

I- Bivouac à la belle étoile

On peut lire dans une documentation sur les matelas de sol en mousse :

« Une fois allongé, vous écrasez votre sac de couchage ce qui le rend inefficace. En contact avec un sol plus froid que votre corps, vous perdez alors de l'énergie par transfert thermique. L'utilisation d'un matelas de sol, qui conserve son épaisseur et sa capacité d'isolation même soumis à la pression, limite ce phénomène ». Avant d'acquiescer un matelas de sol en mousse, un randonneur a longuement hésité entre deux matelas : le « Sleepy » et le « Randy ». Après consultation des différentes documentations, son choix s'est arrêté sur le matelas en mousse « Sleepy ».



Données :

- Caractéristiques du matelas de sol « Sleepy » :

Nom	Température minimale d'utilisation	Conductivité thermique	Dimensions : longueur × largeur épaisseur
Sleepy	6°C	0,03 W.m ⁻¹ .K ⁻¹	193 cm × 62 cm × 1,1 cm

- Résistance thermique de conduction :

La résistance thermique de conduction R_{th} , (en K.W⁻¹) d'un matériau d'épaisseur e (en m), de surface d'échange par conduction S (en m²) et de conductivité thermique λ (W.m⁻¹.K⁻¹) est :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

- Flux thermique :

Le flux thermique ϕ (en W) correspond à une énergie thermique transférée à travers une paroi par unité de temps. Si ΔT est l'écart de température de part et d'autre de la paroi, le flux thermique à travers cette paroi est exprimé par :

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

- La température de l'air et du sol est de 15 °C.

- Température de la peau : 33 °C.

1. Indiquer dans quel sens se fait le transfert thermique à travers le matelas lorsque le randonneur est allongé et décrire le phénomène de transfert thermique par conduction à l'échelle microscopique.
2. Le randonneur souhaite comparer les capacités d'isolation thermique des deux matelas de sol, le « Sleepy » et le « Randy », en se plaçant dans les mêmes conditions d'utilisation. Pour simplifier, il fait l'hypothèse que les résistances thermiques des vêtements et du sac de couchage sont négligeables.
 - 2.1. On note S , la surface du randonneur au contact du matelas. Quatre valeurs de S sont proposées :
0,005 m² 0,05 m² 0,5 m² 5 m²

Choisir celle qui semble correctement estimée. Justifier.

2.2. Calculer le flux thermique ϕ traversant le matelas « Sleepy ».

2.3. Le flux thermique traversant le matelas « Randy », dans les mêmes conditions d'utilisation, est de 40 W.

Quel matelas possède les meilleures capacités d'isolation thermique ? Justifier.



II- Au bord du précipice

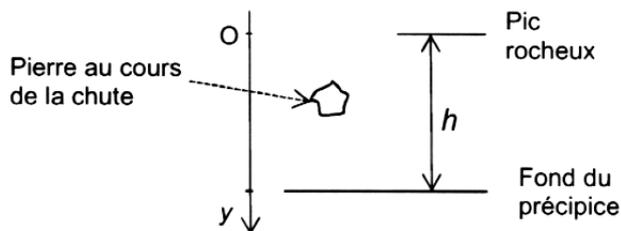
Le randonneur souhaite estimer la hauteur h d'un précipice en lâchant une pierre à partir du bord d'un pic rocheux en surplomb. La position de la pierre est repérée sur un axe Oy vertical dirigé vers le bas. Le randonneur déclenche sa montre-chronomètre à la date $t = 0$ s correspondant au début de la chute, soit à la position $y_0 = 0$ m.

Il arrête son chronomètre lorsqu'il entend la pierre percuter les rochers en contrebas du précipice. La durée mesurée est de 5,2 s.

Données :

- Valeur du champ de pesanteur sur Terre : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.
- Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen.
- Célérité du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

On considère dans l'exercice que les frottements sont négligeables.



