

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

SESSION 2019

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet comporte **11** pages.

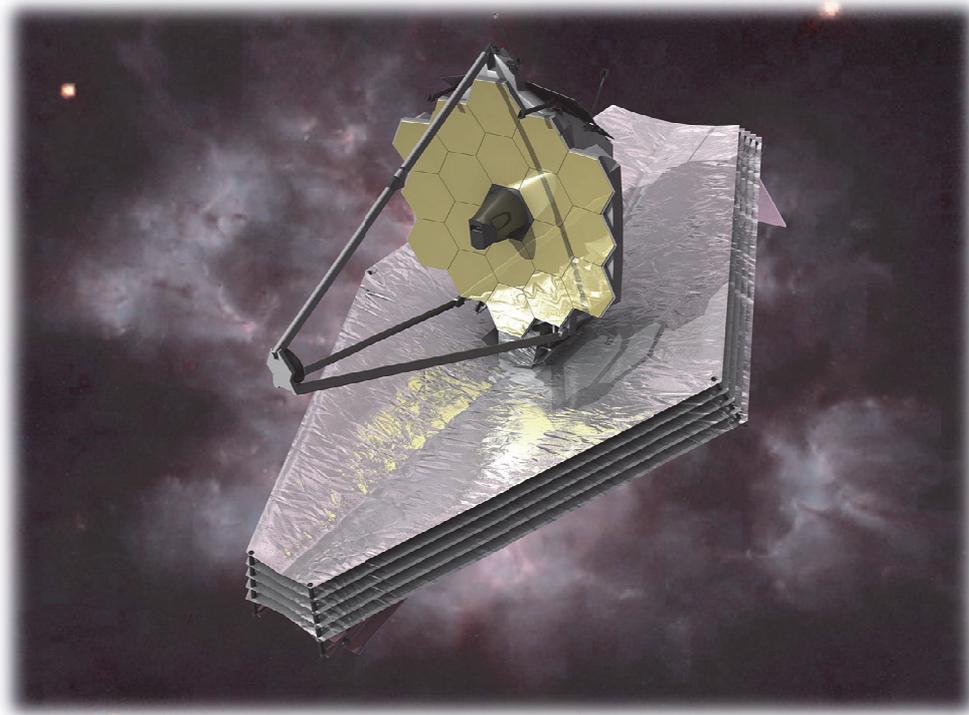
La page 11 est à rendre avec la copie.

Le télescope James Webb, pour voir mieux et plus loin.

Le télescope Hubble, lancé en 1990, fut le premier télescope « spatial », c'est-à-dire placé en orbite autour de la Terre, au-dessus de l'atmosphère.

Il sera remplacé en mars 2021 par le télescope spatial James Webb (JWST), qui est le fruit d'un partenariat entre les agences spatiales américaine (NASA), européenne (ESA) et canadienne (CSA).

Les objectifs scientifiques du télescope James Webb sont notamment l'étude de la structure de l'Univers, la naissance et la formation des étoiles, ou encore la détection et l'étude d'exoplanètes.



Une vue d'artiste du télescope (d'après www.cepheides.fr)

PARTIE A : le futur télescope James Webb (7 points).

PARTIE B : de l'or à la place de l'aluminium pour le miroir du télescope (7 points).

PARTIE C : nettoyage cryogénique des miroirs (6 points).

Les trois parties sont indépendantes. Le candidat peut traiter ces trois parties dans l'ordre de son choix.

Les documents sont réunis en fin de sujet.

Partie A : le futur télescope James Webb.

Quelques caractéristiques des télescopes Hubble et James Webb sont présentées dans le document 1.

1. À l'aide du **document 2**, expliquer pourquoi il est indispensable de placer ces télescopes dans l'espace.

Le pouvoir de résolution d'un instrument d'optique dépend, entre autres, des propriétés ondulatoires de la lumière observée.

2. À l'aide du **document 3**, préciser le phénomène optique qui limite la résolution des télescopes.

On observe les radiations de longueur d'onde de $2,0 \mu\text{m}$ émises par deux étoiles proches, dont les directions de visée sont séparées d'un angle $\theta = 8,0 \cdot 10^{-7}$ rad.

