



# LA REPONSE EST DANS LE VENT

## TACHES

EPREUVE 1

28 avril 2015

Pays:

Team:

PAYS:

28.04.2015

TEAM:

- Les blouses de laboratoire et lunettes de sécurité doivent être portées à tous moments dans le laboratoire.
- Il est interdit de manger ou boire dans le laboratoire.
- Des gants jetables sont à disposition et doivent être portés au moment de manipuler des produits chimiques.

- Lorsque vous avez terminé tous les papiers y compris les feuilles de brouillon doivent être rendus. On ne peut RIEN emporter du laboratoire.
- Tous les résultats doivent être portés sur la feuille réponse (papier couleur).
- Les graphiques doivent être rendus en même temps que la feuille réponse.

**Seule la feuille réponse finale et les graphiques rendus seront notés.**

L'épreuve 1 comporte cinq parties, qui peuvent être traitées soit individuellement soit en équipe.

Tâche A: 92 points

Tâche B: 92 points

Tâche C: 92 points

Tâche D: 06 points

Tâche E : 24 points

Vous disposez de **4 heures** pour l'épreuve 1



## L'histoire

La région Klein-Virtulien est située sur la rive sud des Alpes, 800-1300 mètres au-dessus du niveau de la mer. 60% de la demande électrique d'alimentation de la région est alimentée par l'énergie hydroélectrique, et les 40% restant sont importés. Afin de couvrir la demande croissante d'énergie et de réduire la dépendance des importations d'électricité, une nouvelle installation de production d'énergie renouvelable va être construite. Cette usine ne servira pas seulement à produire de l'énergie mais aura aussi la capacité de stocker de l'énergie électrique.

**Le terrain montagneux de la région convient parfaitement à la construction d'une telle usine avec la possibilité d'utiliser deux**

**méthodes alternatives de stockage de l'énergie :**

- 1. Une station de pompage classique**
- 2. Un système moderne d'électrolyse (Power-to-Gas, P2G)**

La construction de l'installation de production d'énergie actuelle à Klein-Virtulien a soulevé plusieurs objections:

- La Virtu creek qui devrait alimenter la station de pompage est l'un des cours d'eau de Klein-Virtulien contenant la plus grande biodiversité. Suivant une étude environnementale locale elle héberge *Astacus astacus subsp. virtuliensis*, une espèce d'écrevisse menacée. Les Membres d'une association environnementale locale craignent que la nouvelle station de pompage n'altère de manière significative l'habitat naturel de l'écrevisse et ne mène à son extinction. Les promoteurs de la nouvelle station nient l'existence de la présence d'*Astacus astacus subsp. virtuliensis* arguant sa ressemblance avec une espèce non protégée.
- Une autre association environnementaliste locale avance un autre argument à l'encontre de la construction de la station de pompage hydraulique: près du réservoir de la station de pompage se trouve une décharge d'une usine de traitement du cuir à l'abandon. En cas d'inondation dans la zone, des produits toxiques et tout particulièrement du chrome hexavalent, pourraient être lessivés. Afin de tester cette possibilité, des échantillons d'enfouissement devront être étudiés pour la détermination d'une éventuelle contamination au Cr(VI).
- Une autre initiative environnementale locale s'oppose à l'usine d'électrolyse à Klein-Virtulien, parce que de leur point de vue, la combinaison de l'énergie éolienne et de l'énergie à gaz ne fournit pas l'efficacité requise.

Afin de sensibiliser la communauté, et en particulier les jeunes, au sujet des préoccupations à propos de la centrale, une compétition internationale aura lieu à Klein-Virtulien.

**En tant qu'équipe en compétition, vous êtes invités à jouer le rôle d'évaluateurs et à émettre une recommandation commune pour la future centrale. Pour ce faire, vous aurez à mener plusieurs enquêtes et expériences.**

# Tâche A

**Faites attention à l'ordre dans lequel les tâches doivent être réalisées.**

Avant de commencer la section 3.2 et 4 vous devrez résoudre 3.1 et rendre la **copie** « **écrevisse** » 3.1 à l'assistant. → Alors seulement vous recevrez le matériel pour poursuivre, le tableau « Fonction », un diagramme de la morphologie de l'écrevisse et une écrevisse pour identification.

## Matériel:

- Appendices d'écrevisse (moitié droite ou gauche d'une écrevisse)
- Feuille avec la silhouette d'une écrevisse
- colle
- pinces
- boîte en Polystyrène
- loupe
- papier Millimétré
- règle

- 
- 1 écrevisse
  - Diagramme de la morphologie de l'écrevisse
  - Tableau "Fonction"

## 1. Ecologie d'*Astacus astacus subsp. virtuliensis*

### Concepts écologiques: biotope, habitat, niche écologique

Dans la nature, les organismes ne sont pas distribués au hasard; ils préfèrent des sous régions spécifiques distinctes. Afin de décrire leur distribution spatiale non due au hasard, on utilise des termes tels que biotope, habitat et niche écologique.

**Biotope:** est une aire topographique comportant des conditions environnementales plus ou moins uniformes et caractérisée par une biocénose.

**Habitat:** est la zone du biotope occupée par un type d'organisme particulier.

**Niche écologique:** représente l'interaction entre

- la description spatiale de l'habitat,
- les ressources utilisées (nutrition, lumière, eau, salinité, etc.) et
- les réactions de l'espèce aux facteurs environnementaux.

(Adapted from: Sinsch, U. (2004). Studienbrief 1: Konzepte der Autökologie.) Universität Koblenz-Landau.

**Information scientifique:**

Les exigences écologiques de l'écrevisse à pattes rouges subsp. *virtuliensis* (*Astacus astacus* subsp. *virtuliensis*) correspondent avec celles de l'écrevisse à pattes rouges (*Astacus astacus*). Toutes deux vivent exclusivement en eau douce, colonisent les rivières, les ruisseaux, les lacs et les étangs chauds aux bords escarpés en été. Cependant, l'écrevisse à pattes rouges subsp. *virtuliensis* préfère une profondeur minimale de l'eau de 40 cm. La température de l'eau en été doit être d'au moins 11° C, la plage de température optimale est comprise entre 19° C et 21° C. Le pessimum supérieur (= opposé de optimum) commence à 24°C, à 25°C l'écrevisse meurt. La chute de température à l'automne marque le début de la saison des amours. La teneur en dioxygène optimale de l'eau est comprise entre 6 et 12 mg/L, 3,5 mg/L est le minimum absolu.

Une condition préalable à la colonisation par cette écrevisse est une forte structuration de la zone benthique; des cachettes suffisantes et des aires de repos doivent être présentes (grosses pierres, les bancs avec des racines d'arbres, grottes creusées dans les bancs). Comme de nombreuses espèces d'écrevisses, l'écrevisse à pattes rouges subsp. *virtuliensis* est crépusculaire et nocturne. Pendant la journée, elle se retire dans les zones de repos. Les jeunes peuvent être aperçus dans les eaux peu profondes, où ils peuvent se cacher parmi les plantes. L'écrevisse à pattes rouges subsp. *virtuliensis* est omnivore. Son régime alimentaire comprend des algues, des plantes aquatiques, des larves d'insectes, des moules, des limaces et des charognes. Elle "recherche" activement sa nourriture.

