

Une vidéo de présentation : Le Grand Éléphant – Les Machines de l'Île

<https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=vZNrlnhoRTs>

Le Grand Éléphant des Machines de l'Île est un système complexe. Depuis sa création en 1999 il a connu plusieurs évolutions.

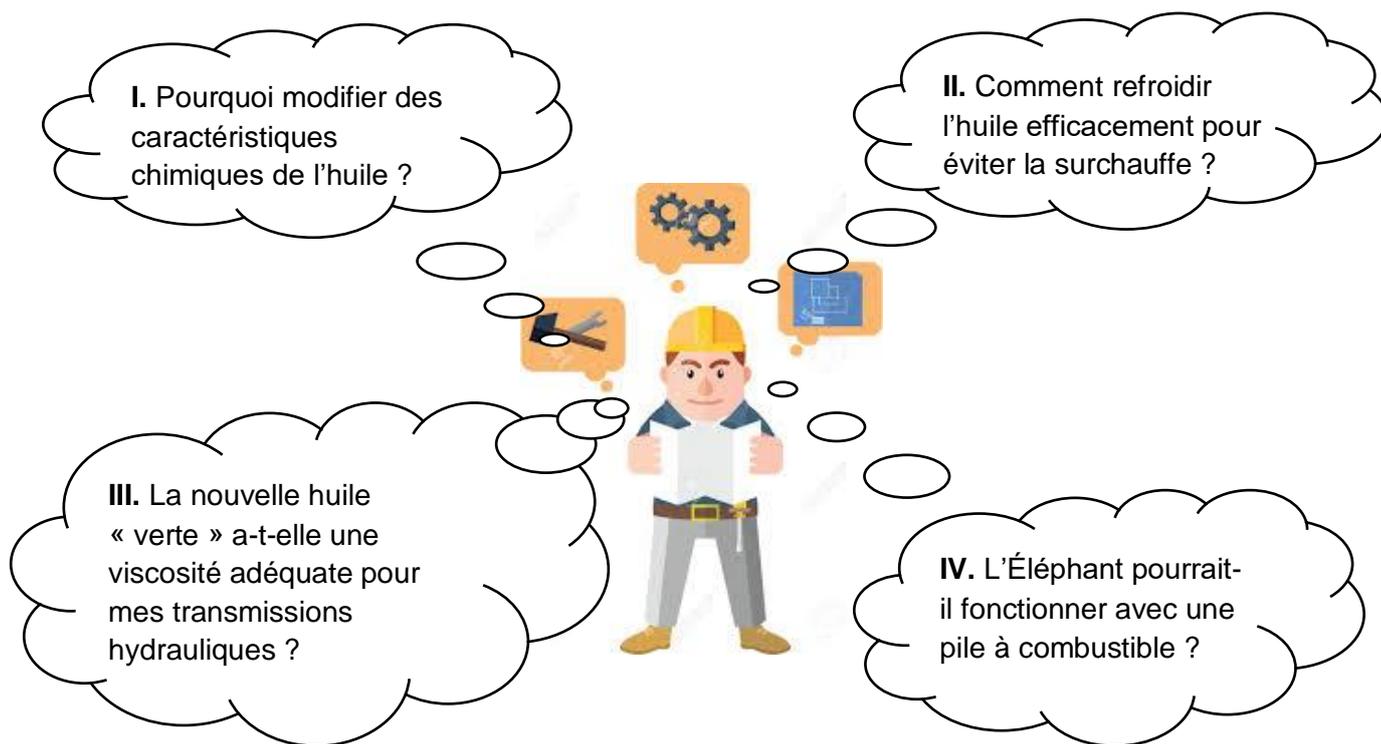
Les moteurs dont il est équipé servent d'une part à sa propulsion à la vitesse de 1 km/h et d'autre part à animer ses membres (pieds, trompe, queue, oreilles, yeux...). À l'origine, un moteur diesel de 420 cv l'équipait. Ce moteur polluant ne possédait même pas de filtre et toutes les transmissions étaient assurées par des pompes hydrauliques.

Pour rendre l'Éléphant moins polluant et moins énergivore, deux axes d'évolution ont été envisagés :

- Vidange complète de l'Éléphant et changement du fluide hydraulique au profit d'une huile plus conforme aux normes environnementales,
- Changement de la source d'énergie nécessaire aux mouvements de la machine

Au cours de vos expérimentations, vous étudierez l'huile hydraulique, élément fondamental au fonctionnement de l'Éléphant. C'est un lubrifiant servant notamment au fonctionnement des transmissions hydrauliques qui permettent l'animation de l'animal. Toutes les huiles n'ont pas les mêmes propriétés (**document 1**). Les concepteurs de l'Éléphant se sont tournés vers le fabricant d'huile Panolin, qui leur assure que leur nouveau produit les satisfera. À vous de le vérifier !

Par ailleurs, il a été envisagé de l'équiper de moteurs alimentés par une pile à combustible, convertissant l'énergie chimique du dihydrogène et du dioxygène en énergie électrique. Vous étudierez quelques-unes des contraintes liées à ce type d'alimentation.



Nous tenons à remercier particulièrement les personnes suivantes qui nous ont aidés dans l'élaboration de cette épreuve expérimentale, en nous consacrant un peu de leur temps et en nous apportant leur expertise.

M. **Bertrand BIDET**, responsable technique au sein de la compagnie *La Machine*



M. **Bertrand DEKEUWER**, Responsable Coordination Maintenance, *Les Machines de l'Île*



M. **Patrick LELOUTRE**, support technique de la société *Panolin*



Les **techniciens** et **adjoints techniques de laboratoire** du lycée Clemenceau.

DOCUMENTS

Les documents suivants pourront servir pour traiter les différentes parties.

Document 1. Qu'est-ce qu'un fluide hydraulique ?

Les principales **missions d'un fluide hydraulique** sont les suivantes :

- Transmission de la puissance hydraulique de la pompe jusqu'aux différents récepteurs,
- Graissage de toutes les pièces en mouvement,
- Protection contre la corrosion des surfaces métalliques,
- Dissipation de la chaleur provoquée par les frottements.

Un fluide hydraulique est généralement un mélange composé d'une **base** (huile formée de molécules organiques) et d'autres molécules constituant des **additifs** destinés à adapter le lubrifiant au milieu dans lequel il va évoluer (anti-usure, antimousse, antioxydant, inhibiteur de corrosion...).

