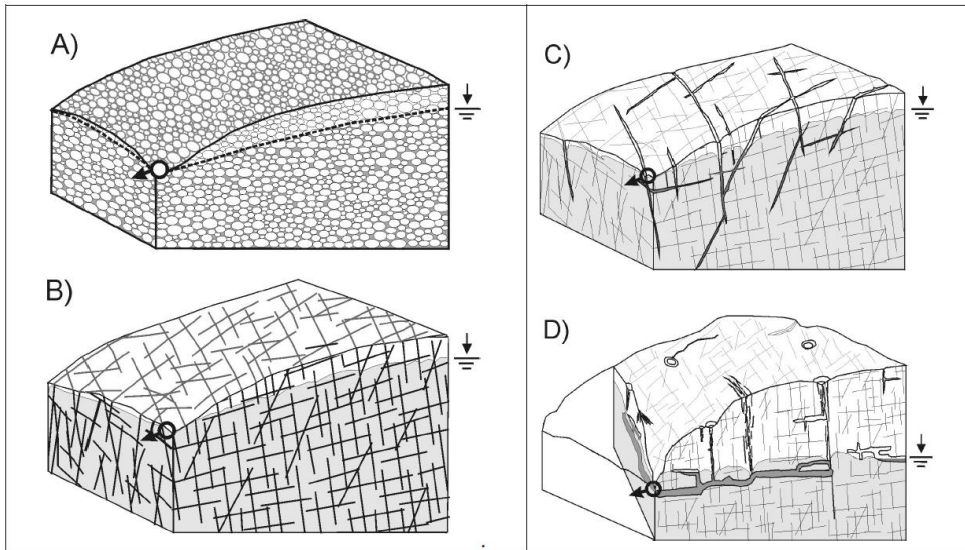


Figure 13 : Représentation schématique de quatre aquifères caractérisés par une hétérogénéité croissante. A) milieu poreux homogène, B) milieu fissuré faiblement hétérogène, C) milieu fissuré hétérogène, D) milieu karstique (de Pochon et Zwahlen, 2003 dans Manuel et méthodes, n° 33, BRGM, 1999)

Karst : région caractérisée par des formes de relief originales développées dans d'épaisses masses de calcaires (Figure 7). Il s'agit à la fois d'un modelé géographique et une structure géologique.

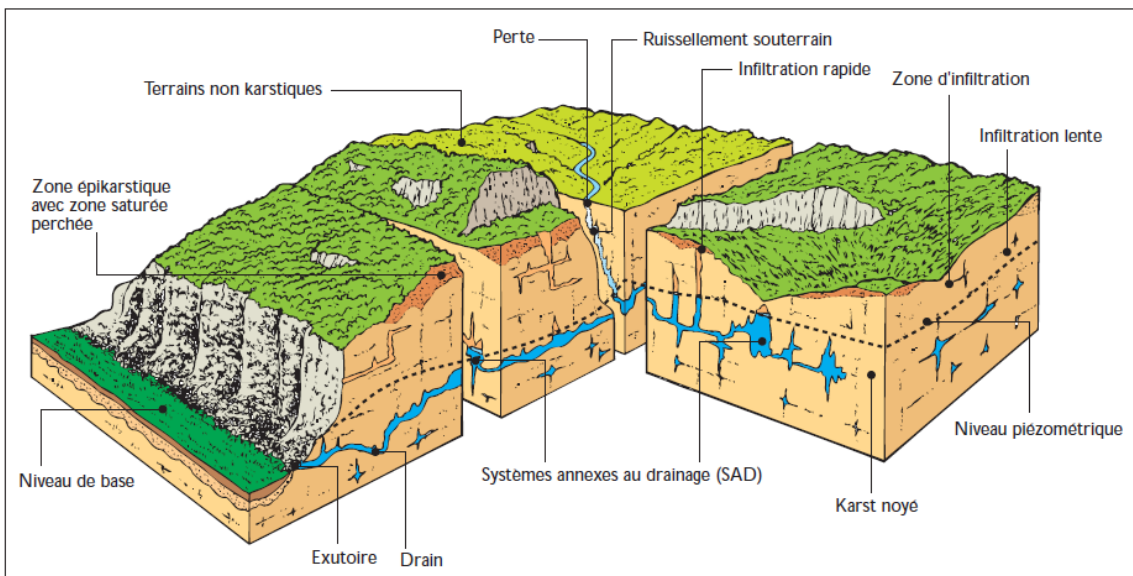


Figure 14 : Schéma structural d'un aquifère karstique (d'après Mangin, 1975 dans Guide Technique n°3, Bassin RMC, 1999)

Karstification : Processus de dissolution par l'eau souterraine de roches solubles (calcaires, dolomies, mais également évaporites). Ce phénomène s'explique par les propriétés acides des eaux souterraines dues à la dissolution dans les sols du gaz carbonique (CO₂) produit par les végétaux et les colonies bactériennes.

Conductivité électrique : exprime l'aptitude d'un milieu à laisser passer le courant. Pour les solutions aqueuses elle dépend de la nature et de la concentration des ions présents. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre.

Conductivité hydraulique : exprime l'aptitude d'un sol à laisser l'eau s'écouler (exprimé comme une vitesse en m/s).

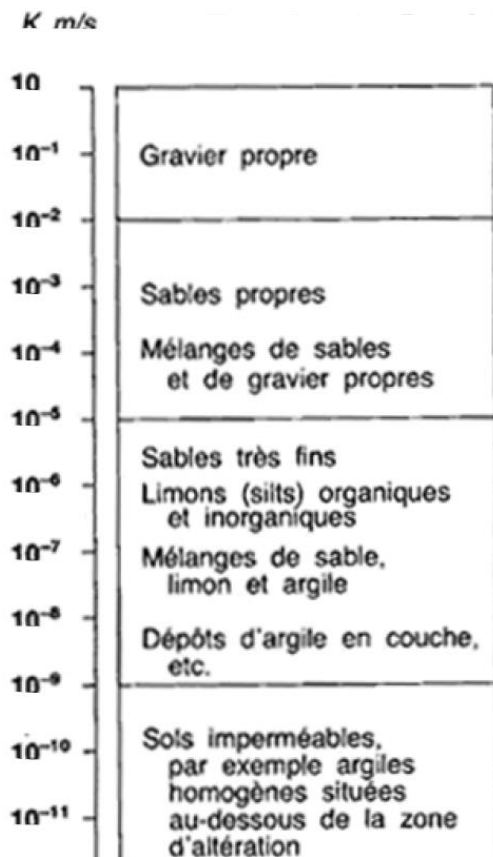


Figure 15 : Représentation schématique des zones saturées et non saturée dans un aquifère poreux homogène

Méthode des trapèzes (résolution d'intégrale) : Approche simplifiée de détermination d'une intégrale (sommés de Cauchy-Riemann). L'aire sous la courbe est assimilée à la somme des aires de rectangles de hauteur $f(c_i)$ et de base $x_{i+1} - x_i$.

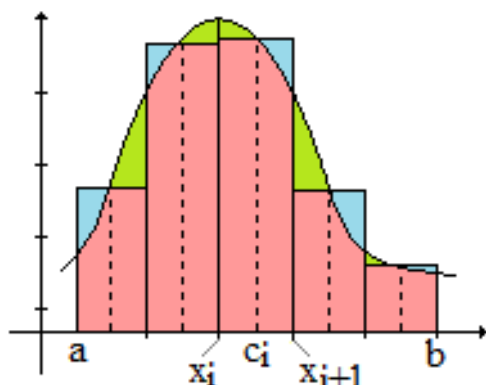


Figure 16 : Représentation schématique