

Lycée(s)	Général	Technologique	Professionnel	
Niveau(x)	CAP	Seconde	Première	Terminale
Enseignement(s)	Commun	De spécialité	Optionnel	
Physique-chimie				

La relation de Pascal

Utilisation d'un microcontrôleur

Les nouveaux programmes de première et de terminale professionnelles encouragent l'utilisation des capteurs dans l'acquisition des données lors des activités expérimentales. Cette utilisation permet de réinvestir et d'exploiter les connaissances et les capacités acquises en classe de seconde professionnelle au sujet des capteurs en les mobilisant au cours de plusieurs modules comme celui sur l'électricité.

L'exemple d'activité expérimentale présenté dans ce document illustre le module de mécanique : « Caractériser la pression dans un fluide immobile ».

Ce module est absorbé en première professionnelle pour des spécialités du groupement 5. Il fait également partie du programme de terminale professionnelle pour les groupements de spécialités 1, 3 et 5 (ces deux derniers dans le cadre des notions complémentaires à aborder en vue d'une préparation à la poursuite d'études).

Références au programme

Capacités

- Mesurer la pression en un point d'un fluide.
- Déterminer expérimentalement à l'aide d'un capteur adapté les variations de pression au sein d'un fluide à l'équilibre.
- Exploiter la relation de Pascal.

Connaissances

- Connaître l'unité de la pression dans le système international et d'autres unités utilisées couramment.
- Connaître l'ordre de grandeur de la pression atmosphérique.
- Connaître la relation de Pascal.
- Savoir que la mesure d'une grandeur physique présente toujours une incertitude due à l'instrument de mesure, à son utilisation et à la variabilité de facteurs non contrôlés.

Mots-clés : Relation de Pascal, principe fondamental de l'hydrostatique, pression, carte à microcontrôleur, capteur, langage de programmation.

Capacités mobilisées et objectifs de formation

L'activité mobilise principalement la capacité d'exploitation de la relation de Pascal. Elle s'appuie sur une expérience utilisant un capteur mesurant les variations de pression au sein d'un fluide à l'équilibre. Les notions d'électricité abordées de manière transversale en classe de seconde professionnelle sont également réinvesties. L'utilisation d'un capteur spécifique associé à un dispositif d'acquisition pour

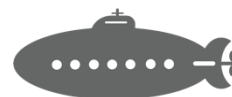
l'exploitation de données expérimentales développe chez les élèves des compétences numériques.

Exemple d'exploitation pédagogique

L'objectif n'est pas ici de développer une activité modélisante mais plutôt de proposer un exemple d'exploitation pédagogique qui a vocation à être adapté aux objectifs de l'enseignant et de sa progression. L'exemple proposé ici n'a pas de valeur prescriptive.

Une appropriation des pistes développées dans cette ressource est nécessaire, notamment pour tenir compte du niveau d'acquisition des élèves des compétences liées à la démarche scientifique, ceci en vue de leur proposer des éléments de différenciation pédagogique. D'autres contextes où les objectifs visés et les capacités développées sont semblables sont proposés à la fin de ce document.

Situation déclenchante



En 2017, un sous-marin argentin, le ARA San Juan a littéralement implosé en mer à la suite d'une succession d'incidents techniques. Lors d'une séance de physique-chimie, un enseignant propose à ses élèves de formuler une hypothèse sur les causes de cet accident en utilisant le matériel du laboratoire.

Problématique : Comment expliquer l'implosion du sous-marin ARA San Juan ?

Éléments de structuration de l'activité

Phase d'appropriation

Un dossier mis à disposition des élèves est composé de plusieurs documents indiquant d'une part les caractéristiques techniques du sous-marin étudié puis celles du capteur de pression utilisé. D'autre part, des données liées à certaines grandeurs physiques en rapport avec la situation sont également fournies. À travers ce dossier, l'élève est amené à :

- rechercher, extraire et organiser l'information liée au contexte dans le but d'étudier le fonctionnement d'un capteur de pression couplé à une carte à microcontrôleur ;
- formuler des hypothèses répondant à la problématique contextualisée ;
- comprendre comment, à l'aide d'un capteur, il est possible d'utiliser une pression pour influencer un signal électrique (ici une tension) ;
- compléter un programme voire l'adapter (différenciation).