Il existe trois grands types **d'huiles de base** :

- *les huiles minérales* issues de la distillation du pétrole. Pour la production d'huile minérale, on extrait du pétrole certaines catégories de molécules. Mais le procédé n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (par exemple : paraffines, solvants légers...).
- *les huiles de synthèse* (dont les molécules de base sont issues de réactions chimiques comme l'estérification). On fabrique donc les molécules dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur.
- *les huiles végétales* issues de l'agriculture.

Document 2. Caractéristiques de trois huiles

	Huile minérale	Huile de l'Éléphant HLP SYNTH	Huile de colza
coût approximatif (euros/L)	2	10	1
miscibilité à l'eau	non	non	non
miscibilité au cyclohexane	oui	oui	oui
Biodégradabilité* selon OECD 301 B	≈ 20 %	71 à 78 %	100 %

* la biodégradabilité ultime correspond à une dégradation complète d'un composé organique par les micro-organismes conduisant à la production de CO₂, d'eau, de sels minéraux...
Les résultats sont exprimés en % d'élimination à une échéance de 28 jours.

Document 3. Propriétés physico-chimiques des fluides hydrauliques

La qualité d'un fluide hydraulique dépend de nombreux facteurs dont :

- sa viscosité
- sa résistance à l'oxydation

Certaines huiles possèdent dans leur chaîne carbonée des **doubles liaisons** ; on dit qu'elles sont insaturées. Cela accroît leur viscosité mais de telles molécules donnent lieu à des réactions d'addition. La double liaison diminue considérablement la **stabilité de la molécule face à l'oxydation** . Cette susceptibilité à l'oxydation par l'air de ces huiles insaturées limite leur utilisation en l'état comme fluide hydraulique.

- son acidité

Le fluide hydraulique ne doit pas attaquer les métaux usuels du circuit (acier, cuivre...). La corrosion des métaux résulte généralement de la présence d'acides dans l'huile. Certains fluides peuvent présenter au départ un indice d'acide non négligeable lié à la présence d'additifs. L'acidité résulte aussi de la détérioration du fluide en service, conséquence d'une série complexe de réactions d'oxydation.

- Sa biodégradabilité

Pour réduire l'impact de la dispersion des fluides dans l'environnement, des normes sont aujourd'hui imposées.

Document 4. Étiquettes du réactif de Wijs



	RÉACTIF DE WIJS	
Composition / Caractéristiques I-Cl à 0,1 mol·L⁻¹ dans l'acide éthanoïque pur		
Phrases de risques : R10 Inflammable. R35 Provoque de graves brûlures		
Conseils de prudence : S23 Ne pas respirer les vapeurs. S26 En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste. S36/37/39 Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux / du visage.		

Document 5. Couleurs des solutions d'ions iodure et de diiode

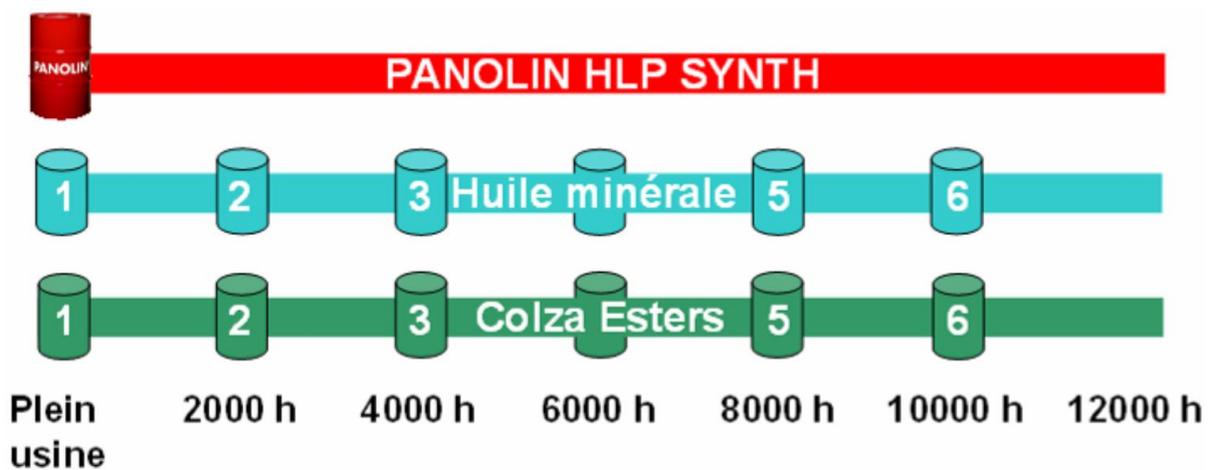
I^- en phase aqueuse	incolore
I_2 en phase aqueuse	jaune - orange – marron selon la concentration
I_2 en phase aqueuse en présence d'empois d'amidon	bleu - gris
I_2 en phase organique	rose

Document 6. Caractéristiques de deux indicateurs colorés acido-basiques

indicateur	phénolphtaléine, solution à 1% dans l'éthanol	rouge de crésol, solution à 0,1% dans l'éthanol
pictogrammes		
mentions de danger	H225 Liquide et vapeurs très inflammables H319 Provoque une sévère irritation des yeux H341 Susceptible d'induire des anomalies génétiques H350 Peut provoquer le cancer	H225 Liquide et vapeurs très inflammables

indicateur	Zone de virage	pK _A	Forme acide	Forme basique
phénolphtaléine	8,2 – 10,0	9,4	incolore	rose
Rouge de crésol	7,2 – 8,8	8,3	jaune	violet

Document 7. Comparaison des intervalles de vidanges selon le fluide

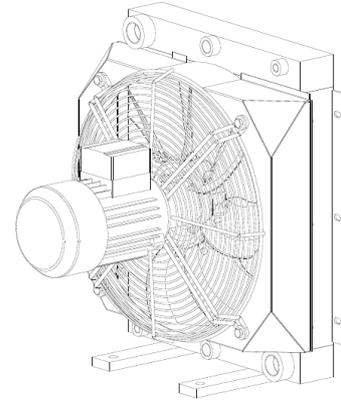


Source : entreprise Panolin

Document 8. Refroidisseur huile/air OAC

Caractéristiques du produit

- Échangeur hautes performances en aluminium pour pression statique maximum de 26 bar
- Utilisable avec huile hydraulique, huile de réducteur, huile de lubrification, huile moteur et eau glycolée



