

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR
**CONTRÔLE INDUSTRIEL et
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

SCIENCES PHYSIQUES

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

U-31 Chimie-Physique industrielles

Durée : 2 heures

Coefficient : 2,5

	Durée conseillée
Chimie industrielle	45 minutes
Physique industrielle	1 h 15

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

- **Chimie industrielle** : **page 1 à page 4**
- **Physique industrielle** : **page 5 à page 8**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

Aucun document autorisé.

Calculatrice réglementaire autorisée.

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

ATTENTION : L'ANNEXE (pages 3/8 et 4/8) EST FOURNIE
en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre
avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.

CHIMIE INDUSTRIELLE

Le document en ANNEXE est fourni en deux exemplaires dont l'un sera rendu avec la copie.

Premier exercice : Dosage d'une eau minérale

On souhaite vérifier les indications portées sur l'étiquette d'une bouteille d'eau minérale, présentée ci-dessous.

Minéralisation en mg/L

Calcium Ca^{2+} : 555 ;

Sodium Na^+ : 14 ;

Magnésium Mg^{2+} : 110 ;

Hydrogénocarbonate HCO_3^- : 403 ;

pH = 7,0

résidu sec à 180 °C : 1 850 mg/L

Données : $\text{pK}_a(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-) = 6,4$

$\text{pK}_a(\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}) = 10,3$

Indicateur coloré	Zones de virage
Vert de bromocrésol	3,8 - 5,4
Violet de bromocrésol	5,2 - 6,8
Bleu de bromothymol (BBT)	6,0 - 7,6

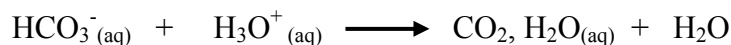
1°)

- Sur un axe gradué en pH, placer les domaines de prédominance des espèces acides et basiques des deux couples auxquels appartient l'ion hydrogénocarbonate
- Le pH de l'eau minérale étant de 7,0, quelle est l'espèce prédominante ?

2°) Un volume $V_1 = 20,0$ mL d'eau minérale est titré par de l'acide chlorhydrique de concentration $C = 1,0 \cdot 10^{-2}$ mol. L⁻¹.

Sur la **figure de l'annexe page 4/8 (à rendre avec la copie)** sont indiqués les points expérimentaux du dosage, ainsi que la courbe dérivée.

L'équation de dosage est la suivante :



- Déterminer les coordonnées du point d'équivalence.
- Parmi les indicateurs proposés, quel est le mieux adapté à ce titrage ? Pourquoi ?
- Déterminer la concentration en ions hydrogénocarbonate dans cette eau minérale. Comparer avec l'indication portée sur l'étiquette.

Donnée : masse molaire de $\text{HCO}_3^- = 61 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

3°) Le titre alcalimétrique complet T.A.C. d'une solution est égal au volume, exprimé en mL, d'acide chlorhydrique à 0,020 mol.L⁻¹ nécessaire pour doser 100 mL de solution en présence de vert de bromocrésol. Déterminer le T.A.C. de cette eau minérale.

Deuxième exercice : Pile zinc-fer

Données : Potentiels rédox standard à 25 °C

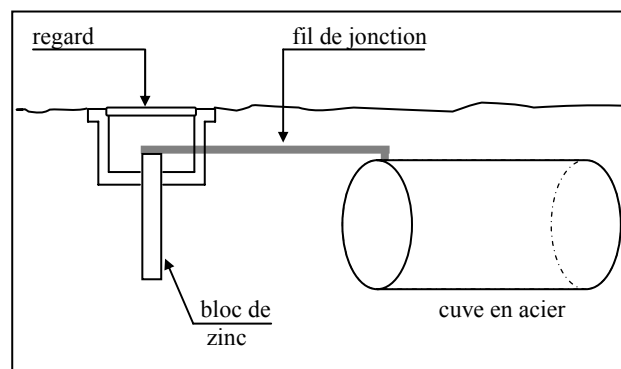
$$E^0 (\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ V}$$

$$E^0 (\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$$

Dans les conditions standard, on réalise une pile en reliant par un pont salin contenant une solution gélifiée de nitrate de potassium ($\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$) :