Cette première phase d'appropriation vise principalement à solliciter l'élève afin que l'exploitation des documents l'amène à reformuler la problématique et l'incite à se poser différentes questions scientifiques en amont de l'expérience :

- Quelle(s) grandeur(s) physique(s) est(sont) mise(s) en jeu dans la situation ?
- Comment modéliser la situation à l'aide du matériel de laboratoire ?
- Comment exploiter les données recueillies à l'aide de la carte à microcontrôleur ?

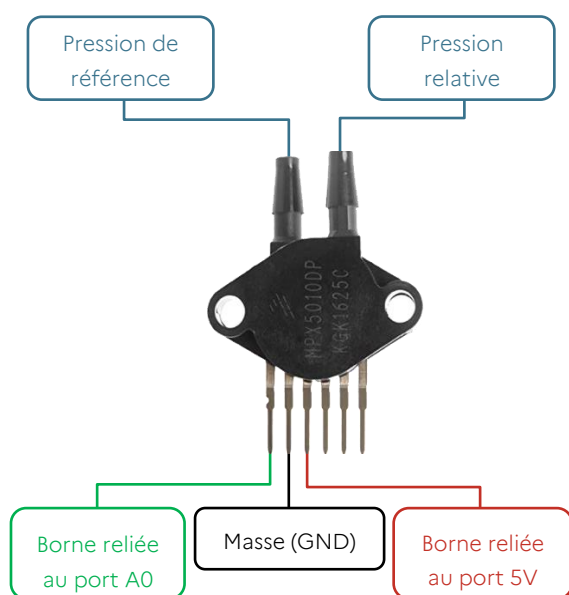
- Comment évolue la tension fournie par le capteur en fonction de la pression mesurée ?

A l'issue de cet phase, l'enseignant amène l'élève à se questionner à propos de l'influence de la profondeur d'immersion sur la pression exercée sur le sous-marin.

Il convient d'annexer au déroulement pédagogique qui est proposé aux élèves une fiche d'attendus disciplinaires indiquant les compétences visées et les indicateurs permettant d'apprécier l'articulation des différentes phases de la démarche (phase commune, appropriation en binômes, expérimentation, phase de rédaction, alternance entre phases rédactionnelles, présentation orale, mise en commun et travaux de synthèse, etc.)

Réalisation du montage

Une fois les différentes hypothèses recensées par l'enseignant, les élèves sont guidés dans leur réflexion, repèrent les grandeurs mises en jeu et choisissent le matériel permettant leur mesure. Le choix d'un capteur amène l'élève à identifier les grandeurs d'entrée et de sortie (avec leurs unités) mises en jeu dans l'utilisation de ce capteur. Pour cela, il s'appuie sur le dossier documentaire mis à disposition, plus particulièrement en analysant la fonction de transfert relative à ce capteur.