Refroidisseur air/huile : Type OAC200 à OAC2000

Détermination de la puissance thermique P à dissiper dans le refroidisseur :

$P = c_{\text{huile}} \rho_{\text{huile}} D_v (T_e - T_s)$ elle s'exprime en W

T_s est la température de l'huile hydraulique à la sortie du refroidisseur en K

T_e est la température de l'huile hydraulique à l'entrée du refroidisseur en K

D_v est le débit volumique de l'huile hydraulique circulant dans l'Éléphant en $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$

ρ_{huile} est la masse volumique de l'huile hydraulique en $\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$

c_{huile} est la capacité thermique massique de l'huile hydraulique en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Puissance spécifique P_s de refroidissement :

La puissance spécifique de refroidissement est définie ainsi :

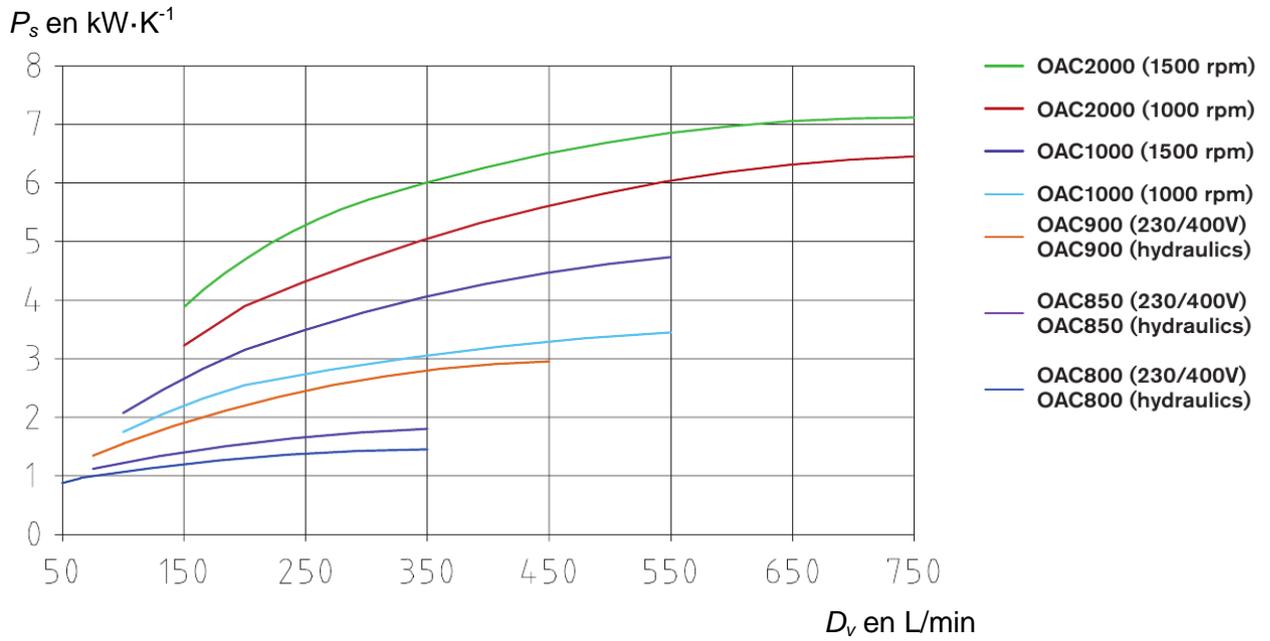
$$P_s = \frac{P}{T_e - T_{\text{air}}}, \text{ elle s'exprime en } \text{W}\cdot\text{K}^{-1}.$$

T_e est la température de l'huile à l'entrée du refroidisseur

T_{air} est la température de l'air

Performances de différents modèles

La puissance spécifique P_s (exprimée ici en $\text{kW}\cdot\text{K}^{-1}$) est représentée en fonction du débit volumique de l'huile hydraulique (exprimé en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)



Document 9. Les viscosimètres à chute de bille

D'après Techniques de l'Ingénieur

Une sphère (bille) se déplace sous l'action de la pesanteur dans un tube en verre qui contient le fluide à expérimenter. La bille atteint rapidement une vitesse limite ce qui permet de calculer la viscosité du liquide. On mesure le temps nécessaire à la bille pour parcourir la distance entre deux traits gravés sur le tube en verre.

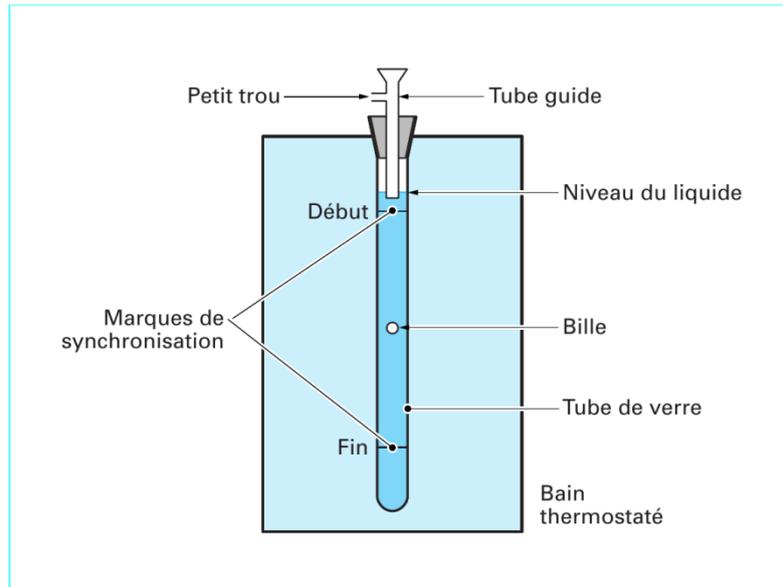


Figure 5 – Représentation schématique d'un viscosimètre à chute de bille [9]

Pour les fluides newtoniens, la viscosité cinématique est calculée par la formule suivante :

$$v_c = \frac{2 \cdot R^2 \cdot (\rho_{bille} - \rho_{huile}) \cdot g \cdot k}{9 \cdot \rho_{huile} \cdot v_{lim}}$$

v_c est la viscosité cinématique en $m^2 \cdot s^{-1}$

R est le rayon de la bille en m

ρ_{huile} est la masse volumique de l'huile hydraulique en $kg \cdot L^{-1}$

ρ_{bille} est la masse volumique de la bille en $kg \cdot L^{-1}$

g est l'accélération de la pesanteur en $m \cdot s^{-2}$. On prendra $g = 9,81 m \cdot s^{-2}$

k est un facteur de correction du viscosimètre (sans dimension)

v_{lim} est la vitesse limite de déplacement (de chute) du corps en $m \cdot s^{-1}$.