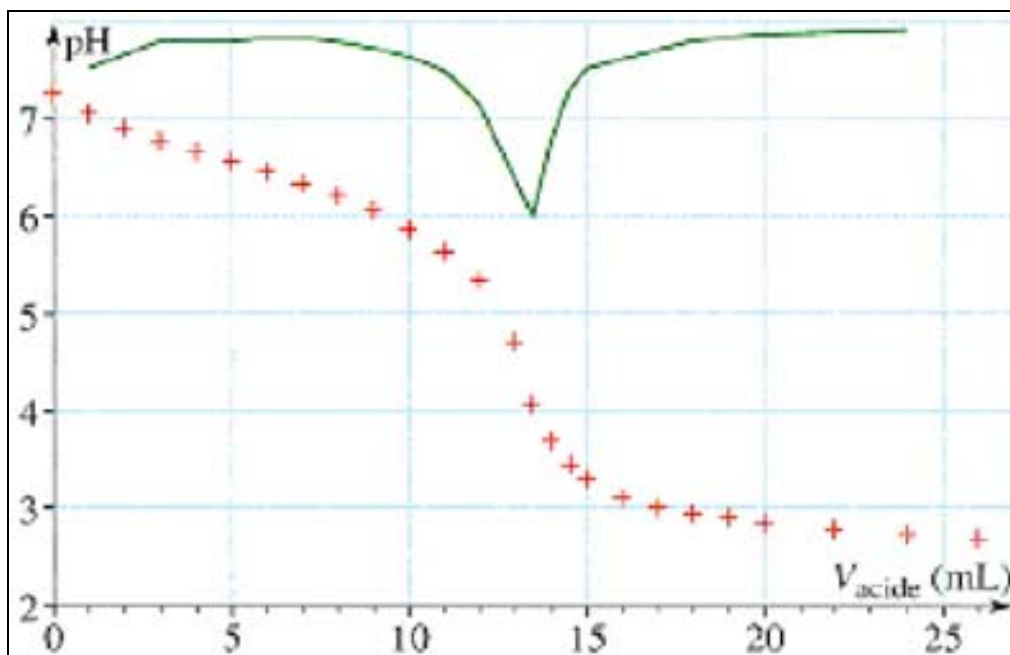
- ♦ une demi-pile constituée d'une lame de zinc plongeant dans une solution de sulfate de zinc II ($\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$) ;
- ♦ une demi-pile constituée d'une lame de fer plongeant dans une solution de sulfate de fer II ($\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$).

- 1) Comparer les potentiels standard pour prévoir la polarité des électrodes de la pile ainsi constituée.
- 2) Donner la représentation conventionnelle de la pile.
- 3) Ecrire les équations des réactions qui se produisent aux électrodes lorsque la pile débite dans un circuit extérieur en indiquant l'oxydation et la réduction. En déduire l'équation de fonctionnement de la pile.
- 4) On laisse débiter la pile. Indiquer sans calcul comment évoluent :
 - a) les masses des lames de fer et de zinc ?
 - b) les concentrations des ions dans les solutions ?
 - c) la f.é.m. de la pile ?
- 5) Une cuve d'acier enterrée est reliée à un bloc de zinc. En assimilant l'acier à du fer, expliquer quel est le rôle de ce bloc.