On montre que la hauteur h du précipice et la durée t_c de la chute sont liées par : $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_c^2$

1. En négligeant la durée de propagation du son, estimer la hauteur h du précipice.
2. En appliquant le théorème de l'énergie mécanique, évaluer la vitesse de la pierre en arrivant en contrebas. L'hypothèse faite dans la question 2.2.1 est-elle justifiée ?
3. La hauteur calculée est-elle plus grande ou plus petite que la hauteur réelle ?
4. Par une analyse énergétique, si cette fois, on tient compte des frottements de l'air, La hauteur calculée est-elle plus grande ou plus petite que la hauteur réelle ?

Exercice III-

La cogénération est la production simultanée d'électricité et de chaleur à partir d'un combustible dans un dispositif unique : le cogénérateur. Dans une exploitation agricole, le combustible peut être le biogaz issu de la méthanisation des déchets organiques produits : fumier, résidus végétaux, etc.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une installation de ce type. Les documents utiles sont rassemblés en fin d'exercice.

1. La méthanisation.

Vérifier la cohérence entre la composition du biogaz obtenu par méthanisation (document 1) et les données énergétiques présentes dans le document 4.

2. La cogénération.

2.1. Calculer en MW.h (10^6 W.h) la quantité d'énergie libérée en un an par la combustion du biogaz dans cette installation, puis l'ordre de grandeur du volume de biogaz correspondant dans les conditions normales de pression et de température.

2.2. Déterminer, en m^3 , le volume d'eau qui peut être chauffé de 10°C à 70°C chaque année grâce à l'énergie thermique produite par l'installation. Justifier que l'on peut utiliser l'eau chaude produite pour la salle de traite et pour la consommation de plusieurs usagers.

Données :

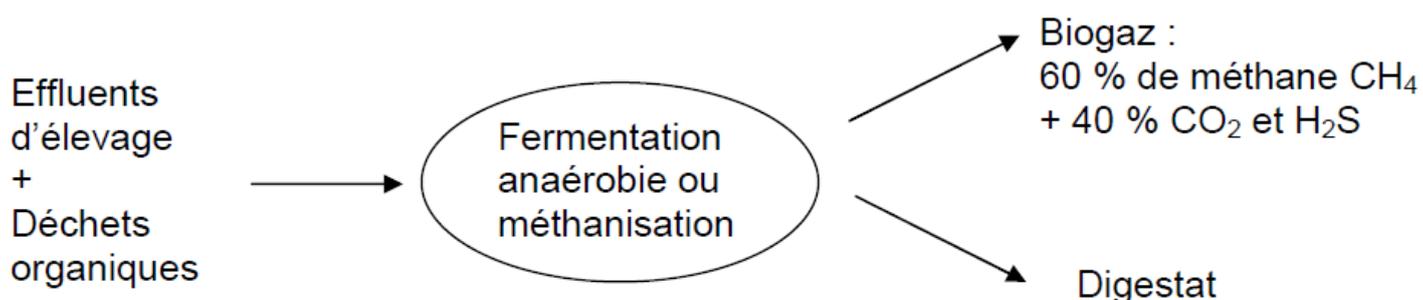
- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- $1 \text{ kW.h} = 3600 \text{ kJ}$
- Masse volumique de l'eau : 1000 kg.m^{-3}

2.3. Calculer l'énergie électrique annuelle produite par le cogénérateur en utilisant la puissance électrique du cogénérateur ($P = 104 \text{ kW}$). Comparer ce résultat avec une autre donnée présente dans le document 3. Interpréter l'écart éventuel constaté.

3. Enjeux environnementaux

En prenant appui sur les documents et les résultats précédents, donner deux arguments montrant l'intérêt environnemental d'un dispositif méthanisation-cogénération dans une exploitation agricole.