**1.1. Faites correspondre les termes (colonne de gauche) avec les termes scientifiques corrects (biotope, habitat, niche écologiques) en cochant la case correspondante.**

⇒feuille réponse

**1.2. Performance d'*Astacus* en réponse à la température de l'eau en été**

En été (de juin à la mi-septembre) la température de l'eau est un facteur essentiel pour la performance d'une espèce, et donc de la présence d'*Astacus astacus* subsp. *virtuliensis*.

**1.2.1 Tracez un graphique (courbe en cloche) qui montre la relation entre les valeurs de température de l'eau (minimum, optimum, maximum) et la performance de l'espèce.**

⇒papier millimétré

**Note:** La performance de l'espèce (qui est le nombre d'animaux susceptibles d'utiliser le biotope sans augmentation ni diminution de la population) peut prendre la valeur de 0 (aucun individu n'a survécu) à 100 (utilisation optimale de l'habitat).

**1.2.2 Légendez le graphique de la question 1.2.1 avec les caractéristiques de température (points ou intervalles) (minimum, maximum, optimum, pessimum). Annoter le graphique et ajouter la légende.**

⇒graphique

**Rendre le graphique à l'assistant**

## 2. Effets potentiels d'une station de pompage sur *Astacus astacus subsp. virtuliensis*

Les scientifiques ont constaté que l'implantation d'une station de pompage peut modifier certains facteurs écologiques pour l'écrevisse à pattes rouges subsp. virtuliensis. Examinez, si la construction d'une station de pompage va influencer la population d'écrevisses à pattes rouges subsp. virtuliensis, en utilisant les données des deux graphiques sur la feuille de réponse "La teneur moyenne en oxygène dans la rivière par mois" et "la température moyenne dans la rivière par mois"

**2.1. Identifiez les zones des graphiques qui représentent des facteurs écologiques susceptibles de conduire à l'extinction de la population d'écrevisses dans les conditions fournies en été. Grisez la zone que vous avez identifiée.**

**2.2. Grisez sur les graphiques la/les zone/s optimales pour la température et la teneur en dioxygène en été.**

## 3. Morphologie fonctionnelle de l'écrevisse

**Rappel:** faites attention à l'ordre dans lequel les tâches doivent être réalisées.

Avant de commencer la section 3.2 et 4 vous devrez résoudre 3.1 et rendre la copie **écrevisse** 3.1 à l'assistant.

**3.1 Disposez, dans le bon ordre, les appendices de l'écrevisse (contenus dans le récipient en verre) sur la photocopie de l'écrevisse (silhouette). Utilisez la bonne silhouette gauche ou droite !**

⇒ feuille écrevisse

**Tous les appendices doivent être collés sur la photocopie « écrevisse »!!**

**Astuce :** L'image dans le document provient de la face ventrale. Certaines pattes sont difficiles à distinguer les unes des autres. Si vous ne pouvez pas déterminer leur ordre exact, positionnez-les comme un groupe. Le positionnement très précis des appendices ne compte que pour deux points au total. Une fois que vous êtes satisfait de votre disposition des appendices de l'écrevisse montrez le document à l'assistant de laboratoire qui en prendra une photo.

**3.2 Faites correspondre les appendices avec leur fonction principale (plusieurs fonctions sont possibles, mais pas plus de 3 attributions par appendice sont autorisées). → le tableau "Fonction"**

⇒ feuille réponse

Chaque case doit contenir soit une croix soit un O : "X" correct, "O" faux!!

Fonction:

- A= pour attraper des objets/nourriture et utilisé pour la défense/l'attaque
- B= transformer/manipuler (casser, mâcher) la nourriture
- C= Reproduction/soin à la progéniture
- D= récepteurs sensoriels
  - D1 = sens chimique
  - D2 = sens tactile
  - D3 = balance (équilibre)
- E= Mouvement
  - E1 = déambuler
  - E2 = nage

**4. Identification de l'écrevisse**

- **la tâche ne peut être réalisée que si vous avez achevé la tâche 3.1 et que vous avez rendu la copie écrevisse 3.1 à l'assistant. Alors seulement vous recevrez de l'assistant l'écrevisse à identifier et le diagramme de la morphologie de l'écrevisse!**

En utilisant la clé de la feuille réponse, vérifiez si l'écrevisse appartient à l'espèce *Astacus astacus* subsp. *virtuliensis*.

<b>A</b>	céphalothorax	<b>7</b>	articulation de la pince
<b>B</b>	queue	<b>8</b>	rostre
<b>1</b>	antenne	<b>9</b>	crête post-orbitale
<b>2</b>	carapace antérieure	<b>10</b>	épines
<b>3</b>	carapace Postérieure	<b>11</b>	sillon cervical
<b>4</b>	abdomen	<b>12</b>	aréole
<b>5</b>	telson	<b>13</b>	bandes transversales à travers les segments abdominaux
<b>6</b>	pincés		

**4.1 Marquez les affirmations de la clé dans la colonne en grisé qui permettent l'identification de l'écrevisse fournie!**

⇒ feuille réponse

## 5. Questions théoriques

5.1. Lesquelles des affirmations sont correctes, lesquelles sont fausses? Marquez vos choix!  
⇒feuille réponse

## 6. Évaluez la situation en vue de la construction d'une station de pompage à Kleinvirtulien

En ce qui concerne la population présumée d' *Astacus astacus subsp. virtuliensis*, évaluez si les préoccupations des citoyens sont justifiées.

Pour ce faire, utilisez les informations de " **Ecologie d'*Astacus astacus subsp. virtuliensis*"(1)**, vos idées à propos de " **Effets potentiels d'une station de pompage sur *Astacus astacus subsp. virtuliensis*" (2)**, ainsi que vos résultats de " **Identification de l'écrevisse"(4)**. Évaluez les effets de la station de pompage sur la population d'écrevisses.

Évaluez et résumez votre évaluation dans le tableau en cochant les cases adéquates.  
⇒feuille réponse!



## Tâche B

### Introduction

A proximité du réservoir d'eau se trouve une décharge qui contient des produits toxiques, notamment le chrome à la valence VI. Ce dernier risque d'être extrait dans l'eau et donc de la contaminer. Le Cr(VI) est cancérigène car il pénètre les membranes cellulaires.

Le travail consiste donc à doser le Cr(VI) dans des échantillons de la décharge et d'estimer les risques de contamination de l'eau. La méthode utilisée est la spectrophotométrie (colorimétrie). Le dosage du Cr(VI) se fait de la manière suivante : on le complexe par réaction avec le 1,5-diphenylcarbazide (DPC) en solution acide, ce qui donne un complexe de couleur pourpre.

