

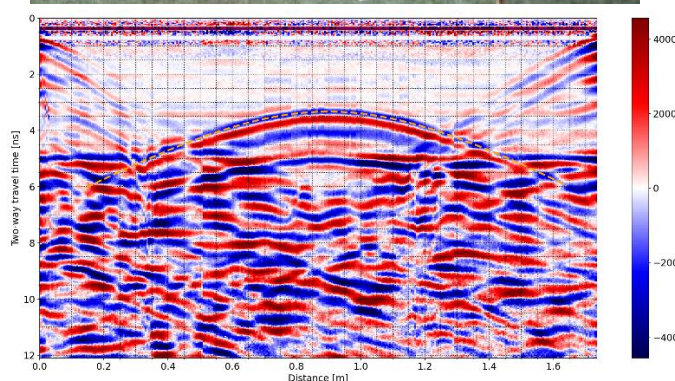
Option GO113 ‘Mesures en Géosciences’

Polycopié des TD et TP

2,5 ECTS, volume horaire : 3 CM : 4h30, TD : 6h, 5 TP : 15h

Objectifs

Le but de cette option est d'apprendre à chaque étudiant à mener un protocole rigoureux de mesures (acquisition, traitement, validation des données, interprétation), notamment par la manipulation d'instruments de mesures, et à partir de cas appliqués à différents domaines des Sciences de la Terre (géologie sédimentaire, hydrologie, topométrie, planimétrie, géotechnique, géochimie, mécanique des roches...), sur le terrain et en salle.



Mesures de vitesses de l'Yvette/mesures de dénivelées. Mesures de la granulométrie (colonne de tamis).
Image radar/kit pour TP chimie des eaux

Responsable : Laure Dupeyrat

Mesures en géosciences GO113

2,5 ECTS, volume horaire : **3 CM : 4h30, TD : 3h, 5 TP : 18h**

Responsable : Laure DUPEYRAT laure.dupeyrat@universite-paris-saclay.fr

Description

Les **3 CM** sont consacrés à la présentation de méthodes de mesures de terrain et de laboratoire dans les différentes disciplines des Sciences de la Terre.

Pendant la séance de TD, les étudiants auront à traiter, valider et interpréter des données.

1/TD Dynamique fluviale. Traitement de distributions de vitesses dans la rivière Yvette pour déterminer son débit. Présentation du micro-moulinet.

Lors des 6 séances de TP thématiques, les étudiants pourront directement acquérir des données, en contrôler la fiabilité et les représenter pour les interpréter.

TP Granulométrie. Mesures et analyse de la distribution granulométrique de différentes roches (sables de Fontainebleau, volcanique et de chantier).

TP Porosité. Mise au point d'un protocole de mesures de la porosité et des densités d'un matériau granulaire. Applications à différents sables (sables de Fontainebleau, volcanique et de chantier).

TP Topométrie-Planimétrie 1. Mesures précises entre 2 points proches, a-de dénivelées (niveaux géométriques de précision), b-de distances horizontales et d'azimuts (décamètres et boussoles).

TP Topométrie-Planimétrie 2. Relevé topométrique et planimétrique dans un pré (cheminement) et réalisation d'une coupe topographique et d'une carte de localisation des points.

TP Chimie des eaux. Analyse géochimique et identification des sources de différentes eaux de consommation.

TP Radar. Détection d'objets cachés avec un radar de sol.

Attention l'ordre des TD/TPs n'est pas forcément celui du photocopié. **Pensez à apporter votre photocopié à chaque séance.** Un rapport par équipe devra être rédigé pour la plupart des TP et certains rapports seront notés.

MCC de Mesures en Géosciences identiques pour BCST et PCST

Session 1 : contrôle continu à 0.6 (rapports de TP) et note d'examen final à 0.4.

Session 2: 50% note de session 1 + 50% épreuve de rattrapage.

Sommaire

TD Hydrologie des cours d'eau (3h)

→ Rappels de cours

→ TD-Traitement des données de vitesses de l'Yvette afin de déterminer son débit

TP Topométrie Planimétrie 1 (3h)

→ Principe de détermination entre 2 points proches de la dénivelée, de la distance horizontale et de l'azimuth.

→ Mise en œuvre avec niveau géométrique de précision, mire, décamètre et boussole

TP Topométrie Planimétrie 2 (3h)

→ Principe du cheminement entre 2 points éloignés

→ Relevé topométrique et planimétrique dans un pré (cheminement) et réalisation d'une coupe topographique et d'une carte de localisation des points.

TP Granulométrie (3h)

→ Rappels de cours

→ TP Granulométrie

TP Porosité (3h)

→ Rappels de cours

→ TP Porosité

TP Chimie des eaux (3h)

→ Rappels de cours

→ TP Analyse chimique des eaux

TP Radar (3h) distribué à part

Annexes :

Annexe 1 : Illustration d'estimation d'erreurs de mesures et de calculs d'incertitudes

Annexe 2 : Règles simples de propagation des erreurs ou calculs d'incertitudes

Annexe 3 : Estimation d'une grandeur à partir de mesures répétitives. Moyenne, écart type

Annexe 4 : Consignes pour les rapports par équipe pour les TP

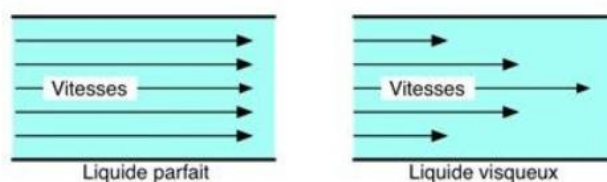
Annexe 5 : Rapport de TP chimie des eaux à rendre

Cours- Hydrologie des cours d'eau

L'hydrologie des cours d'eau est l'étude des écoulements d'eau à surface libre dans des rivières ou fleuves. La dynamique d'un cours d'eau est caractérisée par sa distribution de vitesses et son débit. L'objectif de cette séance est :

1-de comprendre les notions de liquides parfaits, visqueux, distribution de vitesses, débit, liens entre débit et distribution de vitesse, la conservation du débit.
2-d'apprendre le fonctionnement d'un micro-moulinet pour mesurer une vitesse locale sur un point dans le cours d'eau, de traiter les mesures de vitesses obtenues au micro-moulinet sur une section de rivière pour calculer le débit de la rivière puis sa vitesse moyenne.

1-Fluides parfaits, visqueux, profils de vitesses, distributions de vitesses

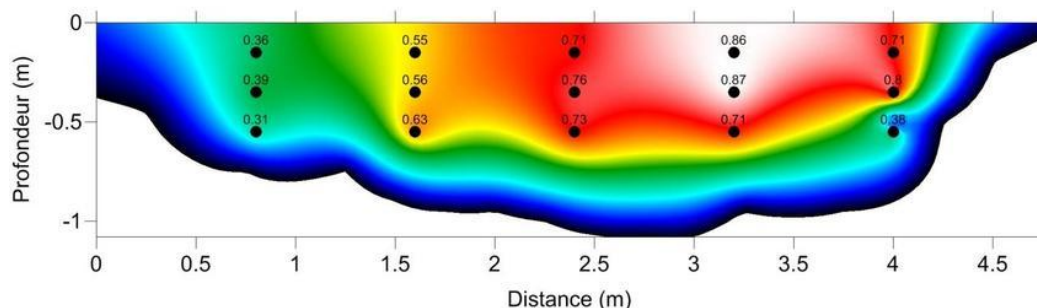


Profils de vitesses d'un fluide parfait et visqueux dans un cylindre (coupe longitudinale)

Complétez le tableau suivant :

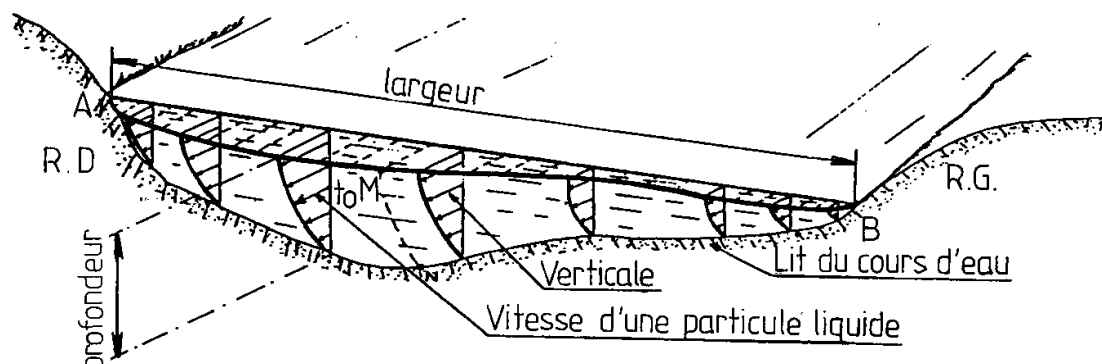
fluide	parfait	visqueux
viscosité		
vitesse		

Ci-dessous une vue en coupe transversale typique d'une distribution de vitesses sur une section de rivière. On notera x (m) la distance horizontale à la berge de gauche et z (m) la profondeur comptée à partir de la surface de l'eau. Représentez les axes x et z ainsi que les points x_1, x_2, x_3, x_4 et x_5 correspondant aux abscisses des points de mesures représentés par des ronds noirs.