Document 1 : Méthanisation

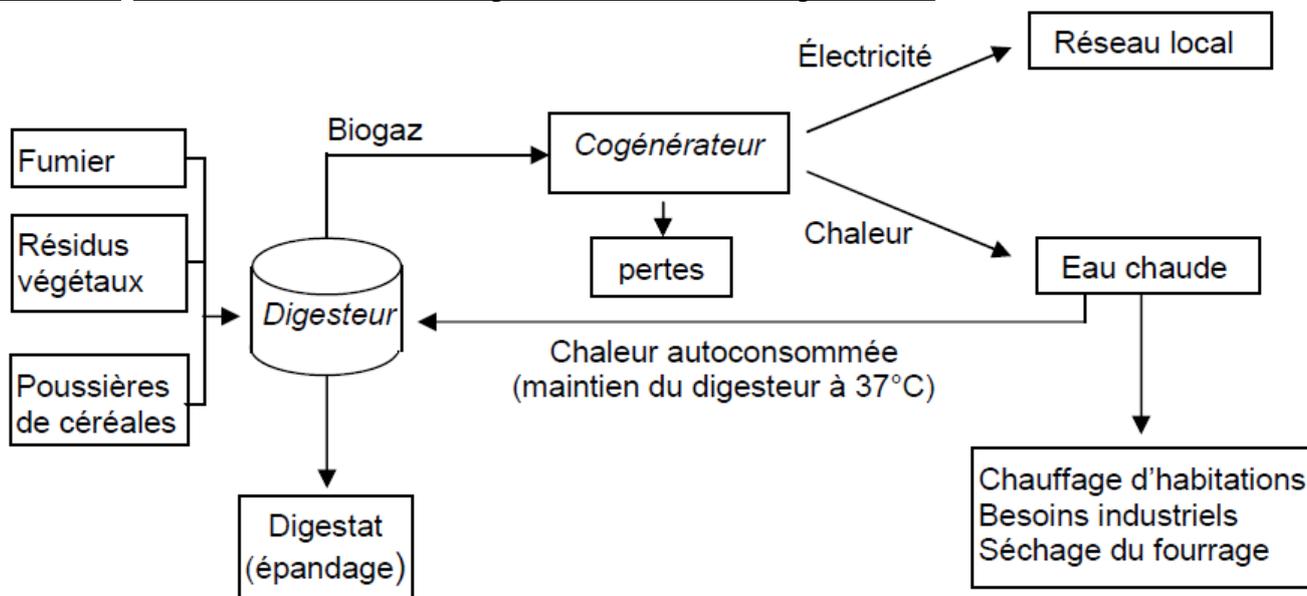


La méthanisation est un processus biologique naturel permettant de valoriser des matières organiques. Pendant 40 à 60 jours, ces matières sont placées à l'intérieur d'une cuve, le digesteur, qui est chauffée et brassée en absence de d'oxygène. La fermentation anaérobie qui a lieu produit un gaz, appelé « biogaz », et un engrais de haute valeur fertilisante, appelé « digestat ».

Schéma de principe de la méthanisation :

D'après <http://www.solagro.org>

Document 2 : Schéma de fonctionnement global d'une unité de cogénération



D'après <http://www.solagro.org>

Document 3 : Caractéristiques d'une installation de cogénération



Le GAEC les Châtelets, sur la commune de Gruffy (74) est une exploitation agricole de type élevage bovin. Ce GAEC a souhaité développer une structure de méthanisation - cogénération, mise en service à l'automne 2009. Cette structure est constituée d'un digesteur en acier (1), d'une trémie d'alimentation (2) et d'un module de cogénération(3).

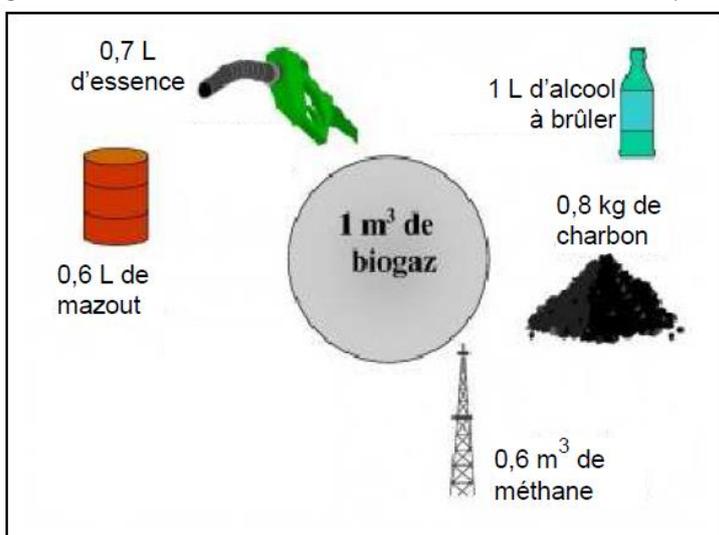
Caractéristiques :