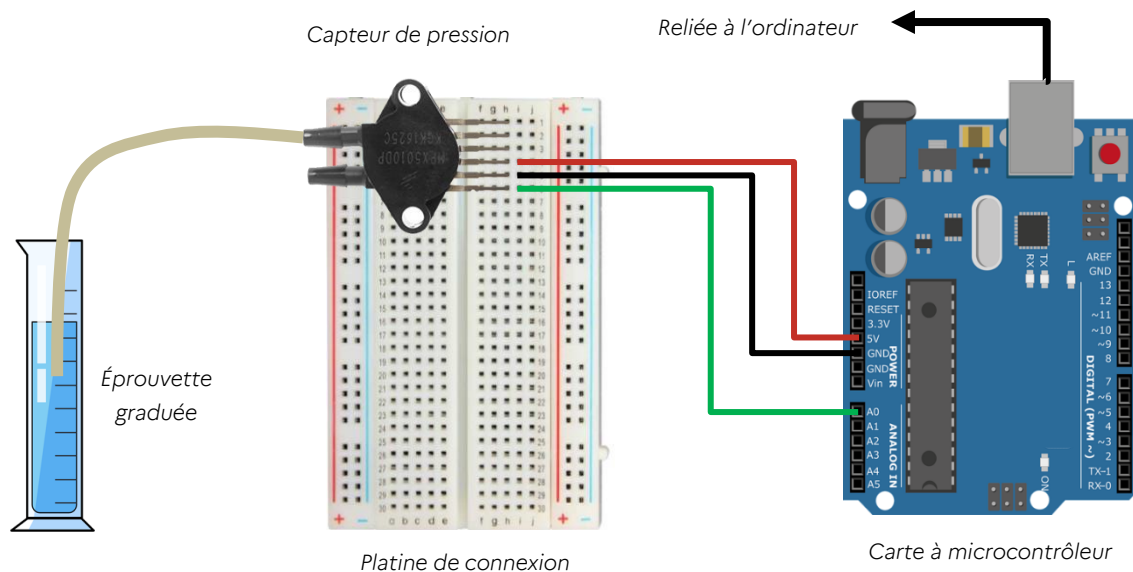


L'élève propose ensuite un protocole expérimental visant à réaliser la mesure d'une pression au sein d'un fluide à l'aide du matériel proposé : une carte à microcontrôleur couplée à un capteur de pression ayant une plage de lecture entre 0 et 10 kPa.

Ce capteur mesure une pression différentielle. Son utilisation implique notamment de modifier la fonction de transfert utilisée dans le code en insérant une valeur de la pression de référence.

Le choix d'un capteur de pression absolue, bien qu'envisageable, nécessiterait une mesure de la pression atmosphérique régnant dans la salle de classe.

L'élève réalise enfin le montage relatif au protocole expérimental validé en amont par l'enseignant.



Programmation à l'aide d'une carte à microcontrôleur

Une fois ce montage réalisé, l'élève téléverse le programme à adapter à la situation vers la carte à microcontrôleur. L'objectif de cette partie n'est pas que l'élève rédige le programme dans son intégralité mais bel et bien d'en comprendre le concept algorithmique et ainsi de compléter un code fourni au regard de la situation et des conditions expérimentales.



Les modalités de téléversement d'un programme dans la mémoire de la carte font l'objet d'un document spécifique annexé à cette ressource.

Deux possibilités sont envisageables quant au choix du langage de programmation de la carte (langage de la carte ou python) ainsi que dans le protocole (mesure en continu ou en fonction de la profondeur).

- Programme en langage de la carte pour une mesure de la valeur de la pression par seconde :

```

int Mesure=0;
float Vout;
float Pression;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  Mesure = analogRead(A0);
  float Vout = Mesure * (5.0 / 1023.0);
  float Pression = ?

  Serial.print("P = ");
  Serial.print(Pression,2);
  Serial.println(" kPa");
  delay(1000);
}

```

Les variables sont définies

Configuration de la carte : la vitesse de transmission des informations entre l'ordinateur et la carte est ici définie à 9600

La valeur analogique lue sur le port A0 de la carte est affectée à la variable Mesure

Une variable Vout est définie par une valeur correspondant à la conversion de la valeur de la variable Mesure en tension.

Une valeur arrondie au centième de la pression mesurée en kPa est alors affichée.

Temporisation d'une durée de 1 000 ms entre chaque mesure

Dans ce cas de figure, l'instruction `void loop()` permet de réaliser une mesure de la pression toutes les secondes sans s'arrêter. Une valeur par seconde s'affiche dans le moniteur série du logiciel.

Remarque :

En vue d'apporter un complément technique aux élèves, il peut être envisagé d'introduire la phase expérimentale par une étude du principe utilisé par le convertisseur analogique numérique qui permettra en outre d'appréhender plus facilement la notion de fonction de transfert d'un capteur.