Coupe transversale de la distribution de vitesses sur une section de rivière.

Ci-dessous une vue en perspective de la distribution de vitesses sur une section de rivière. Représentez les axes x et z ainsi que les points x_i correspondant aux abscisses des points de mesures.



Vue en perspective de la distribution de vitesses dans une rivière

L'eau est considérée comme un fluide..... dans une rivière car la vitesse varie sur une section. La vitesse est plus élevée..... et plus faibleà cause.....

2-Débits (volumiques), conservation du débit

Le débit volumique Q (m^3/s) est le volume de fluide ΔV qui traverse une section par unité de temps Δt .

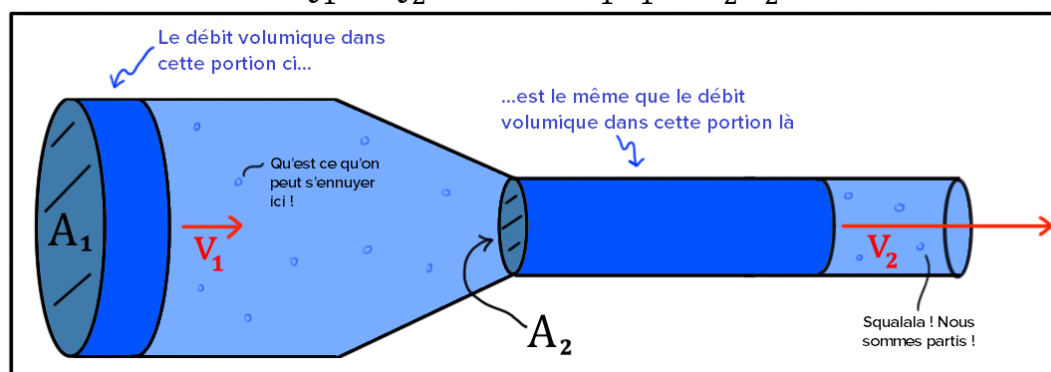
$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

On peut exprimer le débit en fonction de la vitesse moyenne $\langle v \rangle$ et de la surface de la section A .

$$Q = \langle v \rangle \cdot A$$

La **conservation du débit** volumique implique un accroissement de la vitesse d'écoulement lorsque la surface de la section diminue.

$$Q_1 = Q_2 \quad \rightarrow \quad V_1 A_1 = V_2 A_2$$



Variation de la vitesse moyenne en fonction de la surface de la section

3-Calcul du débit par intégration du champ de vitesses

Notion de flux à travers une surface :

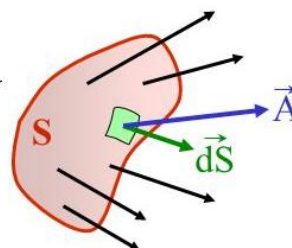
Flux: Le flux Φ d'un champ de vecteur \vec{A} à travers la surface S est donné par l'intégrale sur toute la surface S du produit scalaire de \vec{A} avec le vecteur $d\vec{S}$ représentant un élément de surface infinitésimal:

$$\Phi = \int d\Phi = \int_S \vec{A} \cdot d\vec{S} = \iint_{x,y} A(x, y) dx dy$$

intégrale double !!!

$d\vec{S}$ est un vecteur orienté !!!

vers l'extérieur pour une surface fermée

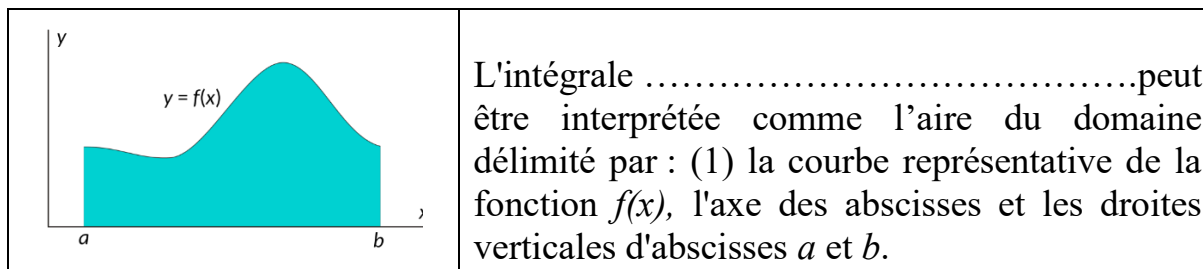


Définition du flux à travers une surface

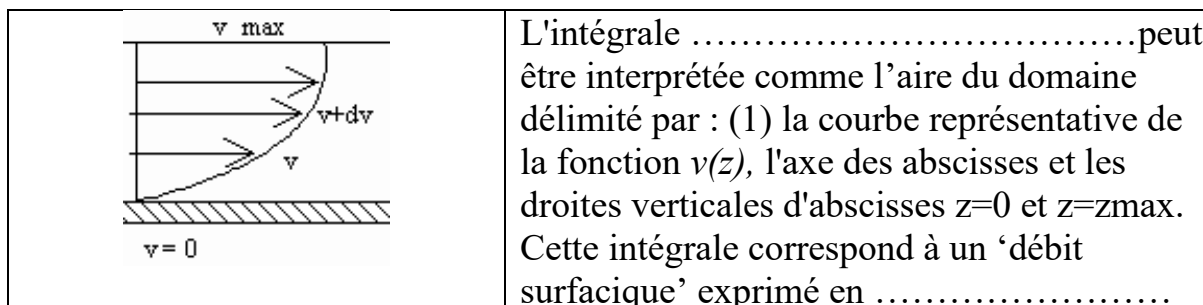
Le débit Q (m^3/s) est un flux de vitesses et est calculé par intégration du champ de vitesses sur la section.

Exprimez le débit avec une intégrale de surface :

.....




Interprétation graphique de l'intégrale



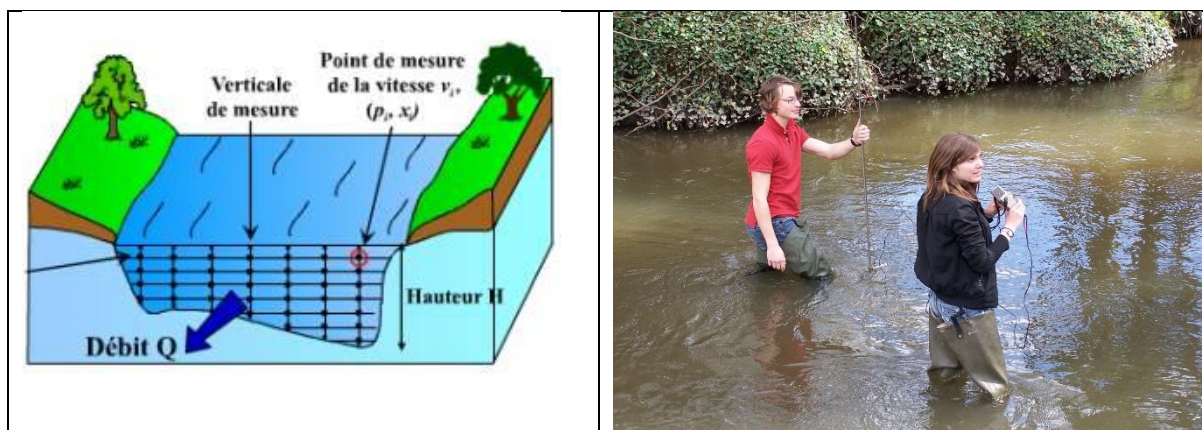
Interprétation graphique du profil de vitesses

4- Principe des mesures des vitesses locales avec un micro-moulinet

	<p>Matériel</p> <ul style="list-style-type: none"> -Une hélice qui tourne librement sur un saumon et qui est reliée à un boîtier électronique compte-tours -Un saumon qui coulisse sur une tige graduée. -Des cuissardes pour les 2 opérateurs. <p>Principe d'une mesure de vitesse</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-On positionne une hélice au point de mesure (x,z). 2-On compte le nombre de tours effectués par l'hélice sur une durée donnée $\rightarrow v = \text{tours d'hélices}/\text{seconde}$ 3-On convertit la vitesse grâce à une formule d'étalonnage de l'hélice la vitesse en m/s.
---	---

5- Localisation des points de mesure

On choisit des points de mesures régulièrement espacés (maillage horizontal suivant x et vertical suivant z) sur une section transverse à la rivière. On se positionne sur 'une verticale de mesures' (x donné) et on descend l'hélice le long de la tige de la surface (z=0) jusqu'au fond, suivant le pas dz choisi. On se déplace ensuite au x suivant, suivant le pas dx choisi.