- Digesteur de 675 m³
- Puissance électrique du cogénérateur : 104 kW
- Production annuelle d'énergie par le cogénérateur :
 - thermique : 860 MWh
 - électrique : 830 MWh
- Efficacité énergétique (ou rendement) globale : 70% (rapport de l'énergie totale produite par le cogénérateur à l'énergie issue de la combustion du biogaz)
- 3200 tonnes/an de matière organique valorisée
- Économie de CO₂ : environ 420 tonnes/an
- 200 L d'eau chaude sont consommés par jour dans la salle de traite
- Réseau de chaleur pour plusieurs usagers.

D'après <http://www.cogenerationbiomasserhonealpes.org>

Document 4 : Équivalences énergétiques

Les volumes gazeux sont mesurés dans les conditions normales de pression et de température.



La combustion de 1 m³ de méthane produit une énergie égale à 10 kWh.

D'après www.ecobase21.net

Correction

I. Bivouac à la belle étoile

1.1. Le transfert thermique entre le sol (15°C) et le randonneur allongé (33°C), à travers le matelas, s'effectue spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Le transfert thermique a donc lieu du randonneur vers le sol.

Au niveau microscopique, ce transfert thermique par conduction résulte de l'agitation thermique des molécules du matelas qui se transmet de proche en proche du randonneur vers le sol mais sans transport de matière.

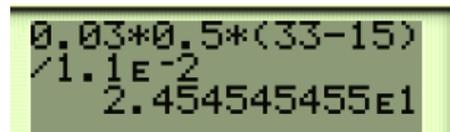
2.1. La surface du matelas est : $S_{\text{matelas}} = 1,93 \times 0,62 = 1,20 \text{ m}^2$.

En admettant que le randonneur occupe environ la moitié de cette surface lorsqu'il est allongé, la surface S du randonneur en contact avec le matelas est $0,5 \text{ m}^2$.

2.2. Flux thermique à travers le matelas « Sleepy » :

$$\phi_S = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{e}{\lambda \cdot S}\right)} = \frac{\lambda \cdot S \cdot \Delta T}{e} = \phi_S = \frac{0,03 \times 0,5 \times (33 - 15)}{1,1 \times 10^{-2}} = 24,5 \text{ W} \approx 2 \times 10^1 \text{ W}$$

en ne conservant qu'un seul chiffre significatif.



```
0,03*0,5*(33-15)
/1,1E-2
2,454545455E1
```

2.3. Le flux thermique du matelas Randy est $\phi_R = 40 \text{ W}$.

Le matelas qui a les meilleures capacités d'isolation thermique est celui qui est traversé par le flux thermique le plus faible. Or $\phi_R > \phi_S$ donc il s'agit du matelas Sleepy.

II. Au bord du précipice

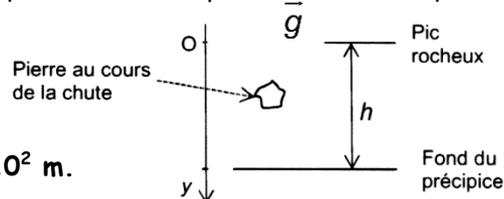
1. Estimation de la hauteur h du précipice. $h = \frac{1}{2} \times 9,8 \times (5,2)^2 = 1,3 \times 10^2 \text{ m}$.

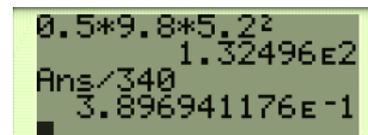
2. On étudie le mouvement de la pierre dans le champ de pesanteur (Référentiel terrestre supposé galiléen).