3. Vérifier si ces deux télescopes peuvent former deux images bien distinctes de ces étoiles. Conclure.

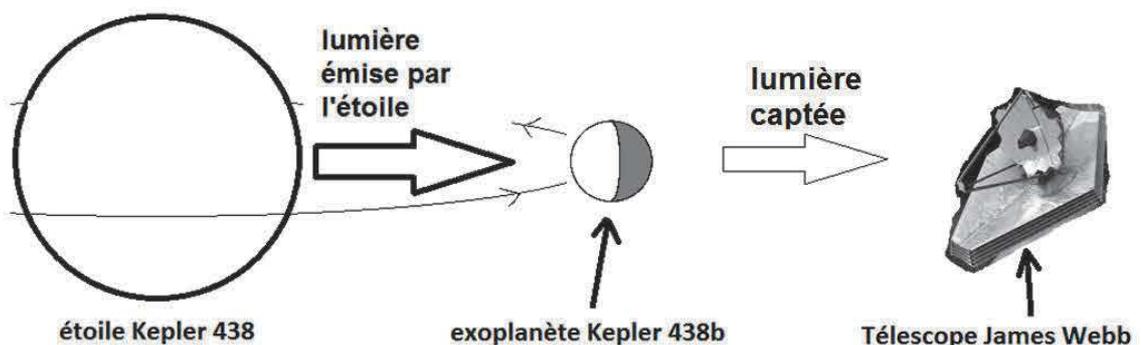
Le quasar 3C 273, situé à 2,4 milliards d'années-lumière de la Terre, s'éloigne de la Terre à une vitesse de $5,0 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On suppose qu'il émet de la lumière de longueur d'onde $\lambda_{\text{émise}} = 0,55 \mu\text{m}$.

4. En vous appuyant sur les **documents 1 et 5**, vérifier que le télescope James Webb est capable de détecter la lumière qui provient de ce quasar.

Pour détecter la présence d'une exoplanète autour d'une étoile, les astrophysiciens mesurent l'intensité de la lumière provenant de cette étoile au cours du temps : en effet, le passage d'une exoplanète entre le télescope et l'étoile provoque périodiquement une (très) légère baisse de l'intensité lumineuse reçue.

Kepler-438b est une exoplanète orbitant autour de l'étoile Kepler-438. La variation de l'intensité lumineuse ΔL captée par le télescope, provoquée par le passage de l'exoplanète entre l'étoile Kepler-438 et le télescope, est de 0,01 %.



Cette variation d'intensité lumineuse est convertie en signal électrique, qui est à son tour numérisé par un C.A.N. (Convertisseur Analogique Numérique).

En laboratoire, on dispose d'un C.A.N. de 12 bits. Sa plage de mesure s'étend sur 5 volts. On voudrait vérifier si le C.A.N. du laboratoire est suffisamment performant pour pouvoir distinguer l'exoplanète sur l'image finale numérisée.

Lors de ce test, on éclaire le capteur avec une lumière de luminosité comparable à celle émise par Kepler-438. Le capteur fournit alors une tension $U_R = 2,432 \text{ V}$.

5. En vous aidant du **document 4**, vérifier que l'erreur due à la quantification par le CAN (appelée aussi « quantum », ou « pas ») est de $1 \cdot 10^{-3} \text{ V}$.
6. Calculer alors l'erreur relative correspondante, exprimée en %, sur la mesure de U_R .
7. Montrer que le convertisseur testé ne permet pas la détection de l'exoplanète Kepler-438b.

La résolution optique du télescope James Webb devrait permettre de recueillir des mesures astronomiques jusqu'à maintenant inaccessibles.

8. Le télescope James Webb étant plus performant en termes de qualité optique que les précédents télescopes, discuter de l'importance des performances du C.A.N. pour obtenir une qualité d'image finale à la mesure des performances de ce nouveau télescope.

Partie B : de l'or à la place de l'aluminium pour le miroir du télescope.

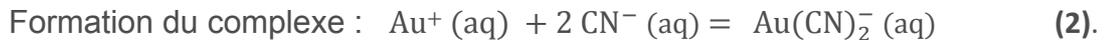
La couche réfléchissante du miroir primaire du télescope Hubble est constituée d'aluminium, celui du télescope James Webb sera... en or !