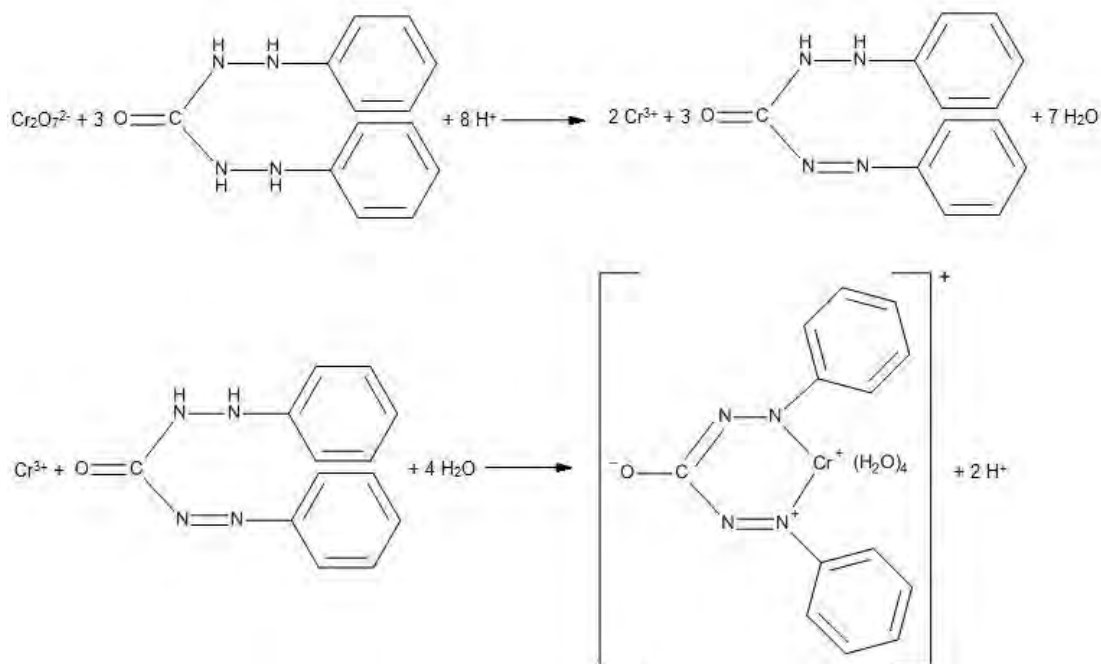


Fig.1: Réaction du dichromate avec DPC en solution acide

Cette réaction est très sensible. Elle permet la détection de traces de Cr(VI).

L'intensité de la coloration du complexe Cr(VI)/DPC est en relation avec la concentration en Cr(VI). On mesure l'absorbance de la lumière à la longueur d'onde 550 nm.

La relation utilisée est la loi de Beer – Lambert :

$$A = a \cdot c \cdot d$$

$A$  est l'absorbance, mesurée par un spectrophotomètre.

$\alpha$  est le coefficient d'absorption molaire de la substance (on utilise aussi souvent le symbole  $\epsilon$ )

$c$  est la concentration (mol/L)

La concentration peut aussi être exprimée en mg/L, dans ce cas  $\alpha$  (ou  $\epsilon$ ) est le coefficient d'absorption massique

$d$  est l'épaisseur de solution traversée par la lumière, c'est-à-dire l'épaisseur de la cuvette qui contient la solution.

Le but du travail est de mesurer  $A$  pour des solutions de concentrations données, ce qui permet d'obtenir une droite d'étalonnage (également appelée droite de calibration).

En mesurant l'absorbance de la solution inconnue et en la reportant sur le graphe d'étalonnage, on peut en déterminer la concentration de la solution inconnue.

Une photo du spectrophotomètre et le schéma de son principe sont donnés dans les figures 2 et 3.



Fig. 2: Spectrophotometer UV-1600 PC

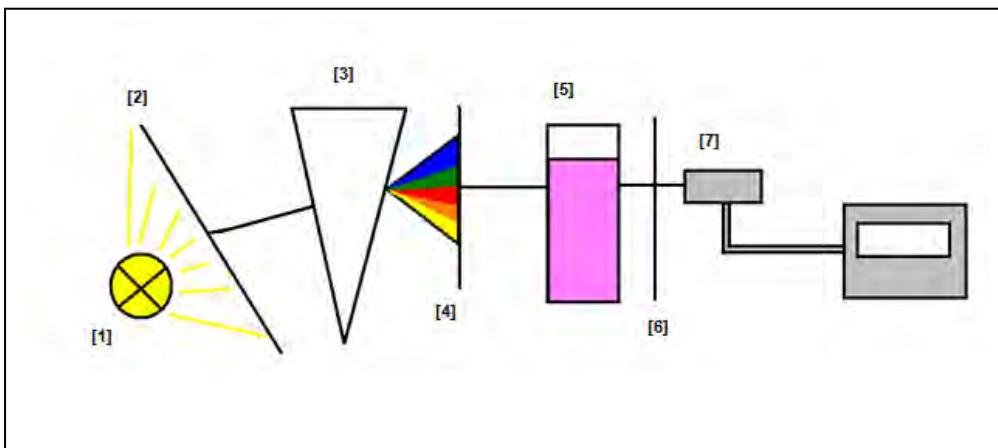


Fig. 3: Schematic drawing of a spectrophotometer (courtesy of Michaela De Rouw)

- [1] Light source
- [2] Entrance slit
- [3] Prisma
- [4] Exit slit
- [5] Cuvette with sample
- [6] Entrance slit
- [7] Detector with displaying device

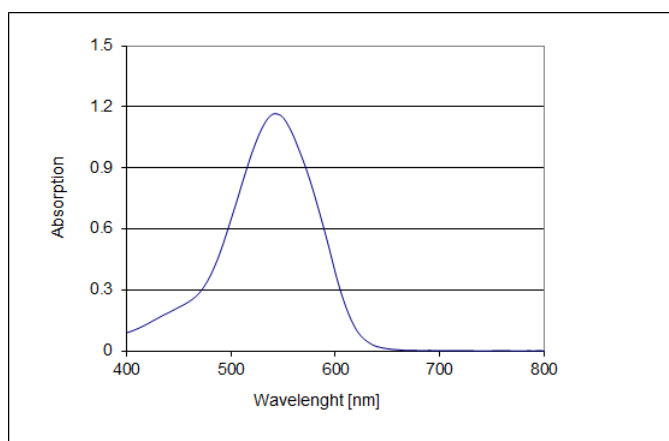


Fig. 4: Absorption spectrum of the complex from Cr(VI) and DPC

Observez bien la cuvette: son épaisseur est  $d = 1$  cm. La lumière doit la traverser complètement entre les deux faces transparentes. Les deux autres faces permettent de la manipuler. Les doigts ne doivent pas toucher les faces transparentes.