En l'absence de frottements, l'énergie mécanique se conserve.

$$0 + mgh = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + 0 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Cette vitesse n'est pas négligeable à comparaison de celle du son.





```
0,5*9,8*5,2^2
1,32496E2
Ans/340
3,896941176E-1
```

3. (facultatif) Calculons la durée Δt_{son} nécessaire pour que le son parcourt la

$$\text{hauteur } h \text{ à la célérité } v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} : v_{\text{son}} = \frac{h}{\Delta t_{\text{son}}} \Rightarrow \Delta t_{\text{son}} = \frac{h}{v_{\text{son}}} = \frac{132,49...}{340} = 0,39 \text{ s}$$

Cette durée de 0,39 s n'est pas négligeable par rapport à la durée chronométrée de 5,2 s.

En tenant compte de la durée de propagation du son, la durée de chute réelle $t_{\text{réelle}}$ est plus petite que la durée de chute mesurée : $t_{\text{réelle}} = t_C - \Delta t_{\text{son}} = 5,2 - 0,38969... = 4,8131... \text{ s} = 4,8 \text{ s}$.

La hauteur de chute réelle est alors : $h_{\text{réelle}} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{réelle}}^2 = \frac{1}{2} \times 9,8 \times (4,8)^2 = 1,1 \times 10^2 \text{ m}$.

La hauteur calculée est donc plus grande que la hauteur réelle.

4. Si on tient compte des frottements, $\Delta E_m = W(\vec{F}_f) < 0$. ΔE_{pp} n'étant pas modifiée, nous en déduisons que ΔE_c est plus petit que dans le cas d'une chute libre. La vitesse de la pierre étant plus petite, la durée de chute est plus grande. Si on tient compte des frottements, la hauteur de chute calculée est de nouveau plus grande que la hauteur réelle.

III- Remarque préalable : ce type d'exercice un peu inhabituel peut être déroutant au premier abord.

Il met principalement en jeu la compétence « extraire et exploiter des informations » et la lecture minutieuse de chaque question est primordiale. De plus certaines questions sont divisées en sous questions et il peut être facile de passer à la question suivante en pensant avoir terminé.

1. D'après le doc 1, le biogaz obtenu par méthanisation est composé de 60 % de méthane et 40 % de CO_2 (dioxyde de carbone) et H_2S (sulfure d'hydrogène).

Le doc 4, nous dit qu'1 m^3 de biogaz a la même équivalence énergétique que 0,6 m^3 de méthane.

Ces informations sont bien cohérentes car 1 m^3 de biogaz contient 60 % de méthane (doc 1) soit 0,6 m^3 de méthane. (cela sous-entend que le CO_2 et H_2S n'ont pas de valeurs énergétiques)

2. La cogénération

2.1. D'après le doc 3, la quantité d'énergie libérée en un an par la combustion du biogaz (« production annuelle d'énergie par le cogénérateur ») est 860 MWh (thermique) + 830 MWh (électrique) soit 1690 MWh.

Avant de calculer le volume de biogaz correspondant, il faut tenir compte du rendement de l'installation :

$$\eta = \frac{\text{énergie totale produite}}{\text{énergie issue de la combustion}} = 70 \%$$

$$\Leftrightarrow \text{énergie issue de la combustion} = \frac{\text{énergie totale produite}}{\eta}$$

$$\text{énergie issue de la combustion} = \frac{1690}{0,70} = 2414 \text{ MWh (Valeur non arrondie stockée en mémoire)}$$

Par proportionnalité (doc 4) :

1 m ³ de biogaz (\Leftrightarrow 0,6 m ³ de méthane)	0,6 \times 10 = 6 kWh
V _{biogaz} annuel (m ³)	2414 MWh

$$V_{\text{biogaz}} \text{ annuel} = \frac{1 \times 2414 \times 10^6}{6 \times 10^3} = 4 \times 10^5 \text{ m}^3$$

Soit un ordre de grandeur de 10^5 m^3 pour le volume de biogaz annuel.