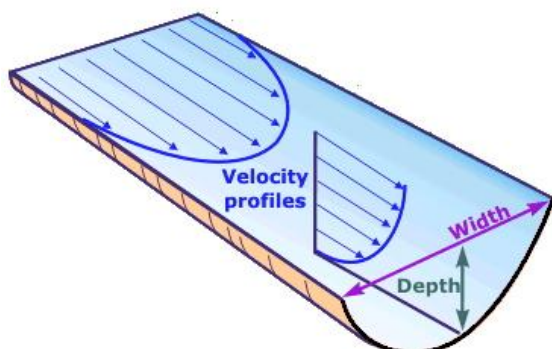


Localisation des points de mesures suivant un maillage régulier
Etudiants effectuant des mesures avec un micro-moulinet dans la rivière Yvette

6- Traitement et interprétation des données

On intègre sur chaque verticale de mesure (x donné) en fonction de la profondeur afin d'obtenir un débit surfacique $Q_s(x)$ (m^2/s). On intègre ensuite les débits surfaciques sur la largeur de la rivière (suivant x) afin d'obtenir le débit volumique de la rivière Q_v (m^3/s). On peut calculer la vitesse moyenne de l'écoulement en divisant le débit par la surface de la section.

TD-Estimation du débit de l'Yvette par mesure des vitesses locales Utilisation d'un moulinet à hélices



Objectifs Il s'agit d'estimer le débit volumique Q_v (m^3/s) d'une rivière à partir des mesures de vitesses locales $v(x,z)$ (m/s) dans une section transversale du cours d'eau. En effet, la vitesse d'écoulement varie en fonction de la profondeur (z) et de la distance à la berge (x). La section mouillée est découpée en plusieurs éléments juxtaposés pour lesquels on peut estimer le débit. Le débit total peut ainsi être estimé en faisant la somme sur toute la largeur de la rivière des débits des sous-sections.

Protocole On mesure la vitesse $v(x,z)$ (m/s) avec un moulinet à hélices en des points situés le long de verticales judicieusement réparties sur la largeur du cours d'eau. On mesure aussi la largeur et la profondeur locale de la section.

1-Représentation de la section de l'Yvette considérée

Chaque point de mesure sur la section considérée est repéré par sa distance à une des berges (x) et sa profondeur (z). La section de l'Yvette à cet endroit mesure 6 m de large et des profondeurs égales à 32cm, 32cm, 34cm, 39cm et 33cm pour $x=1m, 2m, 3m, 4m, 5m$ de la berge. Faites un schéma de la section à l'échelle 1/20 (verticale et horizontale) avec la localisation des points de mesure.

2-Estimation de la vitesse ponctuelle à partir de mesures au moulinet (05/05/12)

La mesure du nombre de tours $n_{\Delta t}$ est effectuée pendant un temps $\Delta t=30$ s. La formule d'étalonnage du moulinet est : $v[cm.s^{-1}]=2,26+10,26.n$ [tours. s^{-1}]
Calculez le nombre de tours. s^{-1} puis la vitesse v en chaque point.

x (m)	z (cm)	nΔt (tours)	n (tours.s ⁻¹)	v(x,z) (cm.s ⁻¹)
1	0	97		
	10	79		
	20	57		
fond				
2	0	110		
	10	103		
	20	82		
fond				
3	0	112		
	10	105		
	20	94		
fond				
4	0	111		
	10	120		
	20	105		
	30	89		
fond				
5	0	107		
	10	118		
	20	85		
fond				

3-Profiles verticaux de vitesses et distribution de vitesses

Pour chaque distance x à la berge, tracez le profil de vitesses $v_x(z)$ (échelle horizontale : 1cm \leftrightarrow 2cm.s⁻¹, échelle verticale : 1cm \leftrightarrow 2,5cm). Que vaut la vitesse au fond ? En surface ? Comment la vitesse varie-t-elle avec z ?

4-Estimation du débit de l'Yvette à partir de la distribution de vitesses

Pour chaque distance x à la berge, estimez le 'débit surfacique' $q_s(x)$ en cm².s⁻¹ à partir de la surface délimitée par la courbe de vitesses. Concluez.

x (m)	Nbre de carreaux	$q_s(x)$ (cm ² .s ⁻¹)
1		
2		
3		
4		
5		

Tracez la courbe $q_s(x)$. Estimez le débit volumique q_v de l'Yvette en cm³.s⁻¹ à partir de l'estimation de la surface délimitée par la courbe de $q_s(x)$. Déduisez la vitesse moyenne de l'Yvette. Concluez. Comment peut-on améliorer le protocole?

5-Comparaison avec les débits obtenus la semaine précédente Les étudiants ont obtenu la semaine précédente un débit de l'ordre de 0.61 m³/s dans la même section de l'Yvette. Comparez avec le débit obtenu le 05 mai 2012.

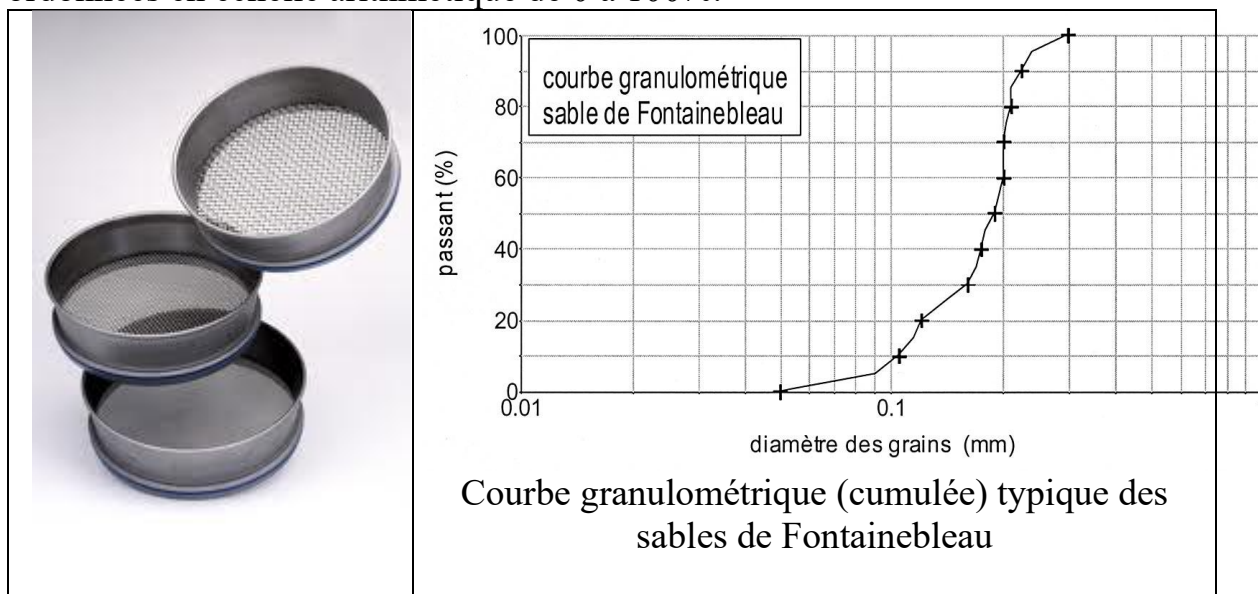
Cours Granulométrie

La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une population de granulats, typiquement des sables.

Protocole expérimental

On emboîte les tamis les uns sur les autres, avec les tamis de mailles croissantes du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche et un couvercle est posé en haut. On appelle **refus d'un tamis** la masse du matériau retenu par ce tamis. Le matériau est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et sur le fond doit coïncider avec la masse de l'échantillon introduit en tête de colonne. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ.

Représentation des distributions granulométriques. La représentation la plus classique est la courbe cumulée. Les tailles sont représentées sur l'axe des abscisses en échelle logarithmique de base 10 (en général en micron) et les ordonnées en échelle arithmétique de 0 à 100%.



Choix de la quantité de sable à utiliser

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires. Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif et assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés.

TP granulométrie

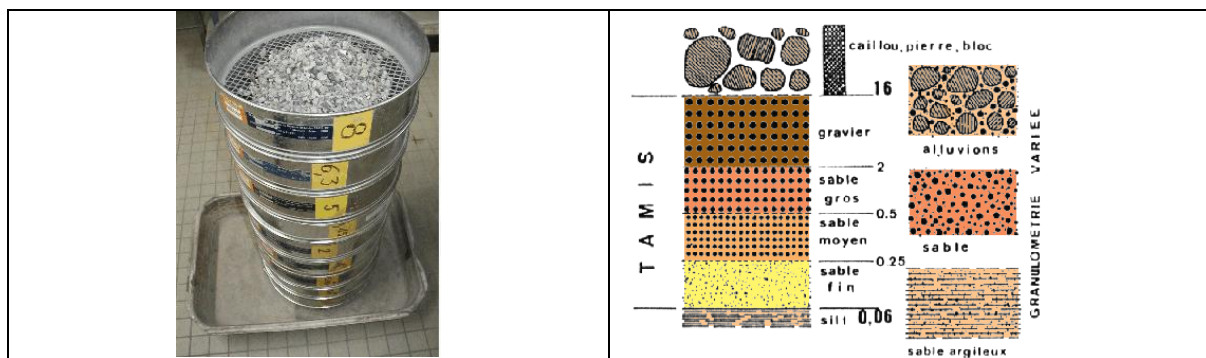
Objectifs du TP pour chaque groupe (4 groupes par TP)

- 1-Etablir la courbe granulométrique cumulée et non cumulée de votre sable. Interpréter.
- 2-Comparer les courbes de votre sable à celles des autres sables (autres groupes).
- 3-Discuter la fiabilité des résultats.
- 4-Proposer des améliorations pour le protocole expérimental.