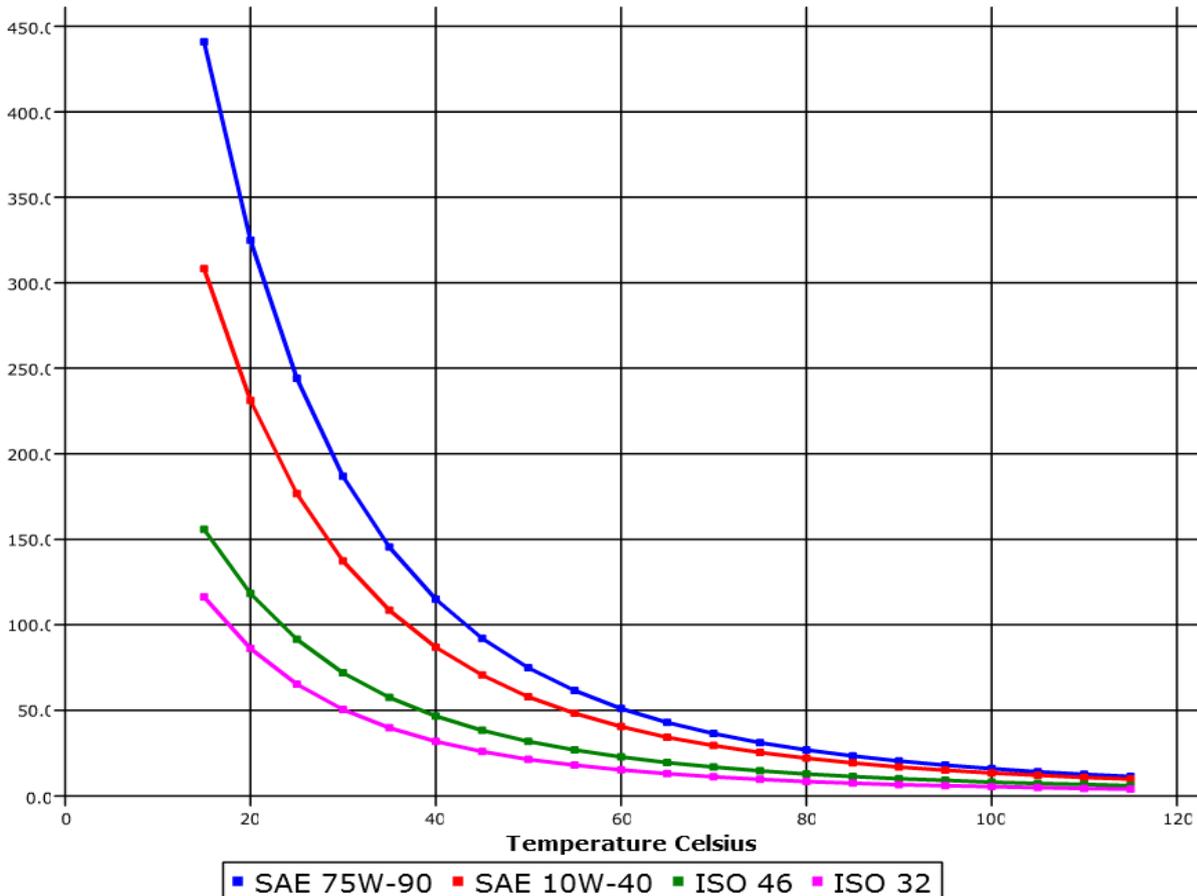
Le facteur de correction k s'exprime comme suit : $k = 1 - 2,104 \left(\frac{d}{D} \right) + 2,09 \left(\frac{d}{D} \right)^3$

avec d le diamètre de la bille en m et D le diamètre interne du tube en verre en m.

Document 10. Viscosité en fonction de la température pour différentes huiles

source : <https://www.widman.biz/English/Calculators/Graph.html>

viscosité (en $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)



Document 11. Extrait du catalogue des huiles PANOLIN

SUPER DUTY SYNTH MB (SAE 75W-90)

Huile haute performance pour engrenages, entièrement synthétique, pour boîtes de vitesses, spécialement conçue pour la série Actros de Mercedes-Benz.

ECOMOT (SAE 10W-40)

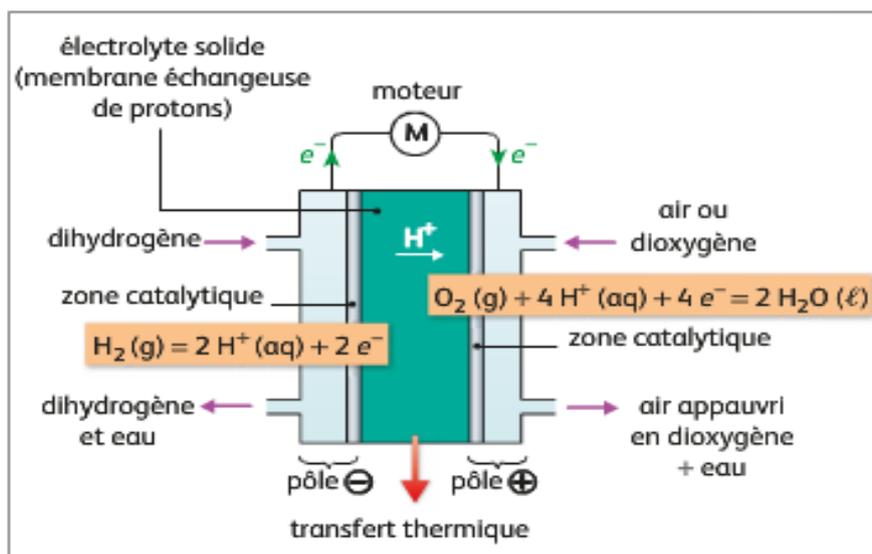
Huile moteur synthétique lowSAPS pour moteurs diesel modernes et respectueux de l'environnement, y compris les moteurs EURO 6.

HLP SYNTH (ISO 46)

Liquide hydraulique entièrement synthétique, respectueux de l'environnement, à base d'ester saturé. Application : huile hydraulique dans des engins de chantier et machines industrielles.

ORCON® COMP LV (ISO 32)

Lubrifiant H1 pour compresseurs, entièrement synthétique, extrêmement performant et ayant une très faible perte par évaporation. Application : compresseurs à pistons, à vis, rotatifs et à vide.

Document 12. Fonctionnement d'une pile à combustible

2 Schéma d'une pile à combustible hydrogène-oxygène.

Le compartiment de gauche est alimenté en continu en dihydrogène, et celui de droite en dioxygène, provenant le plus souvent de l'air. Ces deux compartiments, constituant les demi-piles, sont séparés par un électrolyte (ou une membrane échangeuse de protons) qui laisse passer les ions hydrogène $H^+_{(aq)}$ mais bloque le passage des électrons.

De manière simplifiée, au pôle $-$, les molécules de dihydrogène sont oxydées selon la demi-équation rédox : $H_2(g) = 2 H^+_{(aq)} + 2 e^-$, libérant ainsi des électrons.

Cette réaction a lieu en présence d'un catalyseur dans une zone appelée zone catalytique, permettant par exemple la rencontre des électrons, des ions hydrogène et du dioxygène du côté du pôle $+$.

Document 13. Stockage de l'hydrogène

Plusieurs possibilités existent, qui présentent avantages et inconvénients. Sous forme de gaz, le dihydrogène est peu dense et doit être fortement comprimé.

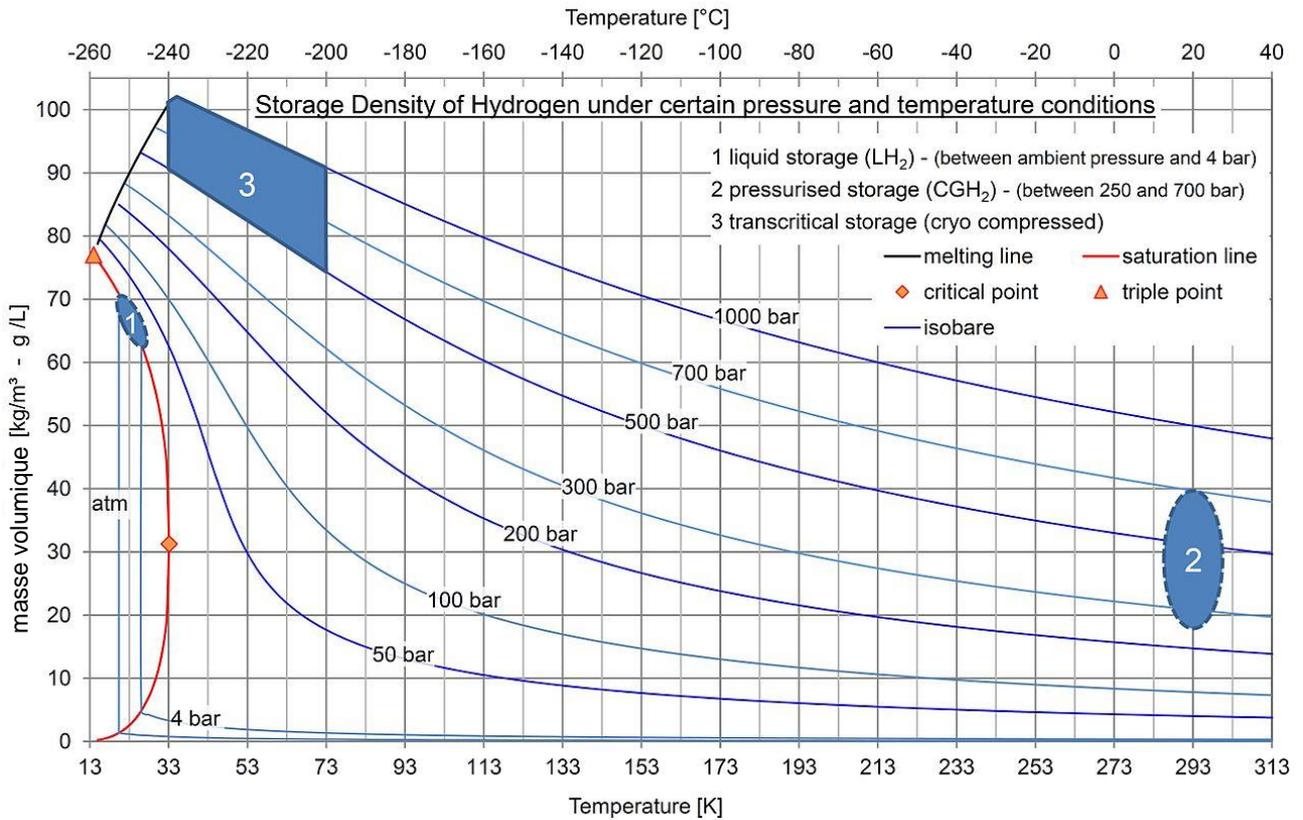
Le stockage haute et très haute pressions vise plutôt des applications mobiles pour lesquelles la réserve d'énergie doit être importante et compacte.

Le seul moyen de diminuer le volume d'un gaz à température constante est d'en augmenter la pression dans le réservoir. Les technologies actuelles permettent d'atteindre une pression de 350 bars. À cette pression l'hydrogène possède une masse volumique de $24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, soit un gain d'un facteur 300 environ par rapport à sa masse volumique à pression et température ambiantes.

Différents standards existent actuellement :

- 350 bar ou 35 MPa pour tous véhicules: voitures particulières, bus, engins et camions pour tous les territoires
- 500 ou 550 bar pour des engins et camions pour l'Amérique du Nord
- 700 bars ou 70 MPa pour les voitures particulières

Document 14. Masse volumique du dihydrogène en fonction de la température et pour différentes pressions



Document 15. Honda Clarity



Châssis de la Honda Clarity, un véhicule alimenté en hydrogène, pour produire l'énergie électrique nécessaire à son moteur, grâce à une pile à combustible. Chacun des réservoirs stocke quelques kg d'hydrogène gazeux à 350 bars.

I. Pourquoi modifier les caractéristiques chimiques de l'huile hydraulique ?

Lors de sa rénovation pendant l'hiver 2018, l'Éléphant est passé d'une huile minérale à une huile de synthèse.