1. En utilisant les **documents 1 et 6**, comparer l'utilisation de l'or (symbole Au) à celle de l'aluminium, pour la conception d'un télescope.
2. Par ailleurs, montrer à l'aide des données du **document 7** que, contrairement à l'aluminium, l'or est difficilement oxydable par le dioxygène ou par l'eau.

L'or utilisé est extrait de minerai dans lequel les atomes d'or sont intimement mélangés à d'autres éléments.

Pour en extraire l'or, le minerai est broyé puis traité par une solution diluée de cyanure de sodium ($\text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{CN}^- (\text{aq})$) en milieu basique et en présence de dioxygène O_2 .

La transformation a lieu en deux étapes : les atomes d'or sont oxydés en ions Au^+ (aq). Ces ions Au^+ (aq) forment ensuite un complexe aurocyanure $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ (aq) avec les ions cyanure CN^- (aq) :



3. Donner la formule chimique du cation central et du ligand dans le complexe aurocyanure $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ (aq) .

L'équilibre de la transformation (2) est fortement déplacé dans le sens de la formation du complexe aurocyanure $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ (aq) .

4. Expliquer pourquoi la transformation (2) permet l'oxydation des atomes d'or par le dioxygène (étape 1), oxydation qui serait sinon très difficile.

Pour produire l'or (Au) avec une pureté satisfaisante, on fait ensuite subir une électrolyse à la solution de complexe aurocyanure $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ (aq) : à la cathode, les ions complexes aurocyanure $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ (aq) sont en effet réduits en atomes d'or (Au). Cette transformation peut être modélisée par la demi-équation :



Le montage est schématisé sur le **document-réponse 1**.

5. Compléter le **document-réponse 1** en indiquant le sens de circulation des électrons et la polarité du générateur.

La surface « S » du miroir du télescope James Webb est de 32 m^2 . L'épaisseur « e » de la couche d'or déposée doit être de 80 nm .

Données pour les questions 6 et 7 :

- Masse volumique de l'or : $\mu(\text{Au}) = 19\,300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Masse molaire de l'or : $M(\text{Au}) = 197,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- 1 faraday : $1 \text{ F} = 96500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

6. Montrer qu'il faut une masse « m » d'environ 50 grammes d'or pour recouvrir entièrement le miroir.
7. On fait circuler un courant d'intensité I égale à 25 ampères dans l'électrolyseur. Montrer qu'il faut une durée Δt d'environ 16 minutes pour obtenir ces 50 grammes d'or.

Partie C : nettoyage cryogénique des miroirs.

Avant le lancement du télescope James Webb dans l'espace, le miroir primaire subit un minutieux nettoyage cryogénique, dont le principe est décrit dans le **document 8**.

Le diagramme de phase du dioxyde de carbone (CO_2) est donné au **document-réponse 2** de l'annexe à rendre avec la copie.

1. Principe du nettoyage cryogénique

Production de dioxyde de carbone solide : du dioxyde de carbone liquide est stocké dans un réservoir sous pression de 20 bar et maintenu à une température de -20°C (point A sur le diagramme de phase). Il est acheminé jusqu'à l'unité de fabrication de «pellets» où il est détendu (point B).

Nettoyage par projection : les pellets sont ensuite introduits dans la machine à projection. Un pistolet sous air comprimé projette les pellets sur la surface à nettoyer.

On considère que cette surface est à une température de 18°C et à pression atmosphérique $P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

- 1.1. En s'aidant du **document 8**, indiquer trois avantages qui justifient le choix de cette méthode de nettoyage.
- 1.2. Placer sur le diagramme de phase (**document réponse 2**), le point C correspondant au moment où les pellets arrivent au contact de la surface à nettoyer.
- 1.3. Compléter le **document-réponse 3** en indiquant les valeurs des différentes températures et pressions à chaque étape du mode de nettoyage. Préciser l'état physique du CO_2 dans chaque cas.

2. Régulation du niveau de dioxyde de carbone liquide dans le réservoir

Pour un fonctionnement optimal le niveau de dioxyde de carbone liquide dans le réservoir doit être maintenu à une hauteur de 1 m. Le système de régulation utilisé est décrit au **document 9**.

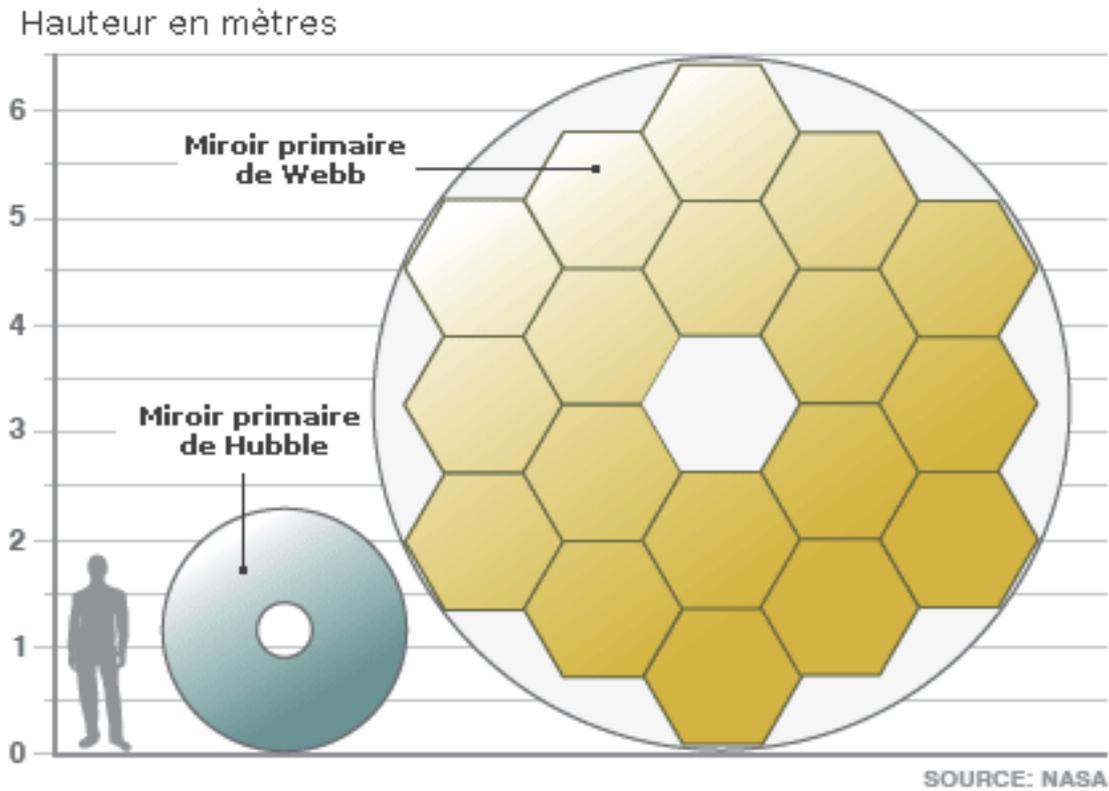
- 2.1. Préciser quel élément joue concrètement le rôle de l'actionneur.
- 2.2. Écrire sur votre copie quelle est la consigne, la grandeur réglée et la grandeur réglante dans la boucle de régulation schématisée dans le **document 9**.

Afin d'obtenir la régulation la plus performante, on teste trois réglages en étudiant l'évolution de la grandeur réglée pour une variation brutale de consigne.

Dans le cas étudié, pour une augmentation de la consigne de 50 cm, on mesure l'évolution du niveau du liquide en fonction du temps.

- 2.3. Le **document 10** représente graphiquement les résultats obtenus. Commenter ces réglages en termes de critères de qualité, à savoir la précision, l'amortissement et la rapidité. Choisir alors le réglage qui paraît le plus adapté, en justifiant la réponse.

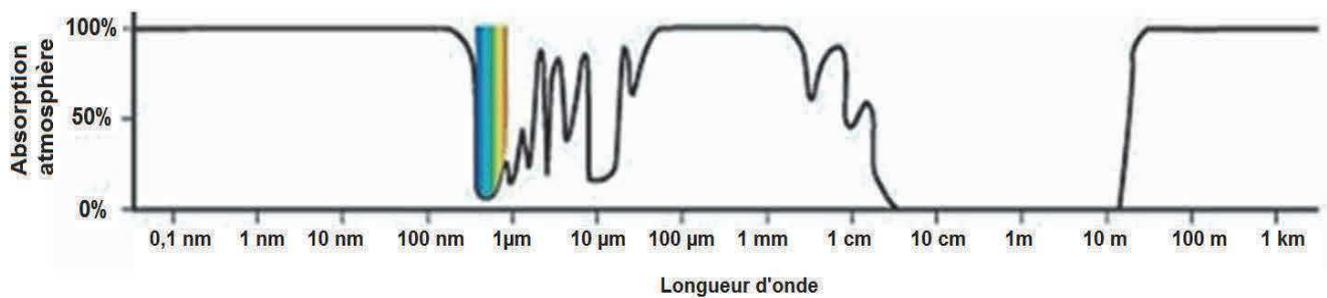
Document 1 : quelques caractéristiques des télescopes Hubble et James Webb



Comparaison des dimensions des miroirs primaires de Webb et Hubble

	Hubble	Webb
Diamètre du miroir primaire (m)	2,4	6,5
Distance focale du miroir primaire (m)	57,6	131,4
Longueurs d'onde d'observation	De 115 à 2500 nm	De 0,6 à 28 μm
Matériaux constituant les miroirs	Verre recouvert d'aluminium	Béryllium recouvert d'or

Document 2 : absorption de l'atmosphère terrestre

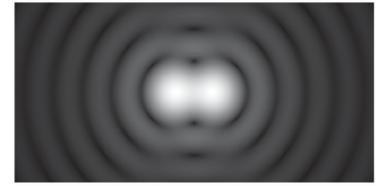
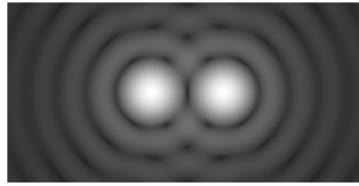


D'après NASA

Document 3 : limite de résolution d'un télescope

La limite de résolution d'un télescope est le plus petit angle θ_{\min} entre les lignes de visée de deux étoiles discernables. Il dépend du diamètre D du miroir primaire et de la longueur d'onde λ de la lumière reçue selon la relation :

$$\theta_{\min} = 1,22 \times \frac{\lambda}{D}$$



D'après Wikipedia

Illustration de la limite de résolution d'un télescope :
- à gauche, les étoiles sont discernables ;
- à droite, les étoiles sont à la limite de résolution.

Document 4 : « pas » ou quantum d'un Convertisseur Analogique Numérique

Le pas p d'un CAN est défini par :

$$p = \frac{\text{étendue de la mesure}}{2^n - 1}$$

avec n : nombre de bits du CAN

Document 5 : effet Doppler

Du fait de l'expansion de l'univers, plus les astres sont loin de la Terre plus ils s'éloignent rapidement. L'effet Doppler produit alors un décalage des longueurs d'ondes reçues vers l'infrarouge d'autant plus important que les astres s'éloignent rapidement. Lorsque la source lumineuse émettrice est en mouvement à une vitesse v par rapport au récepteur la longueur d'onde λ_r de l'onde reçue est différente de la longueur d'onde émise λ_e .

Donnée : célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

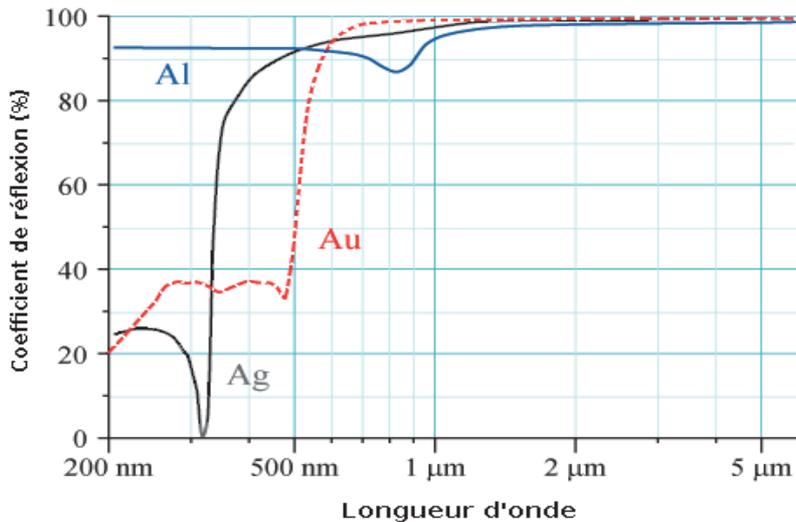
La source s'**approche** du récepteur :

$$\lambda_r = \lambda_e \times \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