Matériel de TP pour chaque groupe

-Une colonne de tamis, une balance, du sable (Fontainebleau ou chantier ou volcanique), un récipient, 1 pinceau

Protocole expérimental



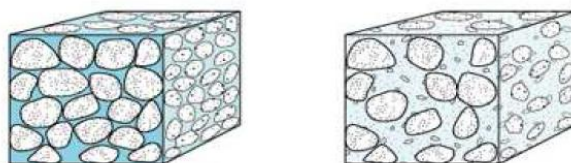
- 1-Choisir une quantité adaptée de sable. Peser la. Noter.
- 2-Emboîter les tamis avec des mailles croissantes du bas vers le haut. Noter dans le tableau la maille des tamis et la taille mini et maxi des grains dans chaque tamis.
- 3-Verser la totalité du sable dans la colonne de tamis et secouer la colonne.
- 4-Transvaser dans un récipient (bêcher) et peser le refus du tamis supérieur (plus grosse maille). Noter dans le tableau. Tarer la balance pour remettre à zéro. Ajouter le refus du tamis suivant dans le récipient. Peser le refus du tamis suivant (g), etc. Noter dans tableau (de bas en haut).
- 5-Calculer le refus en (%), le refus cumulé croissant (%).
- 6-Tracer les courbes de refus (%) et de refus cumulé croissant (%) en fonction de la taille des grains (mm) (feuille de papier millimétré. Echelle : abscisse : 1cm pour 0.2 mm de diamètre et ordonnées : 1cm pour 10%). Interprétez.
- 7-Comparer le poids final et initial du sable. En déduire le % de perte de sable.

Cours Porosité

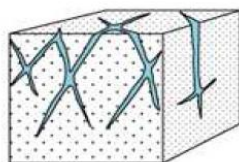
La porosité des roches

La porosité d'une roche est le rapport du volume des pores de la roche sur le volume total de la roche. La porosité est sans dimension et comprise entre 0 et 1 (ou 0 et 100%). On distingue différents types de porosité.

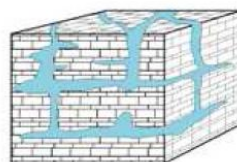
$$\phi = \frac{V_{pores}}{V_{total}}$$



a- Porosité d'interstices



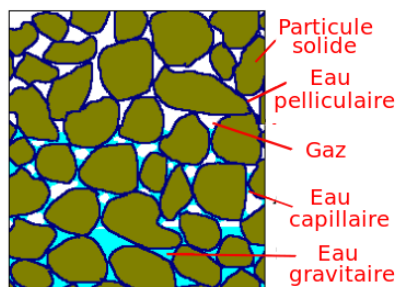
b- porosité de fissure



c- porosité de chenaux

La porosité des sables

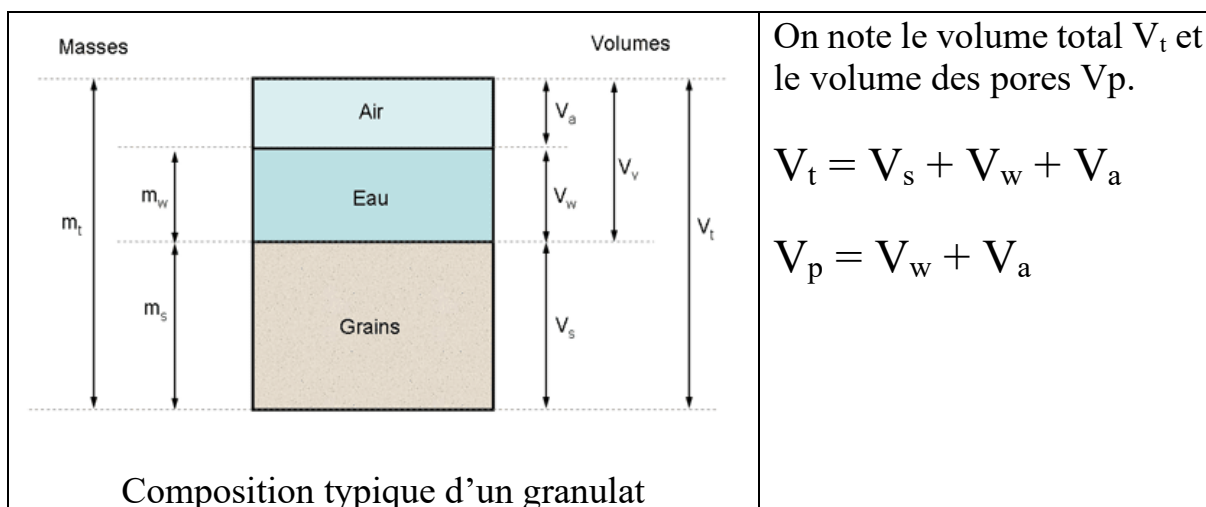
Ici nous allons nous intéresser à une roche granulaire : le sable. Dans le cas du sable, il s'agit d'une porosité



Les pores peuvent être remplis de

-
-
-

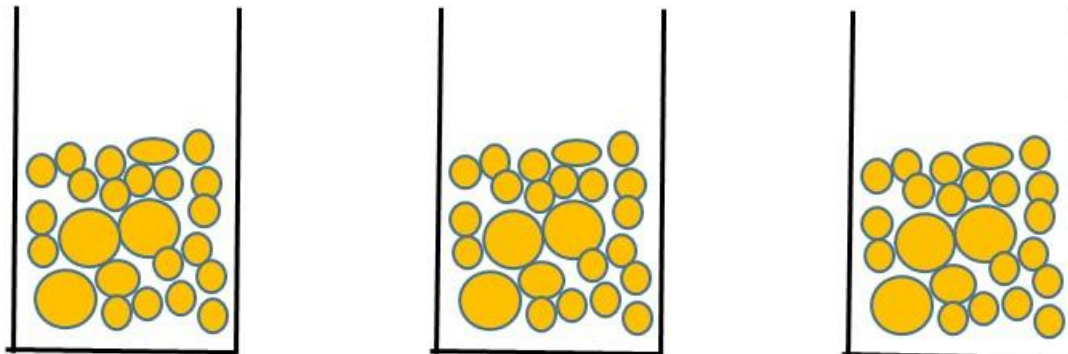
On peut schématiser les 3 éléments d'un granulat composé de grains de sable, d'eau et d'air. Soient V_s , V_w , V_a les volumes des grains, de l'eau et de l'air. On note les masses des grains m_s , de l'eau m_w (la masse de l'air est négligeable).



	Symbole	Unités	Expression
Porosité	ϕ	%	$\frac{V_p}{V_t} = \frac{V_w + V_a}{V_w + V_a + V_s}$
Masse volumique des grains de sable	ρ_s	kg/m ³	$\frac{m_s}{V_s}$
Masse volumique de l'eau	ρ_w	kg/m ³	$\frac{m_w}{V_w}$
Masse volumique de la roche sèche	$\rho_{\text{roche-sèche}}$	kg/m ³	$\frac{m_s + m_a}{V_t} \sim \frac{m_s}{V_t}$
Masse volumique de la roche saturée	$\rho_{\text{roche-sat}}$	kg/m ³	$\frac{m_s + m_w}{V_t}$

La porosité des sables saturés (en eau)

Complétez les schémas suivants en remplissant les pores d'eau dans un cas sous-saturé, saturé et sursaturé.



Roche sous-saturée	Saturée	Sursaturée
$V_t = V_s + V_w + V_a$	$V_t =$	$V_t =$
$V_p =$	$V_p =$	$V_p =$
$\frac{V_p}{V_t} = \frac{V_w + V_a}{V_w + V_a + V_s}$	$\frac{V_p}{V_t} =$	$\frac{V_p}{V_t} =$

Il est plus simple de mettre au point un protocole avec une roche..... car il y aéléments dans le granulat, cad

.....

TP porosité

Objectifs du TP pour chaque groupe (4 groupes)

1-Trouver un protocole fiable et le plus précis possible de mesures avec le matériel disponible (billes de verre moyennes)

- de la masse volumique des grains
- de la masse volumique de la roche sèche
- de la masse volumique de la roche saturée
- de la porosité

2-Appliquer ce protocole à des billes de verre de taille moyenne et de petite taille, puis à un mélange des billes moyennes et petites

3-Décrire ce protocole avec des schémas sur lesquels apparaissent les grandeurs mesurées (photos et **schémas** souhaités)

4-Donner les résultats sous forme d'un tableau pour les grandeurs mesurées et calculées

5-Donner les résultats sous forme d'un tableau pour les incertitudes calculées

6-Interpréter, discuter (comparer avec les résultats obtenus par les autres groupes)

7-Proposer des améliorations

Matériel disponible par groupe

- 1 balance
- des récipients gradués
- des billes de verre de taille moyenne, de petite taille
- de l'eau
- un grand tamis de maille de 5 mm pour séparer billes moyennes et petites

--	--	--	--

Schémas des étapes du protocole de mesures (Mettez bien en évidence la grandeur mesurée)

Taille des billes de verre	V_s [mL]	V_w [mL]	V_t [mL]	m_s [g]	m_w [g]	m_t [g]	ρ_s [g/cm ³]	$\rho_{\text{roche-sèche}}$ [g/cm ³]	$\rho_{\text{roche-saturée}}$ [g/cm ³]	ϕ [%]
Mesurée ou calculée?										
Mélange										

Tableau de grandeurs mesurées et calculées (mettez en évidence les grandeurs mesurées et calculées)

Cours- Topométrie-Planimétrie 1

Représentez un relief, des points A et B, l'altitude zéro, les altitudes z_A et z_B de ces points, et la dénivelée entre A et B.