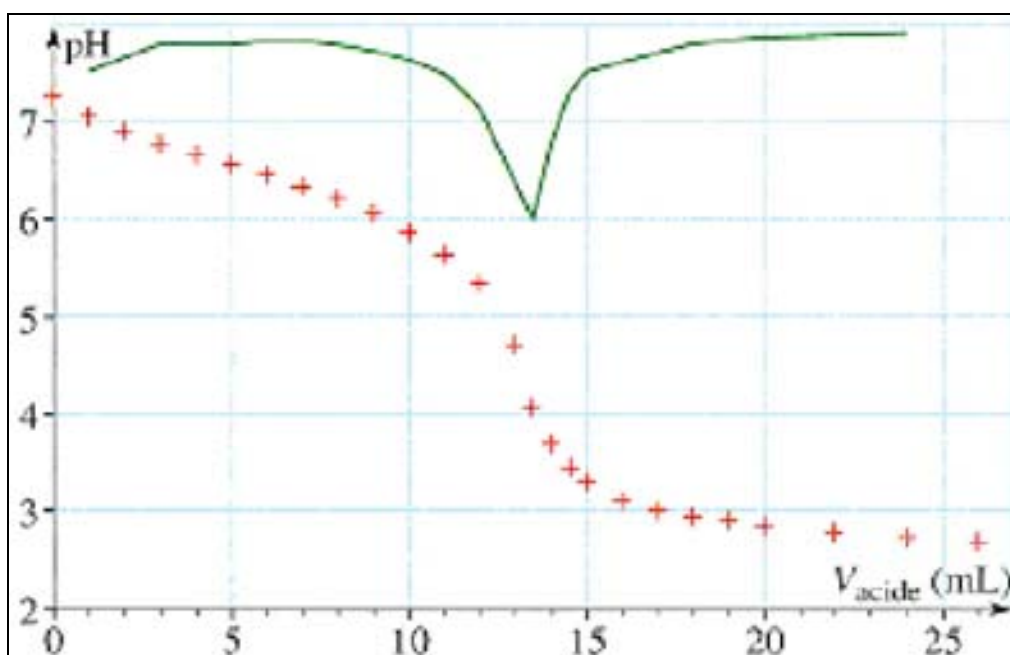
EXEMPLAIRE POUVANT SERVIR DE BROUILLON

ANNEXE



EXEMPLAIRE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE



PHYSIQUE INDUSTRIELLE

ÉTUDE DE L'ÉTAGE DE PROPULSION CRYOTECHNIQUE DE LA FUSÉE ARIANE 5

Les différentes parties du problème sont indépendantes et peuvent être traitées séparément

L'EXPRESSION DU PROGRES

Ariane 5 est la réponse technique et économique aux besoins de lancement de charges utiles pour les prochaines décennies.

Ariane 5 est constitué de deux éléments :

- un bi-étage inférieur
- un composite supérieur.

Le bi-étage inférieur reste commun à toutes les missions quelle que soit l'orbite visée et le type de charges utiles embarquées, de l'homme dans l'espace aux structures de plate-formes tout en satisfaisant, de façon optimum, le lancement des satellites commerciaux.

Ce bi-étage se compose d'un Etage Principal Cryotechnique (EPC) à hydrogène et à oxygène liquides, et de deux propulseurs à propergol solide.

L'étage cryotechnique est équipé d'un moteur Vulcain très puissant, allumé puis contrôlé avant la mise à feu des propulseurs à poudre.

Le composite supérieur

Coiffe
OERLIKON-CONTRAVES

Structure Porteuse Externe pour Lancement Multiple Ariane (SPELTRA)
DEUTSCHE AEROSPACE

Etage à propergols stockables (EPS)
DEUTSCHE AEROSPACE

Case à équipements
MATRA MARCONI SPACE

Le bi-étage inférieur

Etage d'accélération à poudre (EAP)
AEROSPATIALE

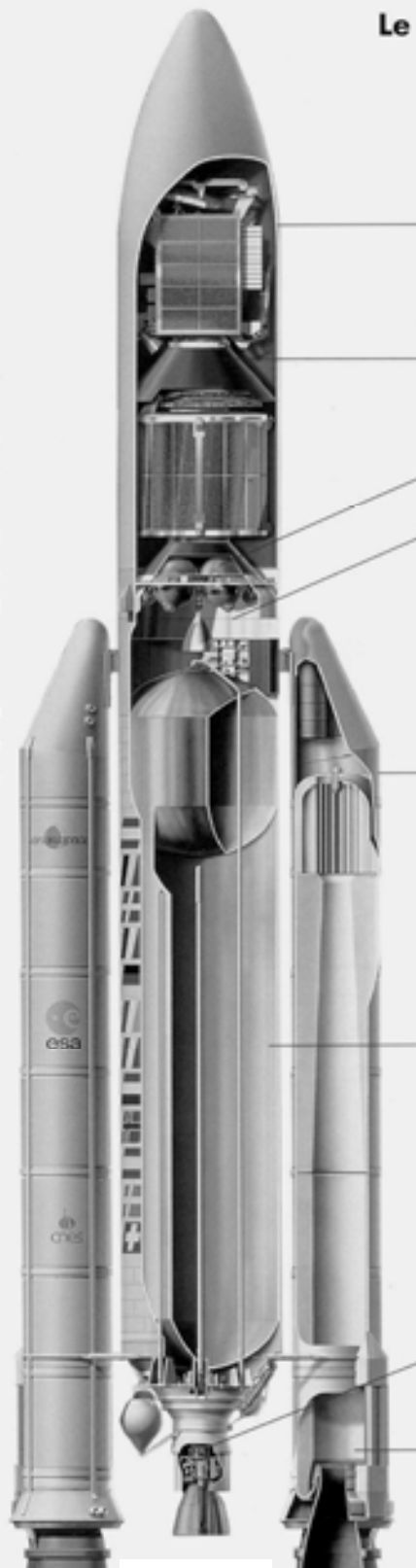
Etage principal cryotechnique (EPC)
AEROSPATIALE