Liste du matériel	Liste des produits chimiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papier, papier graphique, règle, gomme</li> <li>• Calculatrice</li> <li>• Tableau périodique</li> <li>• Marqueur, crayon, taille-crayon</li> <li>• Pipette à piston 100 <math>\mu</math>L (adjustable)</li> <li>• Pipette à piston 1000 <math>\mu</math>L (adjustable)</li> <li>• Cones à pipette (blue and yellow)</li> <li>• Boîte pour cones usagés</li> <li>• Test tubes 15 mL (Falcon)</li> <li>• Porte-tube</li> <li>• Cuvettes de 1 cm pour le spectrophotomètre</li> <li>• Essuie-tout</li> <li>• 1 spectrophotomètre (pour 3 groupes)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau distillée</li> <li>• Cr(VI) stock solution pour l'étalonnage (28.29 mg/L dipotassium dichromate <math>K_2Cr_2O_7</math>), appelé "Cr(VI)"</li> <li>• Sulfuric acid 0.5 M, désigné "0.5 M <math>H_2SO_4</math>"</li> <li>• Solution réactive (120 mg 1,5-diphenylcarbazide in 50 mL acetone), désignée "DPC"</li> <li>• 5 solutions (éluats d'échantillons de sols) de concentration inconnue en Cr(VI) désignées "E1", "E2", "E3", "E4" and "E5"</li> <li>• Solution de référence avec une concentration connue en Cr(VI) (4.00 mg/L), appelée "Ref"</li> </ul>

**Instructions:**

Les échantillons de sol sont donnés mais à cause du manque de temps, l'extraction du Cr(VI) de ces échantillons (100 g de terre agités dans 1 litre d'eau pendant 24 heures) a déjà été réalisée au préalable.

On met donc à votre disposition 5 échantillons inconnus appelés « éluats » ( E1 à E5) dont il faudra déterminer la concentration en Cr(VI).

Pour établir la courbe d'étalonnage, des solutions sont préparées à partir d'une solution stock appelée Cr(VI) qu'il faudra diluer pour obtenir des solutions de concentration de plus en plus faible.

**1. Calculer la concentration en mg/L de Cr(VI) dans la solution stock**

⇒ A indiquer dans la feuille de réponses

Attention: avant de continuer, il faut faire vérifier votre réponse par l'assistant.

**2. Détermination de la courbe d'étalonnage au moyen du spectrophotomètre**

Pour déterminer la courbe d'étalonnage, cinq solutions diluées de concentrations comprises dans le domaine 25-250 µg/L doivent être préparées à partir de la solution stock.

Les valeurs des 5 concentrations à obtenir sont indiquées dans le tableau 1 de la feuille de réponse. Détailler le calcul pour un exemple.

**2.1. Calculer le volume de solution stock nécessaire pour préparer 10 mL de chaque solution.**

**Indiquez les valeurs dans la table 1!** ⇒ A indiquer dans la table 1 de la feuille de réponses

**2.2. Préparation des solutions de calibration (solutions d'étalonnage)**

- a. Numéroter de 1 à 6 les tubes de 15 mL
- b. Ajouter dans chaque tube 2 mL d'acide sulfurique (indiqué "0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>") avec une pipette à piston.
- c. Ajouter 0.2 mL de solution de réactif (marked "DPC") dans chaque tube avec une pipette à piston.
- d. Ajouter le volume approprié de solution stock à introduire dans les tubes 2 à 6, respectivement. Pour cela reprenez vos résultats indiqués dans le tableau 1 de la feuille de réponse.
- e. Remplir chaque tube avec de l'eau ultrapure jusqu'à atteindre un volume de 10 mL.
- f. Boucher les tubes et agiter vigoureusement.

### 2.3. Préparation des échantillons inconnus (éluats) et d'une solution de référence

- Marquer les 6 tubes suivants des numéros 7 à 12
- Ajouter dans chaque tube 2 mL d'acide sulfurique (marqué "0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>") au moyen d'une pipette à piston
- Ajouter dans chaque tube 0.2 mL de solution de réactif (marqué "DPC ») au moyen d'une pipette à piston..

Pipetter 250 µL de l'éluat E1 dans le tube 7, 250 µL de l'éluat E2 dans le tube 8, et continuer de la sorte jusqu'au tube 11. Pour le tube 12, c'est 250 µL de solution de référence solution qu'il faut ajouter.

Voir le tableau 2 dans la feuille de réponse.

- Remplir chaque tube avec de l'eau ultrapure jusqu'à atteindre le volume de 10 mL.
- Boucher les tubes et agiter vigoureusement.

#### 2.3.1. Calculer les facteurs de dilution pour les éluats

Les résultats de ces calculs doivent être validés par l'assistant du laboratoire avant de continuer le travail, cad avant de faire les mesures au spectrophotomètre.

⇒ A indiquer sur la feuille de réponse

### 2.4. Mesures spectrophotométriques

- Transférer les solutions des tubes 1 à 12 dans les cuvettes de mesure (remplir au moins les  $\frac{3}{4}$  de la cuvette de mesure en manipulant les cuvettes de mesures sans toucher les faces transparentes). Ne pas oublier de numéroter les cuvettes de mesure.
- Informez l'assistant que vous êtes prêts. Comme il n'y a qu'un spectrophotomètre pour 3 équipes, il faudra peut-être attendre un peu. Profitez de ce temps libre pour répondre aux questions plus loin.
- Faire les mesures dans les 10 minutes

Instructions pour le spectrophotomètre: mettre la cuvette contenant le blanc dans l'appareil. Ne pas tenir la cuvette par la face lisse. Fermer le couvercle et appuyer sur le bouton « zéro ». Placer alors la cuvette 2 dans le spectrophotomètre et faire la lecture après avoir fermé le couvercle. Continuer ainsi pour les cuvettes 3 à 12.

Indiquer les résultats dans le tableau 2.

**Indiquer les résultats dans le tableau 2.**

⇒ A indiquer dans la feuille de réponse

### 3. Porter les résultats en graphique

#### 3.1. Porter les valeurs de l'absorbance en fonction des concentrations *(papier millimétré)*

- Les concentrations en  $\mu\text{g/L}$  doivent être indiquées sur l'axe des abscisses et les absorbances sur l'axe des ordonnées
- Tracer la droite qui passe au mieux par les points (droite de régression)
- A partir de cette droite, déterminer la pente (coefficient angulaire ou encore coefficient directeur) et la valeur de l'intersection de cette droite avec l'un des axes
- Porter, pour chaque éluat, l'absorbance en ordonnée et déterminer la concentration correspondante par la lecture sur l'abscisse.
- Ecrire vos calculs sur le papier graphique

**Montrer le graphique à l'assistant du laboratoire.**

Pour la suite des calculs, vous recevrez les valeurs de la pente et de l'intersection de la part de l'assistant.

#### 4 Calculer la teneur ( $\mu\text{g/L}$ ) des éluats 1-5 et de la solution de référence.

Indiquer les valeurs dans le tableau 3.

$\Rightarrow$  A indiquez dans la feuille de réponse

### 5 Calcul de la teneur en Cr(VI) des échantillons de sols

#### 5.1 Calculer la teneur ( $\text{mg Cr(VI)/kg}$ ) des échantillons de sols

Utiliser les valeurs des concentrations du tableau 4

Prendre en compte les dilutions qui ont été effectuées (voir les résultats confirmés de la section 2.3.).