L'altitude zéro est

L'altitude d'un point A est.....

La dénivelée entre A et B est

La dénivelée entre A et B (cheminement de A vers B) est positive si on monte de A vers B et négative si on descend de A vers B.

La topométrie est la détermination de dénivelées à partir de mesures de terrain. Ces relevés souvent effectués par des géomètres permettent ensuite d'établir des cartes ou de faire des études géotechniques préalables à des constructions. Ces mesures sont aussi indispensables dans des études géophysiques, en particulier la gravimétrie. L'objectif de cette séance est d'apprendre à :

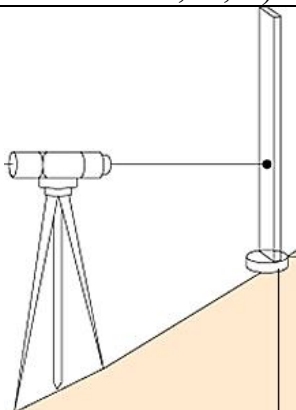
- 1-utiliser niveau géométrique de précision et mire pour mesurer une hauteur par visée horizontale, et déterminer des dénivelées par les mesures-avant-arrière.
- 2-utiliser boussole et décimètre pour mesurer azimuts et distances horizontales
- 3-effectuer un cheminement entre deux points pour déterminer la dénivelée
- 4-établir un plan à l'échelle des points de mesures
- 5-faire des mesures avec précision et quantifier erreurs de mesures et incertitudes
- 6-gagner en autonomie et en efficacité sur le travail d'équipe.

1-Matériel

	<p>Listez le matériel :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>...+boussole+décamètre.....</p>
---	---

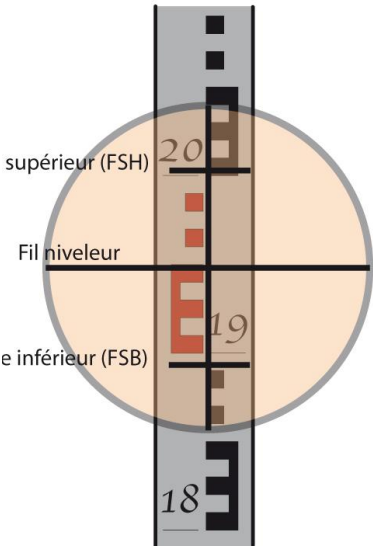
2-Principe d'une visée horizontale

On note N la localisation au sol du niveau et P la localisation au sol de la mire. Annotez le schéma (niveau géométrique de précision, trépied, mire graduée, visée horizontale, N, P). Représentez la hauteur de visée h(P).

	<p>Pour des mesures 'propres' et fiables :</p> <p>La mire doit être bien.....</p> <p>Le niveau doit être bien</p> <p>Les opérateurs doivent être bien.....</p>
--	--

3-Lecture sur la mire à travers le niveau optique

Le fil niveleur central du niveau coïncide avec une graduation sur la mire, laquelle donne la hauteur de visée horizontale. Les annotations sur la mire sont en dm.

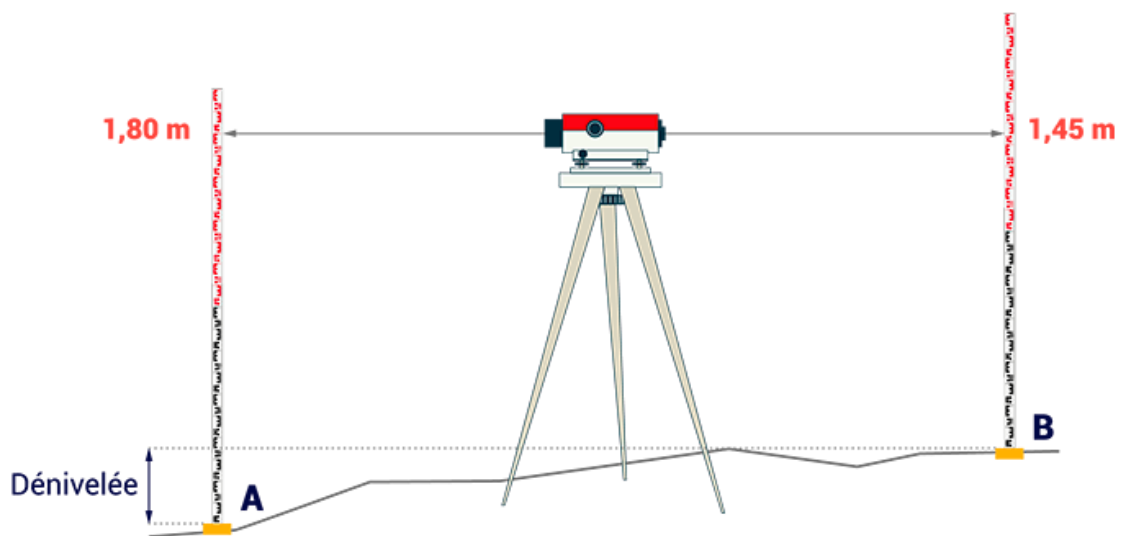
	<p>Hauteur de visée en cm :</p> <p>$h(P)=$.....</p> <p>Erreur de lecture sur la hauteur de visée en cm:</p> <p>$\delta h_{lecture}(P)=$.....</p> <p>Autres erreurs de mesures sur la hauteur de visée ?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Erreur totale sur la hauteur de visée :</p> <p>$\delta h(P)=$.....</p>
---	--

4-Nivellement ou topométrie (Mesure de la dénivelée entre A et B par le principe de la visée avant/arrière)

On se déplace de A vers B.

Représentez sur le schéma :

- Une flèche horizontale matérialisant le sens du déplacement
- La position au sol (point N) du niveau géométrique
- La hauteur de visée arrière $h(A)$
- La hauteur de visée avant $h(B)$
- La dénivelée dh_{A-B} entre A et B



Calculez :

Dénivelée entre A et B :

$$dh_{A-B} = h(A) - h(B) = \dots\dots\dots$$

Dénivelée entre B et A :

$$dh_{B-A} = h(B) - h(A) = \dots\dots\dots$$

Erreur sur la dénivelée entre A et B :

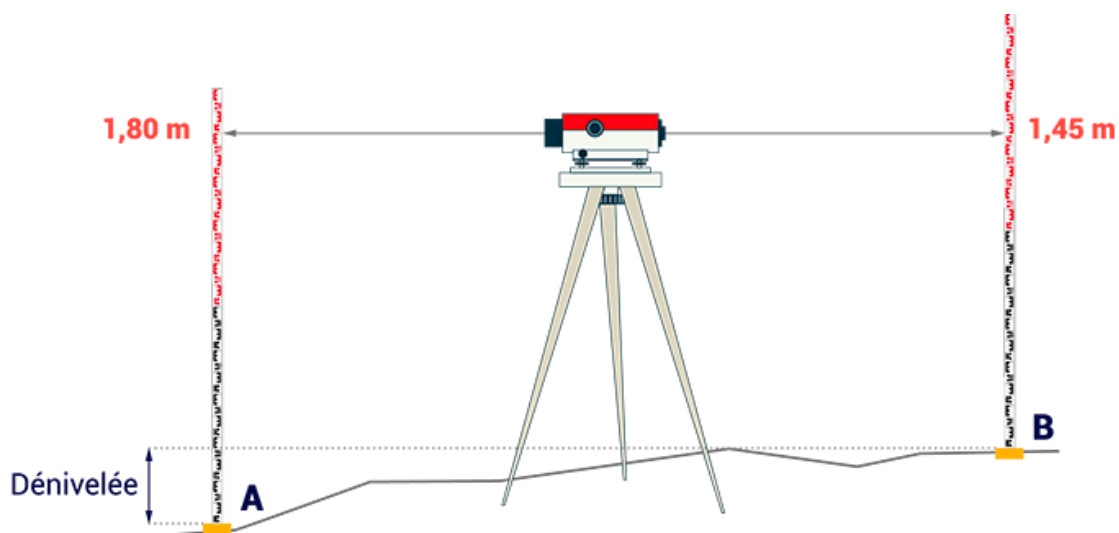
$$\delta dh_{AB} = \dots\dots\dots$$

Commentez :

Effets de la hauteur du niveau géométrique

Représentez sur le schéma

- Une hauteur du niveau géométrique plus bas de 1m.
- Les hauteurs de visée et dénivelée



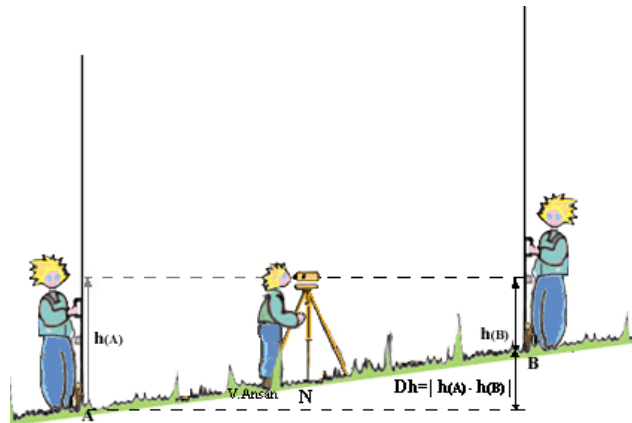
Interprétez

5-Détermination de l'azimut entre A et B

<p>The diagram shows two methods for measuring azimuth. On the left, a yellow protractor is used to measure the angle between a vertical line labeled 'Nord' and a red line pointing to a green star labeled 'Point visé'. On the right, a compass is used to measure the angle between a vertical line labeled 'Nord' and a red line pointing to a green star labeled 'Point visé'.</p>	<p>L'azimut désigne, en topographie, l'angle formé entre une direction et le nord magnétique dans un plan horizontal.</p> <p>..... < Az(P_i-P_{i+1}) <</p>
--	---

Pour déterminer l'azimut entre A et B, on positionne la boussole sur le point A et on vise le point B dans un plan horizontal. On lit l'angle formé avec le Nord.