La source s'**éloigne** du récepteur :

$$\lambda_r = \lambda_e \times \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

Document 6 : coefficients de réflexion de quelques métaux



Coefficients de réflexion en % de trois métaux, en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente.

Al : aluminium
 Au : or
 Ag : argent

D'après Wikipedia

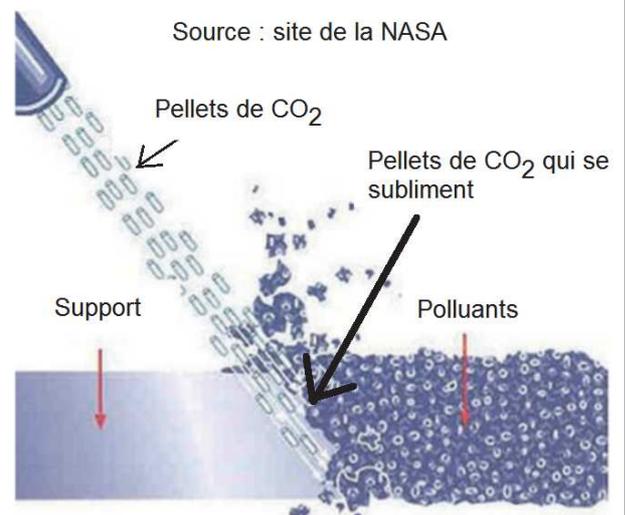
Document 7 : potentiels standards d'oxydoréduction de quelques couples

Couple	E° (en V)
Au^+ / Au	1,68
$\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$	1,23
Ag^+ / Ag	0,80
$\text{H}_2\text{O} / \text{H}_2$	0,00
$\text{Al}^{3+} / \text{Al}$	-1,68

Document 8 : principe du nettoyage cryogénique

Le nettoyage cryogénique utilise comme agent nettoyant la glace sèche appelée «pellet» constituée de dioxyde de carbone (CO_2) solide à -78°C . Placée dans une machine spécifique, la glace est projetée, à l'aide d'un compresseur, à la vitesse de $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sur la surface à nettoyer. La sublimation du dioxyde de carbone permet de souffler la couche de salissures.

Le nettoyage par la glace sèche s'effectue sans eau, sans sable ni produit chimique. Étant non-abrasif, il respecte les surfaces traitées. Le froid n'affecte que la saleté sans déformer le support. Le pellet de glace se sublime : sa transformation en gaz ne laisse aucune pollution, ni déchet secondaire.



Document 9 : système de régulation du niveau de CO₂ liquide dans le réservoir

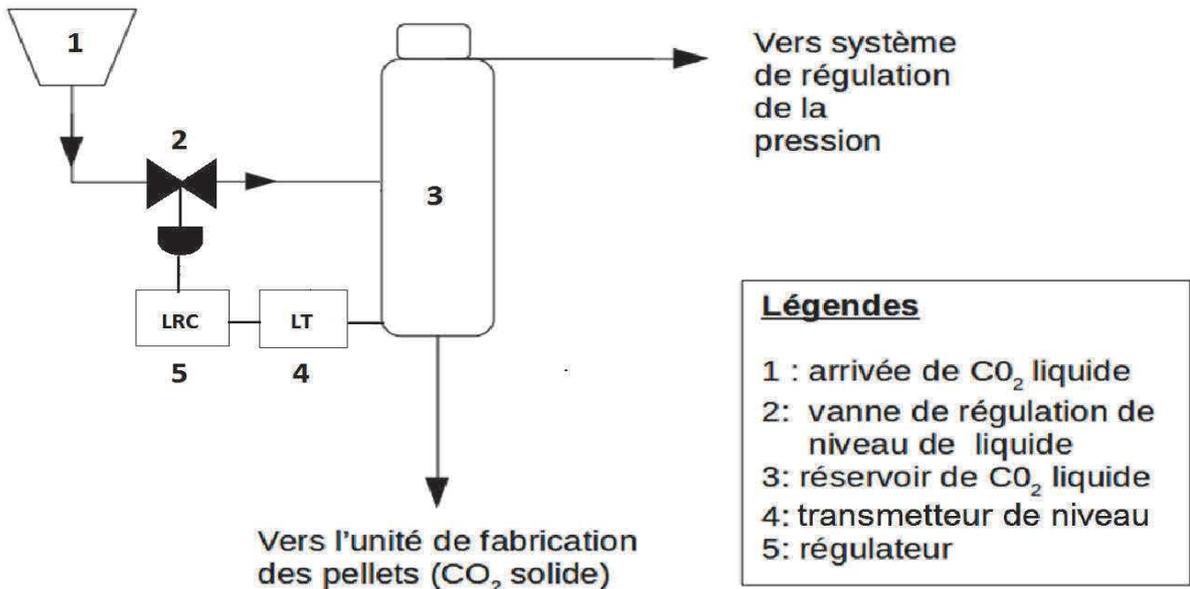
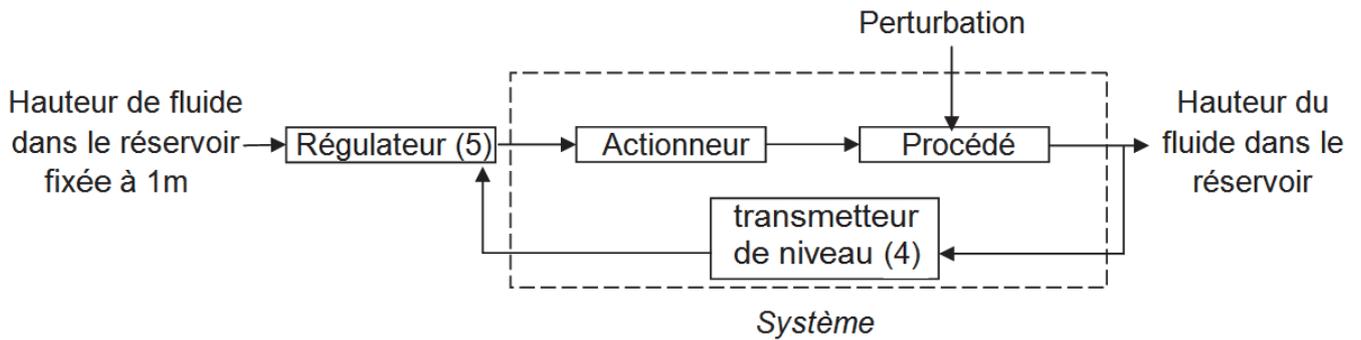
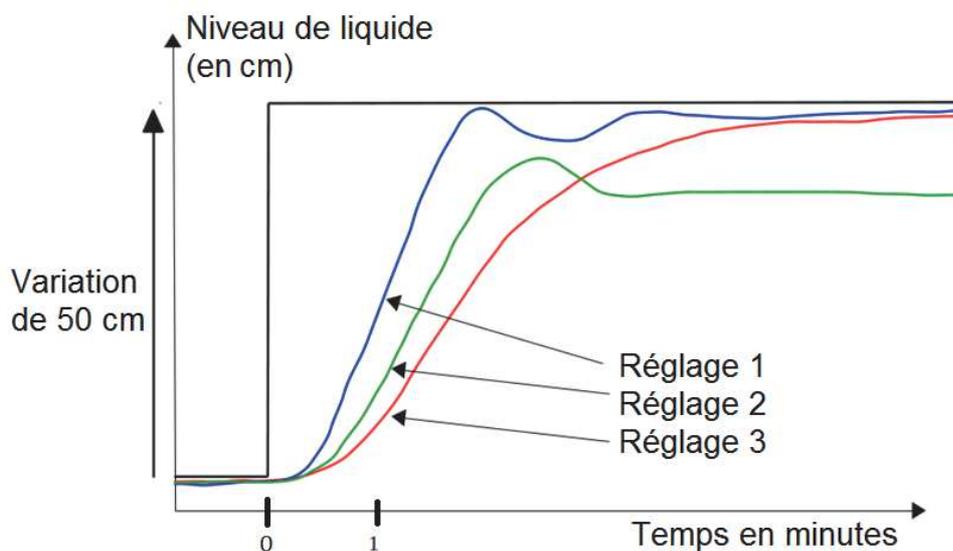