Moteur Vulcain
SEP

Moteur à propergol solide
EUROPROPULSION (groupe FIAT/SEP)

Hauteur : 51 m

Capacité en GTO :
5,9 tonnes (lancement double)
6,8 tonnes (lancement simple)
en orbite basse : près de 20 tonnes



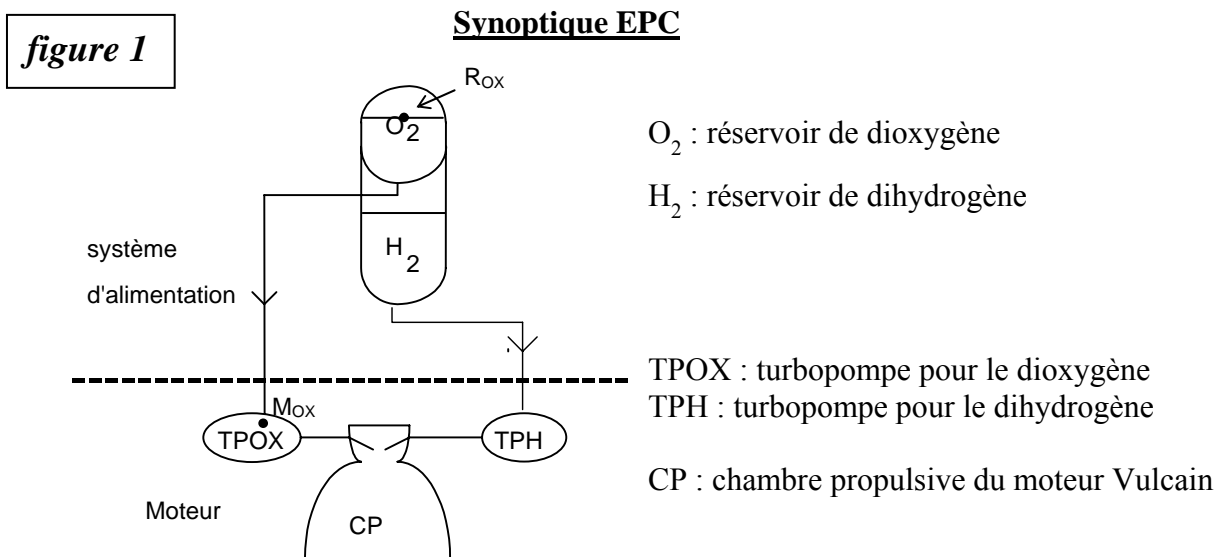
CAE3CI

L'étage principal cryotechnique H155 de la fusée Ariane V est propulsé par le moteur Vulcain.

La poussée est obtenue par éjection à grande vitesse de gaz produits par la combustion à haute pression (108 bar) et haute température (3 500 K) du dihydrogène (carburant) avec du dioxygène (comburant).

Le dihydrogène et le dioxygène sont stockés et acheminés séparément vers le moteur sous forme liquide.

Dans la suite l'entrée des turbopompes constitue la limite entre le système d'alimentation et le moteur (voir fig. 1).



Données numériques :

On rappelle que 1 bar = 100 kPa.

Les données concernant le dioxygène liquide sont les suivantes :

La pression au point **R_{ox}** : **P_{Rox}** du réservoir de O₂ est maintenue à 3,5 bar.

La température de O₂ est de 91 K du réservoir jusqu'à l'entrée du moteur.

A 91 K la masse volumique $\rho_{ox} = 1\,140 \text{ kg.m}^{-3}$.

La pression au point **M_{ox}** : **P_{Mox}** de O₂ à l'entrée de la turbopompe (entrée du moteur) est de 6,0 bar.

Les données pour le dihydrogène liquide sont :

La température de H₂ est de 21 K du réservoir jusqu'à l'entrée du moteur.

A 21 K la masse volumique est $\rho_{H2} = 70 \text{ kg.m}^{-3}$.

La pression de H₂ à l'entrée de la turbopompe (entrée du moteur) est de 3,2 bar.

Q_{VH} le débit volumique du dihydrogène liquide est de 600 L.s⁻¹

On admet que tous ces paramètres restent constants pendant toute la phase de décollage.

I. Étude du système d'alimentation en dioxygène liquide

Nous voulons calculer le débit volumique du dioxygène à l'allumage du moteur. La seule accélération à prendre en compte est celle de la pesanteur soit $9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

Le réservoir de O_2 a un diamètre D de 4,5m et la surface libre est à une hauteur h de 25,2 m au-dessus du moteur (au décollage). Le tuyau qui achemine le dioxygène à l'entrée du moteur a un diamètre d de 185 mm.

1.1) Représenter le schéma de l'ensemble 'réservoir d' O_2 et tuyau d'alimentation du moteur' en indiquant le point R_{ox} au niveau de la surface du dioxygène et le point M_{ox} juste à l'entrée du moteur. Donner la relation entre les pressions, altitudes et vitesses du liquide entre ces deux points. On néglige les pertes de charge.

1.2) Donner l'expression littérale de la vitesse $V_{M_{\text{ox}}}$ du dioxygène à l'entrée du moteur en fonction des données du problème. On expliquera pourquoi on peut négliger la vitesse de la surface libre du réservoir.

1.3) Calculer la vitesse $V_{M_{\text{ox}}}$.

1.4) Vérifier que le débit volumique $Q_{V_{\text{ox}}}$ du dioxygène est de $0,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Ce débit est maintenu constant dans la suite de la phase de décollage.

II. Étude de la turbopompe pour le dihydrogène

La turbopompe pour le dihydrogène tourne à $33\,500 \text{ tr.min}^{-1}$ et absorbe une puissance P_a de 12 MW pour un rendement de 85 %. Elle est constituée d'une pompe à deux étages centrifuges.

2.1) Donner la relation entre la pression P_{SH} à la sortie de la turbopompe, la pression P_{MH} à l'entrée de la turbopompe, la puissance absorbée P_a , le rendement η et le débit volumique Q_{VH} du dihydrogène.

2.2) Calculer la pression P_{SH} .

III. Détermination de la masse d'ergols pour l'étage de propulsion cryotechnique

Le système d'alimentation fournit un débit volumique trois fois plus grand en dihydrogène qu'en dioxygène afin d'assurer aussi le refroidissement du moteur.

3.1) Le moteur fonctionne pendant une durée Δt . Exprimer la masse m_{Ox} de dioxygène nécessaire dans le réservoir en fonction de $Q_{V_{\text{ox}}}$ (débit volumique du dioxygène), de ρ_{Ox} et de Δt .

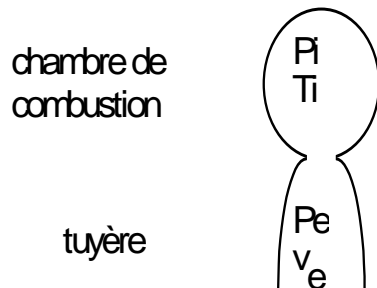
3.2) Calculer la masse du dioxygène m_{Ox} si $\Delta t = 9$ minutes et 35 secondes.

3.3) Écrire l'équation bilan de la réaction puis calculer la masse m_H de dihydrogène nécessaire.

3.4) En déduire m_{erg} , la masse totale d'ergols (H_2 et O_2) qu'il faut placer dans les réservoirs de l'étage principal cryotechnique H155 d'Ariane V.

IV. Détermination de la poussée du moteur cryogénique Vulcain

On veut d'abord calculer la vitesse d'éjection des gaz.



Dans la chambre de combustion, les gaz sont au repos, à la pression P_i et à la température $T_i = 3\,500\text{ K}$. Ils sont éjectés à une vitesse v_e , la pression étant P_e .

Ces gaz ont une capacité thermique massique égale à $C_p = 4\,200\text{ J.K}^{-1}\text{kg}^{-1}$.

figure 2

4.1) En considérant les gaz comme parfaits et en utilisant la loi de conservation de l'énergie pour un écoulement adiabatique, trouver l'expression de v_e en fonction de C_p , T_i et T_e .

4.2) Exprimer le rapport T_e/T_i en fonction du rapport des pressions P_e/P_i et du coefficient $\gamma = C_p/C_v$.

4.3) En déduire que : $v_e^2 = 2 \cdot C_p \cdot T_i \cdot \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$

4.4) Le rapport des pressions $\frac{P_e}{P_i}$ étant égal à 10^{-3} et $\gamma = 1,2$, calculer la vitesse d'éjection v_e .

4.5) Le théorème des quantités de mouvement appliqué au système gaz-tuyère, permet de montrer que la poussée du moteur peut s'écrire $\mathbf{F} = \mathbf{q}_m \cdot \mathbf{v}_e$, \mathbf{q}_m étant le débit massique des gaz. Calculer \mathbf{F} pour $q_m = 250\text{ kg.s}^{-1}$.