TP topométrie planimétrie 1



Objectifs du TP

- Se familiariser avec le matériel de topométrie planimétrie (niveau géométrique de précision, mire, décamètre et boussole)
- Savoir effectuer une visée horizontale vers un point donné A et une lecture de la hauteur de visée $h(A)$ en cm à 0,25 cm près
- Savoir effectuer une visée arrière vers A et visée avant vers B et en déduire la dénivelée entre A et B
- Savoir mesurer au décamètre la distance horizontale entre A et B
- Savoir mesurer à la boussole l'azimut entre A et B
- Savoir positionner les points A et B sur un plan à l'échelle
- Savoir représenter les points A et B sur une coupe verticale
- Interpréter et estimer la fiabilité des résultats par une analyse des erreurs de mesures, des erreurs statistiques (comparaison avec les autres groupes)

Logistique

Lieu : derrière le bâtiment 337.

Méthode utilisée : cheminement avec points intermédiaires entre H et B.

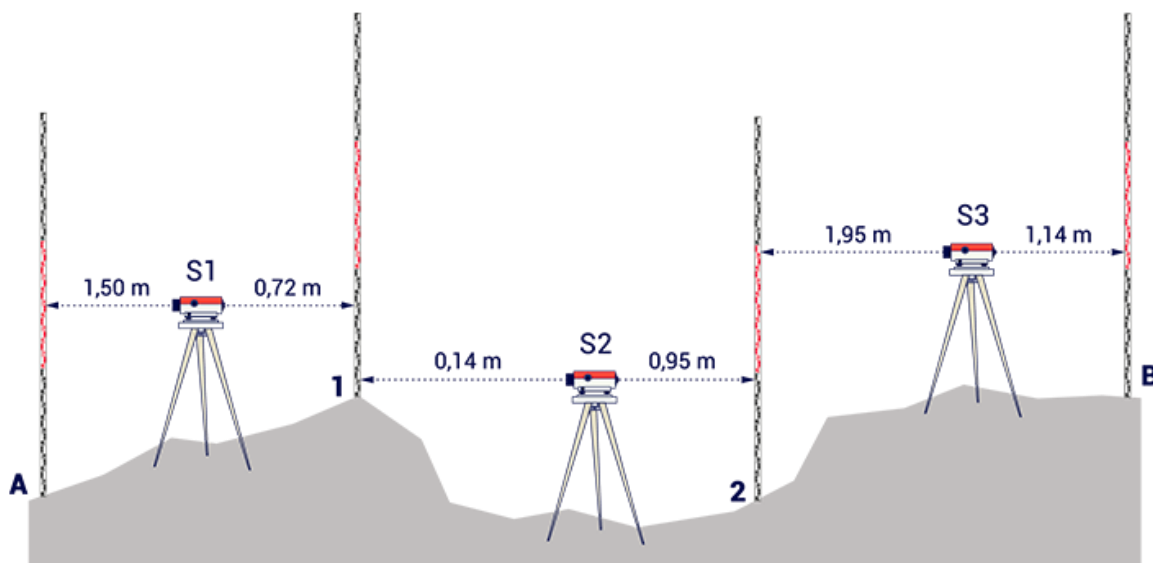
Sur le terrain : 4 équipes C, D, E et F (niveau, mire, décamètre et boussole) *4

Cours- Topométrie-Planimétrie 2

Principe de la mesure de la dénivelée entre A et D par un cheminement de A vers D avec une succession de visées avant/arrière

Représentez

- les positions successives du niveau N_1, N_2, N_3
- les hauteurs de visée $h_1(A), h_1(P_1), h_2(P_1), h_2(P_2), h_3(P_2), h_3(B)$
- les dénivelées $dh_{A-P1}, dh_{P1-P2}, dh_{P2-B}$



Dénivelée entre A et D :

Erreur sur la dénivelée entre A et D :

TP topométrie planimétrie 2



Objectifs du TP

- Acquérir des données topo avec niveau géométrique de précision, mire, décamètre et boussole
- Traiter ces données afin d'obtenir : les dénivelées intermédiaires, totale, un plan de localisation à l'échelle
- Déterminer graphiquement à partir du plan à l'échelle la distance horizontale entre les points B et H
- Déterminer graphiquement à partir du plan à l'échelle l'azimut du segment BH
- Interpréter et estimer la fiabilité des résultats par une analyse des erreurs de mesures, des erreurs statistiques

Logistique

Lieu : derrière le bâtiment 337.

Méthode utilisée : cheminement avec points intermédiaires entre H et B.

Sur le terrain : 4 équipes C, D, E et F (niveau, mire, décamètre et boussole) *4

Objectifs sur le terrain

- Choisir un cheminement adapté entre les points H et B avec des points intermédiaires notés C_i , D_i , E_i ou F_i . Repérer ces points intermédiaires par des piquets+étiquettes avec numéros.
- Mesurer avec niveau géométrique et mire la dénivelée entre les points P_i et P_{i+1}
- Mesurer (décamètre) la distance horizontale entre points intermédiaires P_i et P_{i+1}
- Mesurer avec la boussole l'azimut de chaque segment P_i - P_{i+1}
- Faire un plan schématique au fur et à mesure du cheminement avec la boussole

Tableaux de mesures

Cheminement de vers

	Mesure Niveau géom.	Mesure Niveau géom.	Calcul	Mesure décamètre	Mesure boussole
	Visée arrière (P _i)	Visée avant (P _{i+1})	Dénivelée	Distance horizontale	Azimuth
P _i - P _{i+1}	h(P _i) [cm]	h(P _{i+1}) [cm]	dh _{i-i+1} = h(P _{i+1})-h(P _i) [cm]	D(P _i -P _{i+1}) [m]	Az(P _i -P _{i+1}) [degrés]

Dénivelée totale entre H et B : $dh_{H-B} = \sum dh_{i-i+1} =$

- Calculer la dénivelée entre les points intermédiaires (remplir tableau de mesures)
- Calculer la dénivelée totale entre H et B
- Faire sur papier millimétré à l'échelle le plan de localisation des points avec azimuts, distances. En déduire graphiquement la distance horizontale entre H et B et l'azimut de HB
- Récupérer les données des 3 autres équipes et calculer moyennes et écart types à la moyenne
- Estimer les erreurs de mesures
- Estimer les erreurs statistiques sur les résultats

Tableau des moyennes et écart types

	Dénivelée Entre H et B	Distance horizontale HB	Azimuth du segment HB
Cheminement	dh _{H-B} (cm)	D (HB) (m)	Az (HB) (degrés)
C			
D			
E			
F			
Moyenne			
Ecart type à la moyenne			

TP-Géochimie des eaux

1-Généralités

Pourquoi analyser les eaux ?

- Qualité de l'eau
- Sources de pollution
- Mélange d'eaux de compositions différentes (entre nappes, océan/nappe, nappe-rivière)
- Information indirecte sur le temps de séjour de l'eau
- ...

Globalement, on cherche à comprendre les interactions entre les roches (ou le sol) et les minéraux qui les composent et les eaux. De plus, les moyens techniques à utiliser pour les eaux sont plus simples car le matériel pour analyser les roches est plus coûteux et plus volumineux, donc plus difficile à transporter sur le terrain.

2-Origine des éléments dissous

Les éléments chimiques sont issus principalement de la dissolution ou de l'hydrolyse des roches.