- Programme en langage Python pour une mesure de la pression en fonction de la profondeur entrée :



```
from serial import Serial
import matplotlib.pyplot as plt

capture = Serial( port = 'COM3', baudrate=9600)

def experience(nombrePoints):
    Resultats = []
    for i in range(nombrePoints):
        Profondeur = float(input('h = '))
        capture.flushInput()
        Vout = float(capture.readline())*5/1023
        Pression = ?
        Resultats.append((Profondeur,Pression))
    capture.close()
    return Resultats
```

Les bibliothèques utiles sont importées

La connexion avec la carte est établie. Il peut être nécessaire de choisir un autre port suivant les ordinateurs

Définition de la fonction `experience` qui fixe le nombre de mesure effectué, `nombrePoints`

Création d'une liste `Resultats` contenant les tuples (`profondeur`, `pression`)

La boucle `for` permet de renouveler la prise de mesures pour `nombrePoints` valeurs

La profondeur courante est d'abord saisie par l'utilisateur puis est enregistrée dans la variable `Profondeur`

Une variable `Vout` est définie par une valeur correspondant à la conversion en tension de la valeur analogique mesurée pour la pression.

Ajout d'un nouveau tuple (`profondeur`, `pression`) à la liste `Resultats`

La liste `Resultats` est renvoyée suite à l'appel de la fonction `experience`

La bibliothèque Python `serial` (« Pyserial ») utilisée dans ce script permet d'établir une connexion entre l'interface Python (également appelée IDLE) et la carte à microcontrôleur.

Instruction ou méthode	Fonctionnalité
<code>Serial</code>	En paramètres : le port de communication et la vitesse de communication (<code>baudrate</code>)
<code>.flushInput()</code>	Vide le tampon d'entrée, en supprimant tout son contenu
<code>.close()</code>	Ferme le port immédiatement
<code>.readline()</code>	Renvoie l'information jusqu'à ce qu'un EOL soit reçu

Pour les programmes présentés en amont, l'instruction liée à la fonction de transfert du capteur est volontairement masquée. Un nouveau travail d'appropriation est alors à réaliser en utilisant les caractéristiques techniques mentionnées dans le dossier documentaire :

$$V_{\text{out}} = V_s \times (0,09 \times P + 0,04) \pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0,09 \times V_s)$$

Cette fonction de transfert permet, pour une tension $V_s = 5 \text{ V}$, d'aboutir à la ligne de code manquante, à savoir :

$$P = \frac{V_{\text{out}} - 0,2}{0,45}$$

langage de
la carte

float Pression = (Vout-0.2)/0.45;

Python **Pression** = **round**((Vout - 0.2)/0.45,2)

Outre le fait d'extraire cette information du dossier à bon escient, cette partie présente un intérêt double. D'une part, elle permet de solliciter chez l'élève un certain nombre de capacités mathématiques notamment la transformation d'une formule. D'autre part, l'hétérogénéité des résultats expérimentaux obtenus permettra également de sensibiliser les élèves à la notion d'incertitude en mettant en évidence l'influence de certains facteurs sur la variabilité de la mesure physique. En parallèle, une discussion peut être menée sur l'intérêt d'ajuster la ligne de code manquante à partir de la mesure de la pression relative hors de l'eau qui doit être nulle.

Exploitation des résultats expérimentaux

Quel que soit le langage de programmation choisi, l'objectif est ici de travailler la capacité à exploiter la relation de Pascal. L'élève illustre expérimentalement la relation liant la pression exercée sur un fluide et la profondeur d'immersion.

L'appel à la fonction `experience` permet de renvoyer la pression obtenue à l'aide du capteur pour différentes profondeurs d'immersion (exprimées en mètres) du tuyau souple, toutes saisies par l'utilisateur.