Le but de cette partie est de comparer quelques caractéristiques chimiques de trois huiles (huile de colza, huile minérale et huile de synthèse utilisée dans l'Éléphant) pour commenter ce changement, à l'aide de deux dosages et de documents.

Q1. D'après le **document 2**, justifier que l'huile de colza paraît *a priori* préférable pour l'Éléphant.

A. Mesure de l'indice d'iode

D'après le **document 3**, le nombre de doubles liaisons dans les molécules de l'huile est un paramètre important.

L'indice d'iode i_I exprime le **degré d'insaturation (lié au nombre de doubles liaisons)** d'une substance : c'est la masse de diiode, exprimée en milligramme, qui se fixe lors d'une réaction d'addition sur 100 g de cette substance.

	Huile minérale	Huile de l'Éléphant	Huile de colza
indice d'iode i_I (mg de $I_2/100$ g d'huile)	6	0	

Le titrage suivant permet d'obtenir la valeur de cet indice pour l'huile de colza.

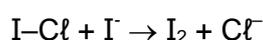
a. Démarche

Le principe est le suivant :

- On fait réagir une quantité connue d'huile avec un excès de réactif de Wijs. Celui-ci est constitué de chlorure d'iode (I-Cl) en solution dans l'acide éthanoïque anhydre. Il se fixe sur toutes les doubles liaisons comme le ferait I_2 mais de façon plus rapide selon :



- Après réaction complète, on ajoute un excès d'une solution d'iodure de potassium ($K^+ + I^-$). Le chlorure d'iode qui n'a pas réagi par la précédente réaction transforme les ions iodure I^- introduits en diiode I_2 selon la réaction :



- Le diiode formé est alors titré par une solution de thiosulfate de sodium ($2 Na^+ + S_2O_3^{2-}$). Les couples oxydant/réducteur de la réaction de titrage sont : I_2 / I^- et $S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$.

b. Matériel et produits à disposition

Produits chimiques :

- huile de colza
- solution d'iodure de potassium de concentration massique $100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- solution de thiosulfate de sodium de concentration molaire $C_{\text{thio}} = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- empois d'amidon
- eau distillée

Sous la hotte :

- cyclohexane, hexène
- réactif de Wijs ; solution de chlorure d'iode de concentration molaire $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ dans l'acide éthanoïque.

Matériel

- 2 erlenmeyers de 250 mL + bouchons
- 1 pipette jaugée de 10 mL + propipette
- 1 pipette ordinaire en plastique
- 1 burette graduée de 25 mL
- 2 béchers de 100 mL
- 2 éprouvettes graduées de 25 mL
- 1 éprouvette graduée de 100 mL
- agitateur magnétique + gros barreau aimanté
- un chronomètre
- balance à 0,001 g

Q2. La masse d'huile analysée sera notée m_H . Parmi les solvants suivants : eau, cyclohexane, hexène, lequel ajouteriez-vous à cette huile pour pouvoir réaliser le protocole précédent ? Justifiez ce choix. On pourra utiliser le **document 2**.

☞ *Faire valider par l'examineur.*

Q3. D'après l'étiquette du réactif de Wijs (**document 4**), quelles précautions doit-on prendre pour le manipuler ?

☞ *Faire valider ces précautions avant de réaliser les manipulations suivantes.*

c. Manipulations : Préparation des deux échantillons

On utilise un échantillon témoin contenant le réactif de Wijs sans huile afin d'obtenir précisément la quantité de chlorure d'iode introduit initialement.

Échantillon d'huile E_H à analyser :

Sur la balance, tarer un erlenmeyer sec de 250 mL puis introduire, à l'aide d'une pipette ordinaire, 6 à 7 gouttes d'huile. On notera la masse correspondante m_H .

Puis ajouter dans l'ordre :

- 25 mL du solvant choisi ;
- 10,00 mL de réactif de Wijs prélevé sous la hotte.

Boucher l'erlenmeyer, l'agiter manuellement et le placer à l'obscurité dans le placard sous la paillasse, pendant 30 minutes **environ**.

Échantillon témoin E_T :

Dans un erlenmeyer sec de 250 mL, introduire dans l'ordre :

- 25 mL du solvant choisi ;
- 10,00 mL de réactif de Wijs.

Boucher l'erlenmeyer, l'agiter manuellement et le placer à l'obscurité pendant 30 minutes **environ**.

- Q4.** Écrire la réaction de titrage du diiode par l'ion thiosulfate S₂O₃²⁻.
- Q5.** Ce titrage aura lieu sous forte agitation. Expliquer pourquoi.
- Q6.** Prévoir le changement de couleur permettant de repérer l'équivalence (on pourra s'aider du **document 5**).
- Q7.** En fait, on ajoutera un peu avant l'équivalence quelques gouttes d'empois d'amidon. Prévoir le nouveau changement de couleur et expliquer l'intérêt de cet ajout.

☞ *Faire valider la réponse.*

On pourra passer à la partie **B.** en attendant la fin des 30 min.

d. Manipulations : Traitement des deux échantillons

Dans chacun des deux échantillons, ajouter, sous la hotte :

- 100 mL d'eau distillée,
- 15 mL de la solution d'iodure de potassium.

Agiter et remettre les erlenmeyers quelques minutes à l'obscurité. On préparera la burette pendant ce temps.

Titrer chaque échantillon par la solution de thiosulfate de sodium en agitant vigoureusement ; ajouter l'empois d'amidon **en fin de titrage** pour repérer l'équivalence.

- Q8.** Noter les volumes équivalents V_{E,T} et V_{E,H} versés pour chaque échantillon.

☞ *Faire valider la lecture des volumes équivalents.*

e. Exploitation des résultats expérimentaux

On montre que l'indice d'iode i_I, exprimée en milligramme de diiode qui se fixe lors d'une réaction d'addition sur 100 g d'huile se calcule par :

$$i_I = \frac{100}{m_H} \times M(I_2) \times \frac{C_{thio}}{2} \times (V_{E,T} - V_{E,H})$$

avec V_{E,T} et V_{E,H} en L, m_H en g, M(I₂) = 253,8 g·mol⁻¹ et C_{thio} en mol·L⁻¹.

- Q9.** Calculer l'indice d'iode de l'huile de colza.
- Q10.** Conclure en utilisant cette partie et les **documents 3 et 7**.

B. Mesure de l'indice d'acidité

D'après le **document 3**, l'acidité de l'huile doit être contrôlée régulièrement.