La dissolution va notamment concerner les sels :

- Solubilisation des sels : $\text{NaCl (s.)} \rightleftharpoons \text{Na}^+ \text{ (aq.)} + \text{Cl}^- \text{ (aq.)}$

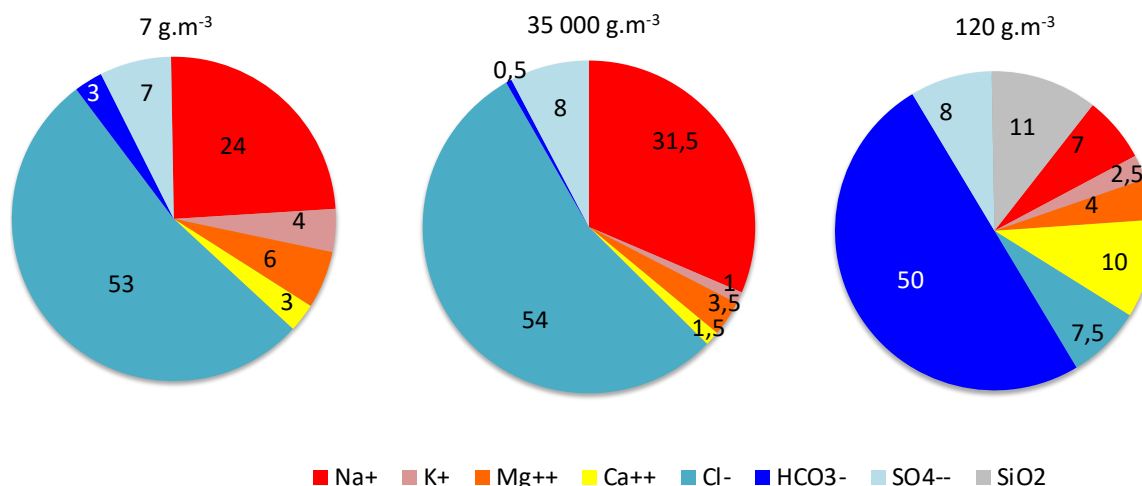
L'hydrolyse des roches va utiliser l'eau comme media et l'action d'un acide (souvent CO_2) pour dissoudre des minéraux (carbonates, silicates) et libérer tout ou partie des éléments les constituant. On peut citer par exemple :

- La dissolution des carbonates : $\text{CaCO}_3 \text{ (s.)} + \text{CO}_2 \text{ (aq.)} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} \text{ (aq.)} + 2\text{HCO}_3^- \text{ (aq.)}$
- La dissolution partielle d'un feldspath (albite) : $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \text{ (s.)} + 2\text{CO}_2 \text{ (aq.)} + 11\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Na}^+ \text{ (aq.)} + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 \text{ (aq.)} + 2\text{HCO}_3^- \text{ (aq.)} + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \text{ (s.)}$.

On voit donc dans ce deuxième exemple que toutes les réactions avec de l'eau et un acide n'entraînent pas forcément la disparition complète des minéraux. Certaines conduisent à la formation de nouveaux minéraux (formation d'argiles à partir de minéraux alumino-silicatés des granites).

L'origine du CO_2 est à relier à la capacité d'un gaz à se dissoudre dans l'eau (loi de Henry) mais surtout au cycle biologique qui produit de la matière organique (CH_2O) par photosynthèse. Lors de la dégradation de cette matière organique dans les sols notamment, la réaction inverse se produit (respiration), libérant du CO_2 (acide) dans les sols et les eaux de sols. Cela favorise donc la dissolution des minéraux.

Toutes ces étapes conduisent à la libération d'éléments chimiques en solution. La proportion et la concentration en éléments de ces eaux peut varier entre une eau de pluie (concentration faible) et l'eau de mer (concentration forte) mais on retrouve toujours les mêmes cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), anions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et espèces non chargées (H_4SiO_4).



Teneur en élément chimique des eaux de pluies (gauche), des eaux de mer (milieu) et des eaux continentales (droite)

3-Tableau des roches

Toutes les roches ne présentent pas les mêmes compositions minéralogiques et ne libéreront donc pas les mêmes éléments chimiques, ou du moins pas en même quantité. De plus ces roches sont plus ou moins résistantes à l'altération chimique. Le tableau ci-dessous indique les compositions chimiques types des familles et sous-ensembles de roche auxquelles se référer pour l'interprétation des résultats d'analyse des eaux faites au cours de ce TP. Par exemple, les calcaires sont des roches facilement altérables et qui vont libérer essentiellement du Ca^{2+} , du Mg^{2+} et du HCO_3^- . A l'opposé le granite est très résistant à l'altération chimique, notamment les minéraux tels que le quartz ou les feldspaths riches en K. Dans cette roche, ce sont les minéraux riches en sodium qui s'altéreront le plus facilement, libérant du Na^+ en solution.

Famille	Magmatique		Sédimentaire		
Sous-ensemble	Plutonique	Volcanique	Détritiques (~85%)	Biochimique/Chimique (~15%)	Évaporites (<1%)
Roche type	Granite	Basalte	Grès	Calcaire	
Minéraux et composition chimique	Quartz (SiO ₂) Feldspath Plagioclase (Si, Al, O, Na, K) Micas (Si, Al, O, K, Fe, Mg)	Olivine (Si, O, Fe, Mg) Pyroxène (Si, O, Fe, Mg) Feldspath Plagioclase (Si, Al, O, Ca, Na)	Quartz (SiO ₂) Argile (Si, Al, O, K, Ca, Mg)	Calcite/Aragonite (CaCO ₃) Dolomite (Ca, Mg(CO ₃) ₂)	Halite (NaCl) Sylvite (KCl) Gypse (CaSO ₄ 2H ₂ O) Anhydrite (CaSO ₄)

4-Objectifs du TP

En vous munissant des kits de terrain d'analyse des eaux, l'objectif est de réaliser les analyses chimiques de 3 échantillons d'eaux minérales (A, B et C) afin de retrouver leurs provenances parmi : St-Amand, Evian et Volvic en vous référant aux étiquettes des bouteilles de ces eaux (travail de groupe), puis aux cartes géologiques correspondantes (travail commun avec l'enseignant).

Vous ne pourrez pas analyser pendant ce TP tous les éléments chimiques présents dans votre eau. Nous avons sélectionné certaines analyses qui vont permettre de discriminer les différentes eaux. Parmi celles-ci, on distingue :

- Les analyses directes :
 - o Ca^{2+} (mg.L^{-1})
 - o Cl^- (mg.L^{-1})
 - o SiO_2 (mg.L^{-1})

- Les analyses de la dureté
 - o Dureté totale (mmol.L^{-1}) : Dureté totale : $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Sr}^{2+*} + \text{Ba}^{2+*} = \sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (*négligés). Cette valeur vous est fournie dans le tableau final.
 - o Vous pourrez obtenir la concentration en Mg^{2+} par différence.
 - o Dureté carbonatée (mg.L^{-1}) : $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ (CO_3^{2-} est négligeable à pH neutre)

Il est important d'indiquer que les kits d'analyse fourniront des teneurs informatives. Pour connaître avec fiabilité la composition chimique des eaux, il faut faire des analyses plus précises en laboratoire par chromatographie ionique ou ICP par exemple.

Rappel sur les unités : Afin de reporter vos données en mmol.L^{-1} dans le tableau, vous devez convertir certaines des valeurs mesurées. La conversion de mg/L en mmol/L est la suivante :

$$Ca [\text{mmol/L}] = \frac{Ca [\text{mg/L}]}{M_{Ca}}, \text{ avec la masse molaire du calcium } M_{Ca} = 40.08 \text{ g/mol}$$

Données :

$$M_{\text{Cl}} = 35.45 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Ca}} = 40.08 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{HCO}_3^-} = 61 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Mg}} = 24.31 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{SiO}_2} = 60.09 \text{ g/mol}$$

Conseils : Quatre kits de mesures sont disponibles (Ca^{2+} , Cl^- , SiO_2 , Dureté carbonatée= HCO_3^-) Répartissez-vous les mesures entre différents groupes afin d'obtenir plusieurs valeurs d'un même échantillon et ainsi vous affranchir des erreurs potentielles liées à la mesure. Lisez bien les protocoles et les unités que vous mesurez ! Soyez soigneux !

-Pendant le TP, remplissez le 1^{er} tableau avec les valeurs concernant votre groupe, en veillant à respecter les chiffres significatifs associés à chaque mesure et à reporter l'incertitude de mesure associée.

-Remplissez le second tableau avec la synthèse des résultats de tous les groupes. Cela vous permettra de remarquer si vos valeurs sont en accord ou non avec celles des autres groupes.

-Écrivez soigneusement le détail de vos calculs (notamment sur les incertitudes – comment les avez-vous déterminées ?)

-Écrivez une synthèse argumentée sur l'identification des trois eaux en fonction des mesures réalisées. Ne vous restreignez pas à un élément mais validez vos choix en les comparant au moins à deux. Pour cette interprétation, n'hésitez pas à exprimer vos résultats en écart relatif (exemple : la différence de concentration en Ca^{2+} entre nos analyses et l'étiquette est de 5%), cela facilitera vos interprétations !

A rendre (cf Annexe 5) : à la fin du TP, vous devez rendre les deux **tableaux de mesure** remplis, la partie « **détail des calculs** » ainsi que la **synthèse argumentée** sur l'identification des eaux en se basant sur vos résultats et les étiquettes des bouteilles.

Enfin, nous prendrons 30 minutes ensemble en fin de TP afin de relier chaque eau à une région géologique en nous aidant des cartes géologiques correspondantes. Bien que ne faisant pas partie de l'évaluation, je vous demande de prendre des notes sur les explications données.

Rappel sur la lecture d'une carte géologique :

Une carte géologique donne la nature des roches en surface (donc leurs compositions chimiques, se référer au tableau des roches) et leurs âges. La notice donne également de précieuses informations sur le contexte géologique et la nature et la composition des roches.