In [3]: `experience(5)`

`h = 0.06`

`h = 0.12`

`h = 0.16`

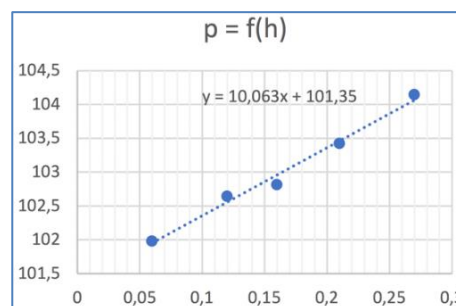
`h = 0.21`

`h = 0.27`

Out [3]:

`[(0.06, 101.98),
(0.12, 102.64),
(0.16, 102.81),
(0.21, 103.42),
(0.27, 104.14)]`

Les données expérimentales font l'objet d'une modélisation en aval, permettant ainsi de réinvestir les capacités et connaissances développées en mathématiques dans le module **Statistique à deux variables quantitatives** (représentation graphique d'un nuage de points, réaliser un ajustement affine à l'aide des outils numériques, déterminer le coefficient de détermination d'une série statistiques à deux variables et évaluer la pertinence d'un ajustement affine).



L'utilisation d'un outil numérique (tableur ou calculatrice) permet de vérifier rapidement la pertinence d'un ajustement affine. Au regard de l'expérimentation présentée, l'équation de la droite de régression obtenue est ici :

$$P = 10,063 \times h + 101,35$$

Après une nouvelle phase d'appropriation du dossier documentaire, l'élève peut utiliser l'équation de la droite de régression afin d'extrapoler la valeur de la pression exercée sur le sous-marin à une profondeur de 400 m ($P = 4\,127$ kPa dans notre cas).

Cette valeur permet à l'élève de conclure quant à la cause de l'implosion et ainsi de répondre à la problématique posée.

À la suite de cette activité expérimentale, l'enseignant amorce une discussion sur les similitudes entre la relation de Pascal et l'équation de la droite de régression obtenue suite à la phase de modélisation des résultats expérimentaux.

Les échanges découlant de cette étude permettront de mener une réflexion sur le choix des unités utilisées dans l'expérimentation menant au modèle d'ajustement affine (notamment sur l'unité de mesure d'une pression imposée par l'utilisation du capteur) et les unités du système international. Une différenciation pédagogique peut être envisagée en proposant aux élèves de modifier le programme afin que le modèle de régression prenne en compte les unités du système international, pour mettre en évidence la relation entre ce modèle et la relation de Pascal.

Restitution et trace écrite

L'analyse de l'équation décrivant le modèle d'ajustement permet d'une part de faire un focus sur l'ordre de grandeur de la pression atmosphérique, mais également de définir et différencier les notions de pression absolue et pression relative.

Une trace écrite spécifique à la relation de Pascal vient conclure la séquence, après avoir comparé la valeur du coefficient directeur de la droite de régression obtenue expérimentalement et celle du produit $\rho \times g$.

Autres exemples d'exploitation pédagogique

Facteurs influençant les variations d'une pression dans un fluide incompressible

L'objectif de cette ressource est d'illustrer l'influence de la profondeur d'immersion sur les variations de la pression exercée sur un solide plongé dans un fluide incompressible. On peut proposer aux élèves une démarche scientifique en binôme sur l'effet de différents facteurs sur ces variations de pression. Après une phase commune de discussion autour des hypothèses à envisager, chaque binôme fait le choix d'un facteur en particulier (masse volumique du fluide, volume du tuyau, profondeur d'immersion, etc.). La première partie du travail consiste à proposer un protocole expérimental visant à mesurer une pression à l'aide d'une liste de matériel mis à leur disposition. Le protocole présenté en première partie est adapté à la

situation et à l'étude du facteur en question. La seconde partie a pour but de confirmer ou infirmer l'influence de la grandeur physique choisie par le binôme sur les variations de la pression à partir des résultats de leur expérience. En complément de ce travail à l'écrit, chaque binôme peut en outre exposer à la classe sa démarche et ainsi travailler la communication orale.