L'indice d'acide noté i_A , d'une huile, est défini comme la masse d'hydroxyde de potassium KOH, exprimée en mg, nécessaire au titrage de tous les acides libres notés AH contenus dans 1,0 g de cette huile.

	Huile minérale	Huile de l'Éléphant	Huile de colza
indice d'acide i_A (mg de KOH/g d'huile)	0,87		0,35

Masses molaires atomiques en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: O : 16,00 K : 39,10 H : 1,01.

Le titrage suivant permet d'obtenir la valeur de cet indice pour l'huile utilisée actuellement dans l'Éléphant.

a. Matériel et produits à disposition

Produits chimiques

- huile de synthèse de l'Éléphant
- solution d'hydroxyde de potassium à $C_{\text{HO}^-} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, dans l'éthanol
- phénolphtaléine
- rouge de crésol

Sous la hotte :

- propan-2-ol

Matériel

- 1 erlenmeyer de 100 mL + bouchon
- 1 éprouvette graduée de 25 mL
- 2 béchers de 100 mL
- 1 pipette ordinaire en plastique
- 1 tube à essai + bouchon
- 1 burette de 25 mL
- balance à 0,01 g
- 1 agitateur magnétique et petit barreau aimanté

Q11. Sachant que l'ordre de grandeur de l'indice d'acide i_A de l'huile de l'Éléphant est de 1 mg KOH/g, réfléchir à un mode opératoire permettant de déterminer assez précisément par un titrage cet indice d'acidité, en utilisant le matériel précédent et le **document 6**.

Avant titrage, on ajoutera 20 mL de propan-2-ol à l'huile afin d'obtenir une émulsion sous agitation (dispersion de l'huile dans le solvant).

Présenter ce protocole sous forme d'un schéma annoté.

☞ *Faire vérifier le protocole avant de le mettre en place.*

Q12. Dans un tube à essai, verser environ 2 mL (environ 2 cm de haut dans le tube) de solution titrante, 2 mL de propan-2-ol et quelques gouttes d'indicateur coloré précédemment choisi. Ce tube permettra de repérer le changement de couleur attendu à l'équivalence.

Réaliser le titrage. On pourra noter l'incertitude expérimentale ΔV_{IC} correspondant à la détermination de la couleur attendue de l'indicateur coloré.

☞ *Faire valider la lecture du volume équivalent.*

b. Résultats expérimentaux

Q13. En déduire la valeur de l'indice d'acide pour l'huile de l'Éléphant. Conclure.

Q14. L'incertitude sur cet indice Δi_A fait intervenir trois termes, ΔC , incertitude sur la concentration en hydroxyde de potassium, Δm_H , incertitude sur la masse d'huile et ΔV_E , incertitude sur le volume équivalent.

$$\frac{\Delta i_A}{i_A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_H}{m_H}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_E}{V_E}\right)^2}$$

On négligera l'incertitude relative sur la concentration de la solution fournie $\frac{\Delta C}{C}$ devant les deux autres termes. On souhaite comparer les deux termes $\frac{\Delta m_H}{m_H}$ et $\frac{\Delta V_E}{V_E}$ entre eux.

La balance utilisée a une précision d'affichage de 0,01 g et on prendra $\Delta m_H = \frac{0,01}{\sqrt{3}}$ (en g).

L'incertitude ΔV_E sur V_E provient :

- de l'incertitude de lecture liée au volume de la plus petite graduation v_{grad} , estimée à $\Delta V_{lecture} = \frac{1}{2} \frac{v_{grad}}{\sqrt{3}}$ (en mL),
- de l'incertitude expérimentale sur le volume délivré par la burette, précisée par le constructeur sous la forme $(\pm p)$ estimée à $\Delta V_{burette} = \frac{p}{\sqrt{3}}$ (en mL),
- de l'incertitude expérimentale sur le changement de couleur de l'indicateur coloré ΔV_{IC} (en mL).

Soit : $\Delta V_E = \sqrt{(\Delta V_{lecture})^2 + (\Delta V_{burette})^2 + (\Delta V_{IC})^2}$

Calculer $\frac{\Delta m_H}{m_H}$ et $\frac{\Delta V_E}{V_E}$. Comparer ces deux termes et conclure. Donner l'indice d'acidité de l'huile de l'Éléphant avec son incertitude.

C. Conclusion

Q15. À partir des **documents 1, 2, 3 et 7** précédents et des résultats expérimentaux, commenter le changement de fluide hydraulique pendant l'hiver 2018 ; est-ce cohérent avec le titre « Le Grand Éléphant se met au vert » ?

II. Comment refroidir l'huile efficacement pour éviter la surchauffe ?

Le lubrifiant hydraulique (huile) permet de réduire les frottements entre les éléments mécaniques de la machine. Ce fluide permet aussi d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ces frottements. Il entre dans le circuit hydraulique avec une température de 40°C et en ressort à une température de 65 °C.

Avant d'être réinjectée dans la machine pour un nouveau passage, l'huile doit être refroidie. Elle traverse pour cela un circuit refroidisseur air/huile que l'on se propose de dimensionner.

Pour cela il est nécessaire de déterminer la capacité thermique massique de l'huile notée par la suite c_{huile} .

a. Principe de la mesure de la capacité thermique massique c d'un liquide par la méthode électrique

La capacité thermique massique de l'huile est reliée à son élévation de température par la relation suivante :

$$Q = (m_{\text{huile}} c_{\text{huile}} + C_{\text{calo}}) \times (T_f - T_i)$$

Q est la quantité de chaleur reçue (en J) par la masse m_{huile}

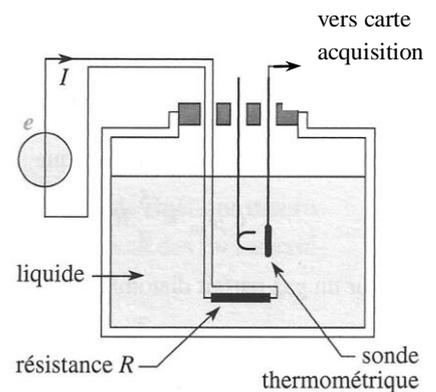
$(T_f - T_i)$ est la variation de température de l'huile en K

C_{calo} est la capacité thermique du calorimètre ($C_{\text{calo}} = 74 \text{ J.K}^{-1}$)

La méthode électrique consiste à chauffer la masse m_{huile} pesée et placée dans un calorimètre, grâce à une résistance électrique.