*A indiquer sur la feuille de réponse*

### 6 Pollution en Cr (VI) du sol et du réservoir d'eau

Si la décharge est complètement noyée d'eau de pluie, on suppose que tout le Cr(VI) présent dans le sol sera dissous et se retrouvera dans le réservoir.

**Réponses 6.1. à 6.4.**

$\Rightarrow$  A mettre dans la feuille de réponse

6.1 Calculer la teneur moyenne en Cr(VI) contenue dans le sol ( $\text{mg Cr(VI)/kg}$ ).

6.2 Utiliser cette concentration moyenne pour calculer la masse de Cr(VI) présente dans une décharge de 2000 tonnes

6.3 Quelle est la teneur en Cr(VI) ( $\mu\text{g/L}$ ) qui peut être atteinte dans l'eau en supposant que la décharge est complètement noyée dans un volume d'eau de 80 millions de  $\text{m}^3$  et que tout le Cr(VI) est dissous dans l'eau ?

6.4 D'un point de vue écologique, est-il raisonnable de construire un tel réservoir d'eau destinée à l'eau potable sachant que la teneur en Cr(VI) dans l'eau potable ne peut pas dépasser  $50 \mu\text{g/L}$  ?

## 7. Conclusions

Répondre par « oui » ou par « non » aux questions données dans les colonnes du point 7 dans la feuille de réponse ⇒

*A indiquer dans la feuille de réponse*

# TACHE C

## 1. Mesures à l'aide d'une machine à vent

A l'aide d'un modèle, nous allons travailler sur certaines des propriétés physiques d'une machine productrice de vent.

### 1.1. Mesure de la vitesse du vent

Déterminer la vitesse de l'air généré par la machine à vent.

#### Matériel :

- Machine à vent montée sur un support (Fig. 1.1.)
- Instrument mesurant la vitesse du vent (anémomètre) monté sur un support
- Règle
- Un mètre ruban

- 1 : conduit d'air  
 2 : sortie d'air  
 3 : entrée d'air  
 4 : support  
 5 : vis de serrage  
 6 : régulateur de vitesse  
 7 : bouton réglable et interrupteur d'allumage  
 8 : fusible (5A)  
 9 : indicateur de puissance  
 10 : AC source de courant alternatif



Fig. 1.1 Machine à vent

#### Protocole :

Montez la machine à vent et l'anémomètre à une distance de 0,4 m l'un de l'autre. Le centre de la sortie d'air et des coupelles de rotation de l'anémomètre doit être à la même hauteur et la machine à vent doit pointer exactement dans le sens de l'anémomètre (Fig. 1.2).

La distance est mesurée à partir du point de sortie de l'air jusqu'à l'axe de rotation de l'anémomètre.



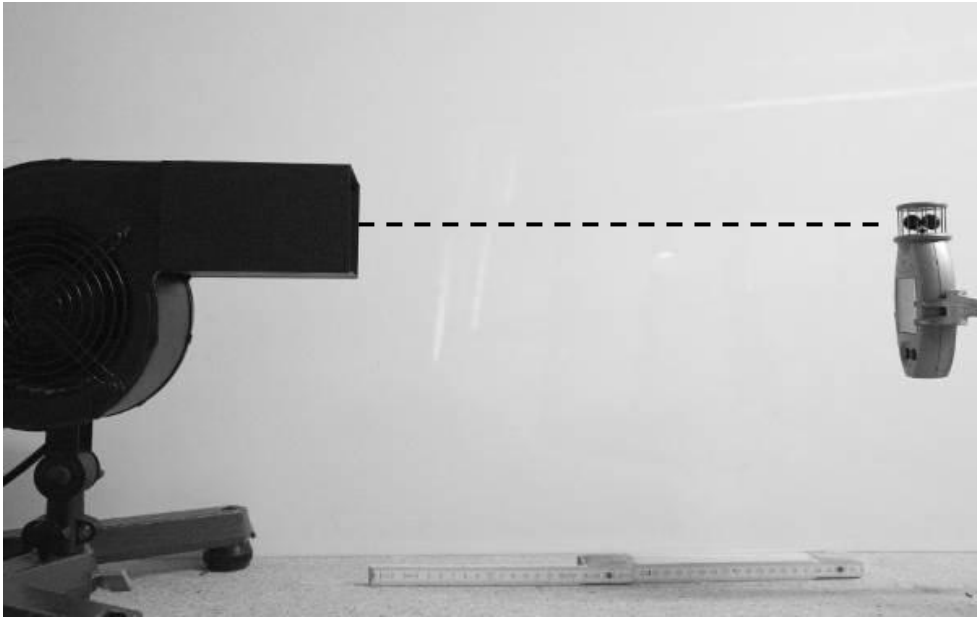


Fig. 1.2: montage



Fig. 1.3: Sélecteur rotatif pour différentes vitesses d'air

La vitesse du vent peut être commandée par le sélecteur rotatif (voir Fig. 1,3).

Attention : Les différents niveaux ne sont pas marqués par des numéros sur le dispositif réel ! Allumez la machine à vent au niveau le plus bas, le niveau 1. Laissez fonctionner pendant 15 secondes. Allumez l'anémomètre et laissez le fonctionner pendant environ 1 minute. Observez l'affichage et notez la valeur moyenne (AV) et la valeur maximale (MX), voir Fig. 1.4.



Fig. 1.4 : Anémomètre.

Affichage à l'écran de haut en bas : valeur instantanée, valeur maximale (MX), valeur moyenne (AV). Toutes les valeurs sont mesurées en m/s.

Ecrivez la valeur moyenne (AV) et la valeur maximale (MX) sur la feuille de réponses (tableau 1.1.1). Eteignez l'anémomètre.

Basculez la machine à vent au niveau 2, et après 15 secondes de marche, allumez l'anémomètre. Faites les mêmes mesures que précédemment et reportez les valeurs sur la feuille de réponses. Eteignez l'anémomètre après la mesure.

Continuez la même procédure pour les niveaux 3 à 5 de la machine à vent.

**1.1.1. Complétez le Tableau 1.1.1 avec les valeurs correspondantes !** ⇨ *Feuille de réponses*

**1.1.2. Tracé du diagramme " Vitesse du vent (axe y) en fonction des niveaux de la machine (axe x) "**

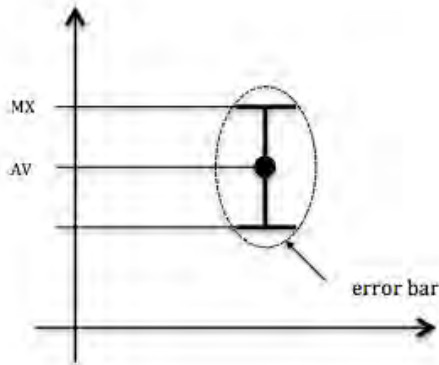
**Tracez le diagramme en utilisant les valeurs mesurées du Tableau 1.1.1** ⇨ *papier millimétré*

Choisissez une échelle appropriée pour l'axe des y (vitesse de l'air en m/s). Reportez les points correspondant aux vitesses moyennes et les vitesses maximales. On prendra comme limites supérieures des barres d'erreur les valeurs maximales. Nous supposerons que les barres d'erreur sont symétriques autour de la valeur moyenne. Dessinez alors les barres d'erreur.