Une phase de mise en commun vient alors conclure ce travail collaboratif en proposant enfin les mêmes éléments constituant la trace écrite précédemment évoquée.

Variabilité de la mesure

Le travail autour des unités menées en aval de la partie expérimentale donne lieu à une étude plus approfondie sur la place de l'incertitude dans la mesure physique. Un document faisant la synthèse des résultats expérimentaux de la classe est fourni à chaque élève afin qu'il puisse identifier les sources d'erreur ayant pu être commises lors de l'expérimentation, quantifier l'incertitude sur la mesure directe et mener une réflexion quant au choix des chiffres significatifs à adopter pour la valeur des grandeurs physiques mises en œuvre. Enfin, le travail de fin de séquence sur la comparaison des valeurs du coefficient directeur de la droite de régression obtenue et celle du produit $\rho \times g$ peut faire l'objet d'une appréciation particulière des différences observées entre les valeurs expérimentales et la théorie au regard des incertitudes.

Aspects interdisciplinaires

En prolongement du travail sur la variabilité de la mesure, il est envisageable d'exploiter les différentes mesures obtenues expérimentalement par les élèves en réinvestissant les capacités et connaissances du programme de mathématiques en classe de seconde professionnelle, et plus précisément celles relatives au module **Statistique à une variable** :

- recueillir et organiser des données statistiques ;
- choisir un mode de représentation graphique adapté ;
- extraire les informations d'une représentation d'une série statistique ;
- adapter et compléter un programme en cohérence avec la situation.

Les modules transversaux des programmes de mathématiques et physique-chimie de la voie professionnelle sont également travaillés :

- Automatismes : de nombreux exemples de conversions et de transformations de formules sont mis à profit tout au long de l'activité ;
- Algorithmique & programmation : modifier ou compléter un programme pour résoudre un problème.

Proposition de dossier documentaire

Document 1 : Article de journal.

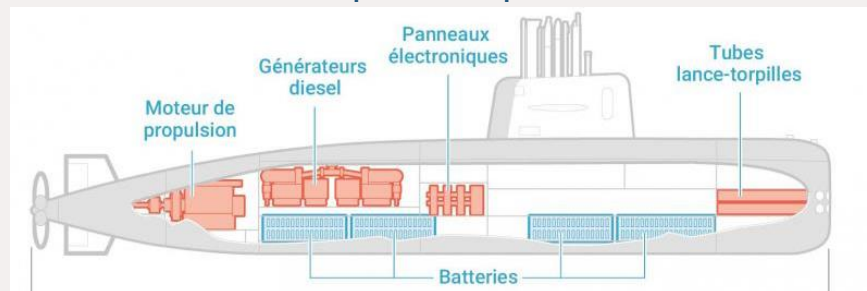
Près de deux mois après la disparition du ARA San Juan, les circonstances de l'accident du sous-marin argentin sont désormais établies. Le signal acoustique détecté le 15 novembre 2017 est bien lié à la disparition du submersible, affirme dans un rapport le Bureau américain du renseignement naval (ONI).

L'ONI précise ainsi que le bruit enregistré le 15 novembre 2017 a bien été produit par l'implosion du San Juan à une profondeur d'environ 400 mètres, libérant une énergie équivalente à celle produite par une explosion de près de six tonnes de TNT.



Source : lemonde.fr (10 janvier 2018)

Document 2 : Caractéristiques techniques du sous-marin ARA San Juan.



Masse	2 264 tonnes en immersion (2 116 tonnes en surface)
Vitesse	25 nœuds en immersion (15 nœuds en surface)
Longueur	65 m
Pression maximale	26 bar

Document 3 : Données physiques.