L'énergie reçue sous forme de chaleur est mesurée à l'aide d'un joule-mètre (non représenté sur le schéma), l'élévation de température est mesurée grâce à une sonde de température.

On considèrera que l'énergie électrique W_e fournie par le générateur est égale à la quantité de chaleur Q reçue par le système.



Source : HPrépa Thermodynamique Hachette

b. Manipulation

- Dans le calorimètre, introduire une masse m_{huile} connue d'huile (environ 150 mL).
- Réaliser le circuit électrique, régler le générateur de façon à ce que l'intensité du courant soit environ 2 A. Éteindre le générateur.

Q16. Insérer le joule-mètre (voir notice).

☞ *Faire valider le montage.*

Q17. Dans le logiciel Latis Pro (voir la notice), régler les paramètres d'acquisition. La durée totale est imposée : 12 min.

☞ *Faire valider le choix des paramètres.*

- Devant l'évaluateur, commencer la mesure. Ne pas oublier d'agiter l'huile pour l'homogénéiser.
- Au bout de $\Delta t = 6$ min, arrêter le générateur.

c. Exploitation

Q18. Exploiter la variation de température pour en déduire la valeur de la capacité thermique massique de l'huile.

☞ *Faire valider la valeur calculée.*

d. Dimensionnement du refroidisseur air/huile de l'Éléphant

La capacité thermique massique de l'huile étant maintenant connue il est possible de choisir le refroidisseur adapté répondant au cahier des charges.

Les contraintes sont les suivantes :

- à la sortie du circuit hydraulique l'huile est à la température de 65°C.
- l'huile doit être refroidie pour entrer de nouveau dans le circuit hydraulique à la température de 40°C.
- le débit d'huile dans le circuit est de 210 L·min⁻¹ soit 3,5 L·s⁻¹
- la masse volumique de l'huile est 0,918 kg·L⁻¹
- la température de l'air : 20 °C

Q19. En vous aidant des données du **document 8**, déterminer la puissance thermique à dissiper, la puissance spécifique du refroidisseur puis choisir le modèle de refroidisseur le plus adapté.

III. La nouvelle huile « verte » a-t-elle une viscosité adéquate pour mes transmissions hydrauliques ?

De toutes les propriétés physiques des huiles, la viscosité est certainement la plus importante. Elle détermine en effet l'essentiel des pertes par frottement et l'épaisseur des films d'huile.

Le but de cette partie est de mettre en place un protocole expérimental permettant la mesure de la viscosité d'une huile. On vérifiera ensuite sa conformité par rapport à l'utilisation envisagée.

On trouve dans la littérature de nombreuses techniques de mesures de la viscosité.

Le **document 9** est issu de la revue *Techniques de l'ingénieur*, il propose un protocole de mesure dont vous allez pouvoir vous inspirer.

a. Manipulation

Vous disposez, pour l'analyse, du matériel suivant :

- une éprouvette contenant l'huile hydraulique à analyser de masse volumique $\rho_{\text{huile}} = 0,918 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$.
- des billes en nylon de masse volumique $\rho_{\text{bille}} = 1,14 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$.
- une caméra, un ordinateur et le logiciel *Regressi* (et sa notice) pour l'analyse de la vidéo
- un pied à coulisse électronique
- un thermomètre

Q20. En s'inspirant du **document 9**, proposer un protocole, utilisant une capture vidéo et permettant de déterminer la viscosité de l'huile proposée.

☞ *Faire valider le protocole mis en place.*

Q21. Mettre en œuvre le protocole, en s'aidant éventuellement des notices disponibles.

☞ *En cas de problème d'acquisition, ne pas hésiter à demander de l'aide à l'examineur.*

Q22. En analysant la vidéo réalisée (ou celle fournie en cas de problème), déterminer la vitesse de chute de la bille lorsqu'elle a atteint sa vitesse limite.

b. Exploitation

Q23. En vous aidant du **document 9**, calculer la viscosité cinématique ν_c de l'huile hydraulique à analyser.

Q24. En utilisant les **documents 10 et 11**, déterminer quel type d'huile Panolin a été analysée. Peut-elle être utilisée comme huile hydraulique dans l'Éléphant ?

IV. L'Éléphant pourrait-il fonctionner avec une pile à combustible ?

L'une des solutions envisagées pour rendre l'Éléphant « plus vert » était l'utilisation d'une pile à combustible à la place du moteur Diesel de 420 cv (environ 300 kW). La réaction entre deux gaz, le dioxygène et le dihydrogène produit de l'eau. Cette réaction chimique permet de transformer l'énergie chimique en énergie électrique.

Finalement, pour la motorisation de l'Éléphant, les concepteurs ont retenu une solution mixte : moteur thermique et batteries.

Le but de cette partie est d'évaluer le volume de dihydrogène nécessaire pour faire fonctionner l'Éléphant pendant un trajet aller-retour.

Q25. En utilisant le **document 12**, déterminer l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile à combustible présentée.

Matériel :

- La pile à combustible étudiée est une PEMFC (*proton exchange membrane fuel cell*) : elle est constituée de deux électrodes séparées par une membrane polymère.

Deux réservoirs (« cloches ») remplis de dihydrogène et le dioxygène, sont reliés à la cellule. Ces gaz ont été préparés en réalisant l'électrolyse de l'eau à l'aide de cette même cellule. Les graduations sur les réservoirs permettent de mesurer le volume de gaz consommé.

La pile permet de faire fonctionner un petit moteur électrique accroché à un support.

La pile est déjà prête à fonctionner (réservoirs de dihydrogène et de dioxygène remplis). Ne pas toucher aux tuyaux reliés aux réservoirs.



- Joule-mètre (avec notice), fils, interrupteur

Manipulation :

Q26. Réaliser un montage, permettant de mesurer l'énergie électrique fournie par la pile au moteur et le volume de dihydrogène consommé.

☞ *Faire valider le montage avant de faire fonctionner la pile.*

Q27. Durant un aller-retour l'Éléphant fonctionne 2h. La pile à combustible devait permettre de faire fonctionner les circuits électriques et hydrauliques avec une puissance moyenne de 30 kW.

En utilisant tout ou partie des **documents 13, 14 et 15**, estimer le volume des réservoirs de dihydrogène (stocké sous haute pression) qui auraient été nécessaires pour un aller-retour. Commenter.