**Veillez à utiliser le papier millimétré fourni et collez votre diagramme sur la feuille de réponses !**

**Information:**

Les barres d'erreur sont tracées telles que :

**1.2. Mesures de la tension en circuit ouvert (hors charge) avec diverses hélices**

Un paramètre caractéristique de la puissance générée par les hélices est la tension électrique en circuit ouvert. Elle est définie comme la tension générée lorsque la génératrice est hors charge. Mesurez cette tension pour différentes pales d'hélices afin de trouver la plus efficace.

**Matériel :**

- Hélice - diamètre de 16 cm
- Hélice - 18 cm de diamètre
- Hélice - diamètre de 20 cm

(Voir Fig. 1.5)

- Deux hélices croisées - 16 cm/ 16 cm de diamètre
- hélice inversée - 16 cm de diamètre

(Voir Fig. 1.6)

- multimètre
- Câbles
- machine à Vent
- Génératrice
- Support pour la génératrice



Fig. 1.5 : Hélices de 16 cm, 18 cm, 20 cm. (L'inscription sur la lame doit être orientée vers la génératrice)



Fig. 1.6: Deux hélices croisées, de 16 cm (l'inscription est dirigée vers la génératrice), et l'hélice inversée (l'inscription est dirigée vers la machine à vent).

**Protocole**

La distance entre la machine à vent et l'hélice est à nouveau de 0,4 m, pour l'ensemble des mesures de cette partie (Fig. 1.7).



Fig. 1.7: Machine à vent (à gauche) et l'hélice (à droite).

L'hélice est montée sur la génératrice à l'aide de la pièce blanche en plastique (Fig. 1.8). Le multimètre est relié à la génératrice par des pinces crocodile.



Fig. 1.8 : hélice montée sur la génératrice.

Mesurez les tensions en circuit ouvert (hors-charge)  $U_0$  pour toutes les hélices et pour tous les niveaux de la machine à vent. Commencez chaque mesure au niveau 1. La machine à vent doit fonctionner pendant au moins 15 secondes. Comme les valeurs de tension affichées peuvent fluctuer au cours de vos mesures, vous devrez observer attentivement et prendre une décision pour choisir la valeur moyenne.

**Reportez les valeurs  $U_0$  des tensions mesurées dans le Tableau 1.2**

⇒ *Feuille de réponses*

### 1.3. Puissance utile des diverses hélices

La tension n'est pas la seule caractéristique d'une hélice. Plus important encore, on doit prendre en considération la puissance électrique qui peut être produite quand une charge est attachée à la génératrice. Cette puissance peut être calculée en utilisant les valeurs de courant traversant une résistance ainsi que la tension correspondante.

#### Matériel :

- machine à vent
- Génératrice avec différentes hélices : 16, 18, 20, 16/16 (croisées), 16 (inversée)
- deux câbles de raccordement (noir, rouge) de la génératrice
- Multimètre avec câbles de raccordement
- Calculatrice
- Mètre ruban

La distance entre la machine à vent et l'hélice est à nouveau de 0,4 m. La génératrice doit être reliée au multimètre comme indiqué sur la figure 1.9.

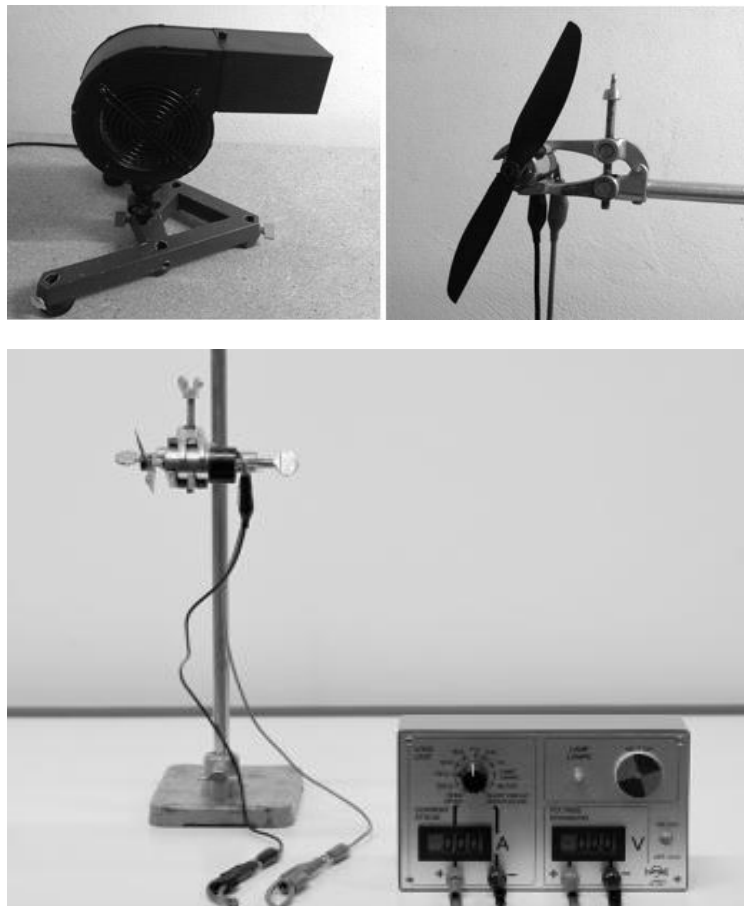


Fig. 1.9: Machine à vent, hélice et connexions au multimètre.

Mettez en marche la machine à vent au niveau 5 et faites les mesures suivantes pour chaque hélice.

La résistance (notée "Load Last" sur le multimètre), peut varier de  $1 \Omega$  à  $200 \Omega$  (sept niveaux).

- **Reportez les valeurs mesurées de tension et de courant dans les Tableaux 1.3.**  
⇒ Feuille de réponses
- **Calculez les puissances électriques correspondantes et reportez-les dans le tableau.**  
⇒ Feuille de réponses

Joker : Si nécessaire, demandez la formule de la puissance électrique à l'assistant. 5 points seront alors déduits.

Attention : Les valeurs ne peuvent pas être strictement constantes - utilisez des valeurs moyennes.

- **Pour chaque valeur de résistances, placez les valeurs de la puissance électrique sur les diagrammes.**  
⇒ feuille de réponses!

## 2. Mesures sur un modèle d'installation PowerToGas

La conversion de l'énergie électrique en gaz est une possibilité de stockage d'énergie. L'eau est décomposée en dihydrogène et en dioxygène par électrolyse et l'énergie électrique est convertie en énergie chimique.

Une pile à combustible permet le processus inverse : le transfert de l'énergie chimique en énergie électrique.

### 2.1. Electrolyse

Examinons le processus d'électrolyse. Quelle est l'énergie électrique nécessaire pour produire une certaine quantité de dihydrogène ? Quel est le rendement de cette installation ?