Schéma fonctionnel de la boucle de régulation de niveau dans le réservoir de CO₂ liquide:

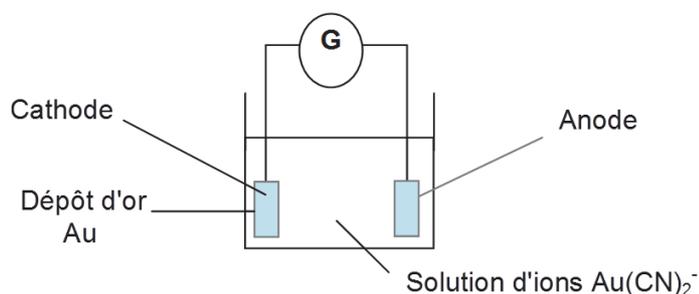


Document 10 : variation du niveau du liquide dans le réservoir en fonction des réglages

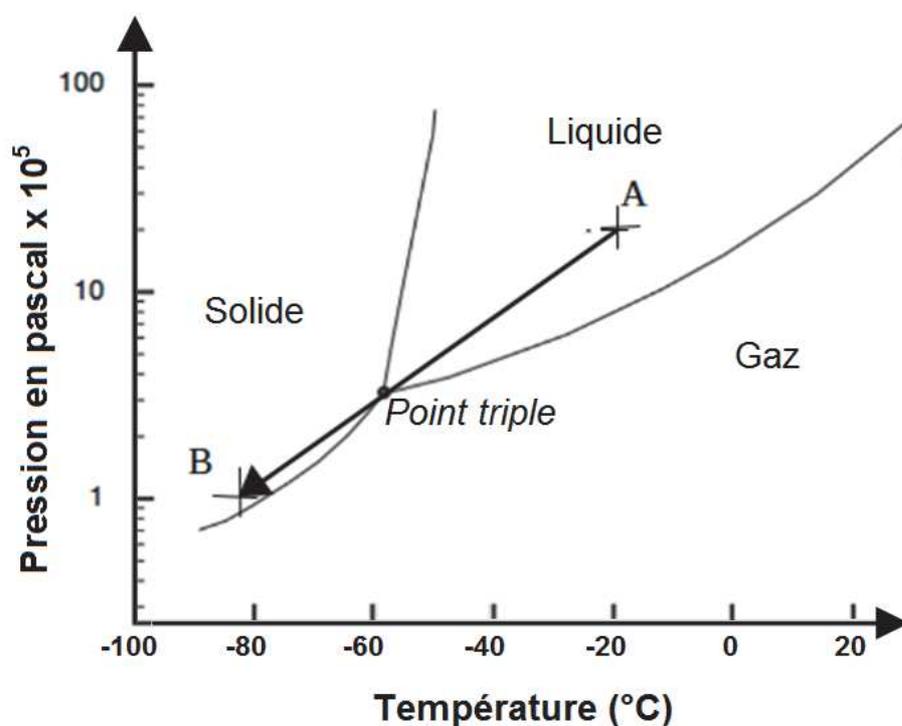


ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document réponse 1 - partie B - électrolyse



Document réponse 2 - partie C - Diagramme de phase du dioxyde de carbone



Légende :

A : CO₂ dans le réservoir.

B : CO₂ dans l'unité de fabrication des pellets.

C : CO₂ au contact de la surface à nettoyer (le candidat placera ce point sur le diagramme).

→ : détente de A à B

Document réponse 3 - partie C - Schéma de principe du nettoyage

- P_A=
- θ_A=
- Etat :

- P_B=
- θ_B=
- Etat :

- P_B=
- θ_B=
- Etat :

- P_C=1.10⁵ Pa
- θ_C=
- Etat :