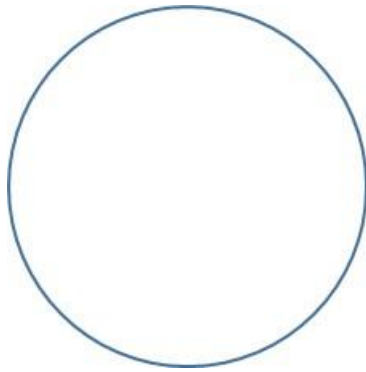
Pensez à bien regarder l'échelle, les coordonnées, le titre, les informations topographiques...

L'objectif ici n'est pas de décrire l'ensemble des roches présentes mais d'identifier les faciès principaux présents dans chacune des régions ciblées, de repérer les sources potentielles des eaux afin de déduire la composition chimique probable que l'eau peut prendre en traversant ces roches.

Annexe 1: Illustration d'estimation d'erreurs de mesures et de calculs d'incertitudes

Pour chaque protocole expérimental, il est important de bien distinguer les grandeurs mesurées (et les erreurs sur ces mesures qui sont estimées) et les grandeurs calculées (et les incertitudes sur ces grandeurs qui sont calculées). Prenons l'exemple du calcul de la demi-circonférence de ce cercle.

Mesures et erreurs de mesures

<p>Grandeur mesurée : rayon $r \pm \delta r$</p> <p>δr : erreur de mesure sur $r \rightarrow$ A estimer</p> <p>$r = \dots\dots\dots$</p> <p>$\delta r = \delta r_{\text{lecture}} + \delta r_{\text{opérateur}}$</p> <p>$= \dots\dots\dots =$</p>	
---	---

Si on cherche à mesurer la distance séparant deux points O et P, on aura :

- Une erreur de lecture liée à la règle graduée (précision de lecture)
- Une erreur liée à l'opérateur (évaluation de la position des points, pbs de vue, manque d'attention, mauvaise tenue de la règle, etc....)

Il faut recenser toutes les causes d'erreur possibles (liés à l'appareil de mesure et à l'opérateur) puis estimer leur grandeur en faisant attention à ne pas les sous-estimer ni les surestimer.

Grandeurs calculées et incertitudes calculées

Grandeur calculée : demi-circonférence $C \pm \delta C$

Formule utilisée : $C = \pi \cdot r$

δC : erreur (ou incertitude) calculée

π est estimé dans un premier cas sans calculatrice à 3.14 $\rightarrow \pi = 3.14 \pm 0.01$

$$\frac{\delta C}{C} = \frac{\delta \pi}{\pi} + \frac{\delta r}{r} = \frac{0,01}{3,14} +$$

Annexe 2 : Règles simples de propagation des erreurs ou calculs d'incertitudes

On a mesuré plusieurs grandeurs x, y, \dots avec leurs erreurs de mesures respectives $\delta x, \delta y$ et on les utilise pour le calcul d'une grandeur q . On veut déterminer l'erreur δq du résultat final sur q . Pour cela, on utilise des règles de propagation des erreurs.

Somme et différence

$$q = x + y - z$$



incertitude absolue

$$\delta q = \delta x + \delta y + \delta z$$

Produit et quotient

$$q = \frac{x * y}{z}$$



incertitude relative

$$\frac{\delta q}{|q|} = \frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta y}{|y|} + \frac{\delta z}{|z|}$$

Multiplication par une constante (avec incertitude)

$$q = B * x \quad \text{où } B \text{ est une constante avec une incertitude } \delta B \quad \rightarrow \quad \frac{\delta q}{|q|} = \frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta B}{|B|}$$

Multiplication par un nombre exact (sans incertitude)

Dans ce cas particulier où la constante est connue exactement, on peut utiliser une formule d'incertitude absolue :

$$q = B * x \quad \text{où } \underline{B \text{ est un nombre exact}} \text{ c'est à dire } \delta B = 0 \text{ et } \frac{\delta B}{|B|} = \frac{0}{|B|} = 0$$

$$\text{Alors : } \frac{\delta q}{|q|} = \frac{\delta x}{|x|} + \frac{\delta B}{|B|} = \frac{\delta x}{|x|} + 0 = \frac{\delta x}{|x|} \text{ et}$$

$$\frac{\delta q}{|q|} = \frac{\delta x}{|x|} \text{ donne } \delta q = \frac{\delta x}{|x|} * |q| \text{ sachant que } q = B * x \text{ alors } \delta q = \frac{\delta x}{|x|} * B * |x| \text{ qu'on simplifie en } \delta q = \delta x * B$$

$$\rightarrow \quad \delta q = B * \delta x$$

Propagation pas à pas

Tout calcul de propagation des erreurs se réduit à une série d'étapes dont chacune correspond à un seul type d'opérations. Attention : les incertitudes sur les sommes et les différences requièrent des incertitudes absolues (comme δx) tandis que celle sur les produits et les quotients utilisent des incertitudes relatives (comme $\delta x/x$).

Annexe 3 : Estimation d'une grandeur à partir de mesures répétitives Moyenne et écart type

Exemple sur 2 mesures x_1 et x_2 de la grandeur x

Moyenne $\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2}{2}$

Ecart type sur une mesure $\sigma(x) = \sqrt{\frac{(x_1 - \langle x \rangle)^2 + (x_2 - \langle x \rangle)^2}{2}}$

Ecart type sur la moyenne $\sigma(\langle x \rangle) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{2}}$

Exemple

$x_1 = 21$ m ; $x_2 = 25$ m

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{21 + 25}{2} = 23 \text{ m} \quad \sigma(x) = \sqrt{\frac{(21 - 23)^2 + (25 - 23)^2}{2}} = 2 \text{ m} \quad \sigma(\langle x \rangle) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} = 1,4 \text{ m}$$

La meilleure estimation de la distance x est égale à 23 m, avec une incertitude de mesure égale à 1,4 m. La première mesure de la distance x donne 21 m avec une incertitude égale à 2 m.

Cas général sur n mesures x_1, \dots, x_n de la grandeur x

Moyenne $\langle x \rangle = \frac{\sum x_i}{n}$

Ecart type sur une mesure $\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \langle x \rangle)^2}{n}}$

Ecart type sur la moyenne $\sigma(\langle x \rangle) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{n}}$

La moyenne $\langle x \rangle$ des mesures x_1, \dots, x_n constitue, sous certaines conditions, la meilleure estimation de x .

L'écart type de x_1, \dots, x_n , noté $\sigma(x)$ caractérise l'incertitude moyenne associée à chacune des mesures x_1, \dots, x_n .

L'incertitude sur la meilleure estimation de x (c'est à dire $\langle x \rangle$) est l'écart type de la moyenne.

Annexe 4 : Consignes pour les rapports par équipe pour les TP topométrie, granulométrie Merci de bien respecter les consignes de rédaction

Pour ces 2 TPs, les rapports sont à rendre pour la séance suivante imprimés, agrafés. Le texte doit être écrit sous traitement de texte (recto-verso, times 14, aligné à gauche et à droite, pages numérotées, et mise en page soignée) et les tableaux doivent être faits avec un tableur et insérés dans le fichier final. Les schémas et plans peuvent être faits à la main et sont vivement souhaités pour décrire les protocoles et mettre en évidence les grandeurs mesurées et calculées. N'hésitez pas à mettre des photos de vous-même en train de manipuler. Surtout, ne recopiez pas les cours et n'écrivez pas de la théorie. On vous demande d'être précis, rigoureux et synthétique.' J'ai horreur du blabla qui meuble.'

P de garde. Date, groupe, Noms, Prénoms, Titre, Objectifs, Introduction (Un paragraphe pour présenter les objectifs du TP), photos (par exple : photo du groupe avec instruments de mesure), Université Paris-Saclay, L1S2-PCST ou BCST ou DD-Option Mesures en Géosciences

P1 : Protocole. Illustrer le protocole (photos souhaités) et décrire succinctement (ne pas répéter le cours). Lister et quantifier les erreurs de mesures.

P2 et P3 : Résultats. Tableaux de traitement des mesures (sous excell). Détaillez les calculs pour un point de mesure de votre choix sous chaque tableau. Et plans le cas échéant. Estimation des erreurs sur les résultats.

P4 : Conclusions. Reprenez les objectifs et résultats principaux (quantifiés). Discutez aussi la fiabilité de vos résultats grâce à vos incertitudes calculées et erreurs statistiques, le cas échéant.
Proposez des améliorations de protocoles.

Annexe 5 : Rapport du TP de chimie des eaux

Tableau 1 : Résultats du groupe

Echantillon	Ca ²⁺ (mmol/L)	Cl ⁻ (mmol/L)	SiO ₂ (mmol/L)	HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	Mg ²⁺ (mmol/L)	Dureté totale (mmol/L Ca+Mg)
A						
B						
C						

Tableau 2 : Résultats de l'ensemble des groupes

Echantillon	Ca ²⁺ (mmol/L)	Cl ⁻ (mmol/L)	SiO ₂ (mmol/L)	HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	Mg ²⁺ (mmol/L)	Dureté totale (mmol/L Ca+Mg)
A						
B						
C						

Détails des calculs :

Synthèse argumentée sur l'origine des eaux :

Lien entre composition chimique des eaux et géologie :