P_{Atm} : Pression atmosphérique liée à l'air

P_{Rel} : Pression relative liée à l'eau

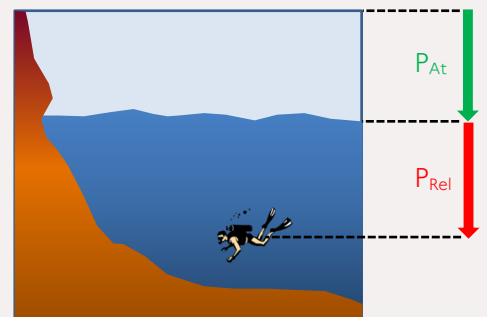
P_{Abs} : Pression absolue : $P_{\text{Abs}} = P_{\text{Atm}} + P_{\text{Rel}}$

$P_{\text{Atm}} = 1\,013,25 \text{ hPa}$

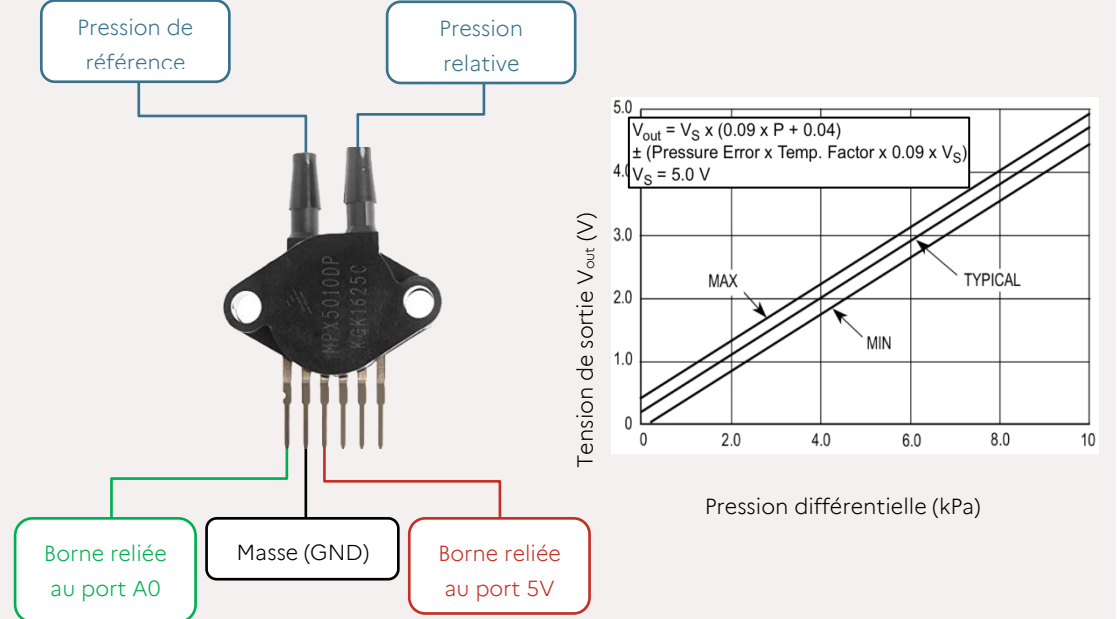
Masse volumique de l'eau de mer : $\rho_{\text{mer}} = 1\,030 \text{ kg/m}^3$

Masse volumique de l'eau douce : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$

Intensité de pesanteur $g = 9,81 \text{ N/kg}$



Document 4 : Caractéristiques techniques du capteur de pression MPX5010DP.



Document 5 : Codes à compléter.

```
int Valeur=0;
float Vout;
float Pression;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  Valeur = analogRead(A0);
  float Vout = Valeur * (5.0 / 1023.0);
  float Pression = ?

  Serial.print("P = ");
  Serial.print(Pression,2);
  Serial.println(" kPa");
  delay(1000);
}
```



```
from serial import Serial
import matplotlib.pyplot as plt

capture = Serial( port = 'COM3', baudrate=9600)

def experience(nombrePoints):
  Resultats = []
  for i in range(nombrePoints):
    Profondeur = float(input('h = '))
    capture.flushInput()
    Vout = float(capture.readline())*5/1023
    Pression = ?
    Resultats.append((Profondeur,Pression))
  capture.close()
  return Resultats
```