#### Materiel

- machine à vent
- Génératrice
- Hélice - diamètre de 16 cm (non inversée)
- multimètre (pour mesurer la tension et le courant de l'électrolyseur). Mettre le bouton d'ajustement de la résistance sur Court-circuit (Short circuit)
- Electrolyseur: Remplissez-le avec de l'eau distillée
- Câbles de raccordement
- Chronomètre

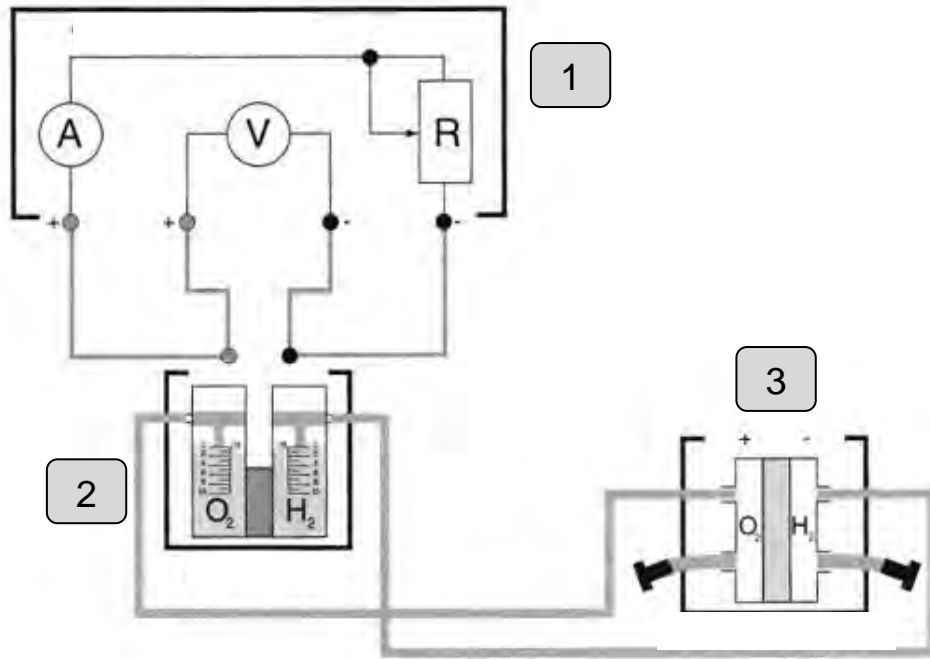


Fig. 2.1: Schéma du circuit : V, A et R font partie du multimètre (1); électrolyseur (2); pile à combustible (3). Les câbles de la génératrice ne sont pas représentés. Ils doivent être connectés aux pôles de l'électrolyseur.

### Protocole

#### Assemblez le modèle conformément à la Fig. 2.1.

La pile à combustible est déjà connectée à l'électrolyseur (tuyaux avec des robinets d'arrêt), elle sera utilisée plus tard (2.2).

Conseil pratique : raccordez d'abord le circuit de la génératrice - électrolyseur - multimètre (pour la mesure du courant). Ensuite, mesurez la tension. Faites attention à la polarité (+ du générateur doit être connecté à + de l'électrolyseur).

**Avant de continuer, le circuit doit être vérifié et validé par un assistant de laboratoire sur la feuille de réponse.**

#### 2.1.1. Mesure de la puissance de l'électrolyseur pour différentes vitesses de vent

La machine à vent doit être montée à 0.2 m (moitié de la distance habituelle!!) en face de l'hélice.

**Mesurez la tension et le courant pour chacun des cinq niveaux de la machine à vent.**

⇒ *Feuille de réponses*

(Il doit fonctionner pendant environ 1 minute, prendre des valeurs moyennes).

**Calculez la puissance de l'électrolyseur.** Reportez les valeurs dans le tableau 2.1.1 ⇒ *Feuille de réponses*



### 2.1.2. Production de dihydrogène

Utilisez le même équipement que précédemment (avec le niveau 5 pour la machine à vent) pour déterminer la valeur de l'énergie électrique nécessaire pour produire 10 mL de dihydrogène gazeux.

#### Protocole :

Faites attention à la colonne de gaz de dihydrogène. Commencez à la valeur zéro (si la valeur est trop élevée, relâchez un peu de gaz). Une fois que la production de gaz commence assurez-vous également de démarrer le chronomètre. Arrêter le chronomètre dès que 10 mL de dihydrogène gazeux ont été recueillis.

**Mesurez la tension et le courant (valeurs moyennes) et le temps nécessaire pour produire 10 mL de dihydrogène.** Reportez les valeurs sur la feuille de réponses.  $\Rightarrow$  Feuille de réponses

**A partir de la puissance et de la durée, calculez l'énergie électrique nécessaire pour produire 10 mL de dihydrogène lors de l'électrolyse.** Reportez les résultats dans le tableau 2.1.2

$\Rightarrow$  Feuille de réponses

**Joker :** Si nécessaire, demandez la formule de l'énergie électrique à l'assistant. 1 point sera alors déduit.

### 2.1.3. Rendement de l'électrolyse

L'énergie thermique produite par la combustion du dihydrogène est de  $10.7 \text{ MJ/m}^3$  pour ces conditions expérimentales.

**Calculez le rendement de l'électrolyseur en comparant les résultats de 2.1.2 et 2.1.3 !**

Reportez les résultats

$\Rightarrow$  Feuille de réponses

### 2.2. Pile à combustible

Une pile à combustible produit de l'énergie électrique à partir de l'énergie chimique (dihydrogène).

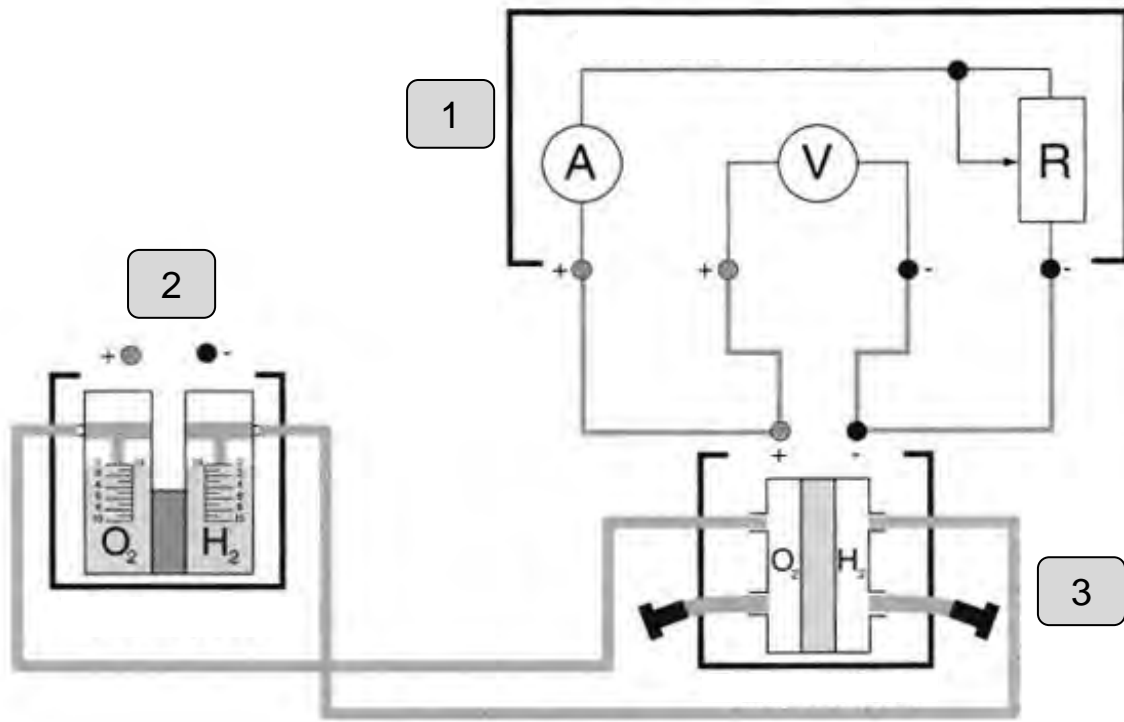
#### Matériel:

- Electrolyseur avec des tuyaux et la vanne d'arrêt
- pile à combustible
- Multimètre
- Câbles

#### Protocole

Il devrait toujours y avoir 10 mL de dihydrogène gazeux et au moins 5 mL de dioxygène gazeux dans l'électrolyseur de l'expérience précédente. Si non, vous devrez utiliser le système machine à vent-hélice-génératrice pour produire la quantité nécessaire de gaz.

Fig. 2.2 : Schéma du circuit : V, A et R font parties du multimètre (1); électrolyseur (2); pile à combustible (3). Le multimètre doit maintenant être raccordé à la pile à combustible. Réalisez un circuit avec la pile à combustible, une résistance de 3 ohms et la position ampèremètre du multimètre (Fig. 2.2).



### 2.2.1. Energie électrique produite par la pile à combustible

**Déterminez la durée nécessaire pour transformer 10 mL de dihydrogène en énergie électrique. A l'aide des valeurs de tension, de courant et de la durée, calculez l'énergie électrique.**

Reportez les valeurs

⇒ Feuille de réponses

### 2.2.2. Rendement de la pile à combustible

**Déterminez le rendement de la pile à combustible en comparant l'énergie thermique produite par la combustion de 10 mL de dihydrogène (voir 2.1.3.) et l'énergie électrique produite par la pile.**

⇒ Feuille de réponses

## 3. Comparaison entre deux installations

Les calculs suivants devraient nous permettre de savoir laquelle de ces installations : installation de pompage ou installation type PowerToGas, est la mieux adaptée pour stocker l'énergie électrique. L'énergie produite par une centrale éolienne peut-elle être stockée par les deux installations ? Laquelle a le meilleur rendement ?

### 3.1. Puissance d'une centrale éolienne

La puissance électrique d'une éolienne peut se calculer à l'aide de la vitesse  $v$  du vent par la formule suivante :

$$P = c_{\text{Betz}} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^3 \cdot A$$

$P$  : puissance électrique en Watt

$c_{\text{Betz}}$ : coefficient de puissance, pour les équipements modernes :  $c_{\text{Betz}} \approx 0,5$

$\rho$ : masse volumique de l'air ( $\rho = 1,19 \text{ kg / m}^3$ ) à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$v$ : vitesse du vent (m/s)

$A$ : Aire (cercle) de la partie couverte par les hélices en rotation ( $\text{m}^2$ )

La centrale éolienne est composée de 10 éoliennes avec des hélices dont chaque pale fait 35 m de longueur.

**3.1.1. Calculez la puissance d'une centrale éolienne en supposant une vitesse de vent de 40 km/h.**

Donnez le résultat en Megawatt (MW).

⇒ Feuille de réponses

**3.1.2. Calculez l'énergie produite en une journée (MWh) dans ces conditions.**

⇒ Feuille de réponses

### 3.2. Puissance de l'installation de stockage avec pompage

L'installation consiste en un stockage d'eau dans un bassin situé à une hauteur de 250 m et dont le remplissage est effectué au moyen de pompes. Le projet de construction a une hauteur de chute d'eau de 250 m. Le débit maximal est de  $50 \text{ m}^3$  par seconde. La puissance peut être calculée à partir de l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau.

Le rendement de cette installation est de 60%.

#### 3.2.1. Puissance de l'installation

**L'énergie potentielle de l'eau est rapportée à une durée de 1 seconde.**

**Calculez la puissance électrique fournie par cette installation de stockage avec pompage?**

⇒ Feuille de réponses

**Joker :** Si nécessaire, demandez la formule de l'énergie potentielle à l'assistant. 1 point sera alors déduit.

#### 3.2.2. Energie du dispositif

**Calculez la quantité d'eau qui peut être pompée chaque jour lorsque la puissance de l'énergie de l'éolienne est maximale**

⇒ Feuille de réponses

#### 3.2.3. Rendement total

Si l'eau est libérée et s'écoule à travers une turbine, le rendement de l'énergie électrique générée est de 80%.

**Calculez le rendement total de l'installation de stockage**

⇒ Feuille de réponses

Conseil utile : pour le calcul du rendement total, les deux rendements (pompage de l'eau et le écoulement à travers la turbine), doivent être pris en compte.

### 3.3. Dimensions et rendement de l'installation PowerToGas

#### 3.3.1. Electrolyse

L'installation peut produire du dihydrogène à partir de l'énergie électrique avec un rendement de 70%.

**Calculez la quantité de dihydrogène produite par heure si la puissance du vent est maximale**

⇒ Feuille de réponses

Conseil utile : utilisez les résultats du 3.1 et du 2.1.2.

#### 3.3.2. Rendement total de l'installation PowerToGas

Une pile à combustible a un rendement de 50 %.

**Calculez le rendement total de l'ensemble électrolyse-pile à combustible.**

⇒ Feuille de réponses

### 3.4. Comparaison des deux installations

Vous devez comparer les deux installations en tenant compte des contraintes suivantes :

- i. La capacité maximale du réservoir supérieur de l'installation de pompage est de 80 millions de  $m^3$ .
- ii. Le stockage de gaz produit par l'électrolyse correspond à une production maximale de 2000  $m^3$  de dihydrogène par heure.

**Laquelle de ces deux installations choisiriez-vous ?**

Reportez les résultats et votre décision dans le tableau 3.4!

⇒ Feuille de réponses

## Tâche D

Recommandation de l'équipe scientifique pour la construction de l'usine électrique à Klein Virtulien

1. Résumez vos résultats en tant qu'équipe dans le tableau "découvertes" afin de vous aider à formuler une proposition commune dans le tableau "Recommandation"!

⇒ *feuille réponse*

2. Indiquez les recommandations de votre team dans le tableau "Recommandation"!

⇒ *feuille réponse*

## Tâche E

Faits à propos de ...

Évaluez les affirmations du tableau "Faits à propos de ...."!

⇒ *feuille réponse*