2.2. La variation d'énergie interne d'un volume d'eau V_{eau} chauffée de 10°C à 70°C est donnée par la relation :

$$\Delta U = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta T = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta T$$

$$\text{Donc } V_{\text{eau}} = \frac{\Delta U}{\rho_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta T} \text{ (Attention aux unités !)}$$

Avec $\Delta U = 860 \text{ MWh}$ (énergie thermique annuelle) = $860 \times 10^3 \text{ kWh}$

$$\Delta U = 860 \times 10^3 \times 3600 \text{ kJ} \quad (\text{cf. Données: } 1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ})$$

$\Delta T = 70 - 10 = 60^\circ\text{C} = 60 \text{ K}$ (Rq : Lorsqu'il est question d'un écart de température, l'unité de la température K ou °C n'importe pas)

$$c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 4,180 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \text{ (le volume sera donc en m}^3\text{)} \quad V_{\text{eau}} = \frac{860 \times 10^3 \times 3600}{1000 \times 4,180 \times 60} = 1,2 \times 10^4 \text{ m}^3$$

D'après le doc 3, « 200 L d'eau chaude sont consommées par jour dans la salle de traite » ce qui fait donc une consommation annuelle de $200 \times 365 = 73,0 \times 10^3 \text{ L} = 73,0 \text{ m}^3$ (rappel : $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}$).

Ce volume d'eau chaude consommé pour la salle de traite est bien inférieur à $1,2 \times 10^4 \text{ m}^3$ trouvé précédemment donc l'eau chaude peut servir pour la consommation d'autres usagers.

2.3. La puissance P représentant l'énergie fournie par un système à un autre par unité de temps, on peut écrire :

$$P = \frac{E}{\Delta t} \text{ soit } E = P \cdot \Delta t = 104 \times (365 \times 24) = 9,11 \times 10^5 \text{ kWh} = \mathbf{911 \text{ MWh}}$$

kWh
kW
h (unités pratiques)

On constate que l'énergie électrique théorique produite par le cogénérateur (911 MWh) est supérieure à la production annuelle du doc 3 (830 MWh).

Le document 2 montre que le cogénérateur est le siège de pertes, ce qui explique le décalage entre les valeurs.

Par ailleurs, il est probable que le cogénérateur ne fonctionne pas de façon ininterrompue toute l'année.

3. On peut citer comme arguments montrant l'intérêt environnemental d'un tel dispositif : (2 parmi ceux présentés ci-dessous)

- Moins de déchets (3200 tonnes/an de matière organique valorisée)
- Limitation des émissions de gaz à effet de serre (Économie de CO₂ : environ 420 tonnes/an)
- Le digestat sert à l'épandage pour fertiliser la terre.
- L'énergie électrique produite sur l'installation diminue les besoins de production de la centrale électrique (nucléaire ou thermique à flamme) la plus proche et donc limite la production de déchets nucléaires ou la consommation d'énergies fossiles avec émission de gaz à effet de serre, particules et gaz polluants l'atmosphère.

Nom :

Exercice I		
1		/1
2.1		/1
2.2		/1
2.3		/1
Exercice II		
1.		/1
2.		/3
3.		/1
4.		/2

Exercice III		M	NM	
Problématisation	Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie			/1
	Identifier la complémentarité d'informations présentées sous des formes différentes (texte, graphe, tableau,...)			
Analyse	Faire un schéma modèle.			/3
	Identifier les grandeurs physiques pertinentes et leurs articulations, leur attribuer un symbole. Relier qualitativement ou quantitativement différents éléments du ou des documents			
	Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées.			
	Relier le problème à une situation modèle connue.			
Réalisation	Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.			/4
	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée.			
	Savoir mener efficacement les calculs analytiques ...			
	... et la traduction numérique (calculs, gestion des unités, des chiffres significatifs,...)			
Communication	Rédiger/présenter une synthèse, une analyse, une argumentation,... (clarté, ...)			/1
	S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse			