

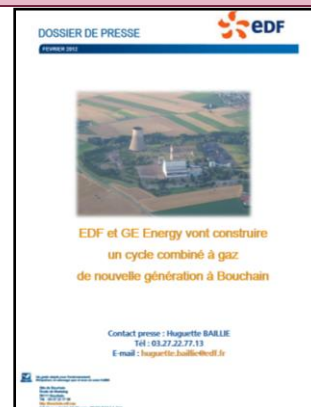
DESCRIPTIF DE SUJET DESTINE AU PROFESSEUR

Objectif	Initier les élèves de première S à la démarche de résolution de problème telle qu'elle peut être proposée en terminale S.
Compétences exigibles du B.O.	<i>Programme de première S : Energie électrique ; production de l'énergie électrique ; conversion de l'énergie chimique ; énergie libérée lors de la combustion d'un hydrocarbure</i>
Déroulement	<p>Cette activité peut être proposée comme exercice de devoir surveillé ou de devoir maison, ou bien en séance d'AP pour préparer les élèves à ce type d'exercice.</p> <p>Durée : 50 minutes.</p> <p>Cet exercice est prévu pour être évalué sur 5 pts, 10 pts ou autre (la feuille de calcul permettant de choisir le nombre de points retenu), selon le format du devoir proposé.</p> <p>Dans le cas où cette activité serait proposée en phase d'apprentissage, on pourra supprimer les questions préalables.</p>
Compétences évaluées	<ul style="list-style-type: none"> • S'approprier (APP) : coefficient 2 • Analyser (ANA) : coefficient 4 • Réaliser (REA) : coefficient 2 • Valider (VAL) : coefficient 1 • Communiquer (COM) : coefficient 1
Remarques	<p>Les connaissances nouvelles qui ne sont pas au programme sont apportées par le biais des documents.</p> <p>Sources : EDF ; site lenergieenquestion.fr Pour un complément : http://energie.edf.com/thermique/une-energie-pour-demain/les-cycles-combines-gaz/quyest-ce-quyun-cycle-combine-gaz-47869.html</p>
Auteur	Patrick Cransac – lycée Jacques Cœur – Bourges (18)

CONTEXTE

Vous êtes membre bénévole de l'association écologique « Halte au feu », qui s'intéresse plus particulièrement au problème des gaz à effet de serre. Connaissant votre formation de scientifique, le comité directeur de l'association vous demande d'estimer le bilan carbone d'une nouvelle centrale électrique thermique à flamme du type « Cycle Combiné Gaz » construite par les sociétés EDF et Général Electric.

L'objectif de l'exercice est de comparer, à l'aide des documents ci-après, votre résultat à celui fourni par le constructeur.



VOTRE PORTE DOCUMENTS (4 documents)

Doc. 1 : Présentation de la centrale de Bouchain

Le document est un extrait du dossier de presse de la future centrale électrique de Bouchain.



1. Un projet de cycle combiné gaz pour 2015

Le site est situé dans le département du Nord, sur la commune de Bouchain, à proximité de Valenciennes, Douai et Cambrai et implanté en bordure du canal de l'Escaut.

Un partenariat entre EDF et Général Electric

Dans le cadre de la modernisation des centrales thermiques à flamme d'EDF, Henri Proglio, Président du groupe EDF a annoncé le 8 décembre 2011, la construction d'une nouvelle unité de production à Cycle Combiné Gaz (CCG) de 510 MW sur le site de Bouchain.

EDF et General Electric (GE) Energy ont conclu un partenariat pour le co-développement du premier cycle combiné gaz de nouvelle génération équipé de la technologie FlexEfficiency50 de GE Energy. Ce cycle combiné gaz, dont la mise en service est prévue en 2015, aura une capacité installée de 510 MW, ce qui permettra d'alimenter en électricité l'équivalent de 600 000 foyers français.

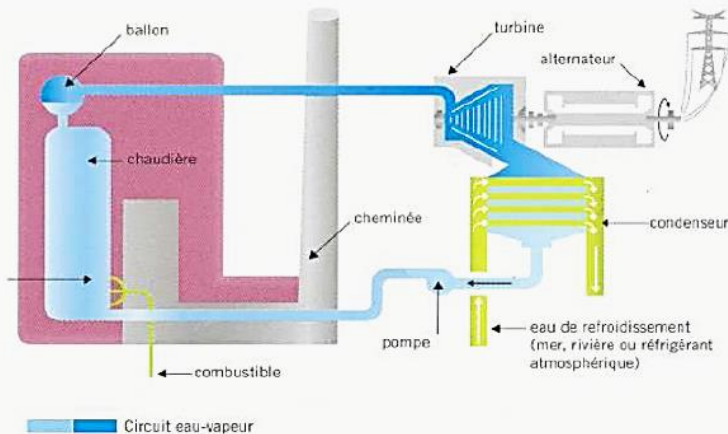
Les atouts du CCG pour l'environnement

La construction de ce CCG vient prolonger les efforts consentis par EDF en limitant depuis 2008 le nombre d'heures de fonctionnement de la centrale charbon de Bouchain. Le remplacement de la centrale charbon par le CCG en 2015 marque une nouvelle étape dans l'engagement d'EDF en faveur de l'environnement. Avec un rendement de 61 % (contre 58% pour un CCG classique et 37% pour une centrale charbon) ce cycle combiné gaz présente des performances environnementales renforcées : à production égale, les émissions de CO₂ sont diminuées de moitié par rapport à une centrale charbon classique, les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) par trois et celles d'oxydes d'azote (NOX) par 20 fois. Quant aux émissions de poussières, elles sont vraiment très limitées, du même ordre que celles des centrales charbon de dernière génération et plus de 30 fois inférieures à celles des centrales moins performantes sur ce plan.

Doc. 2 : Les centrales thermiques à flamme

LE PRINCIPE

Les centrales thermiques à flamme fonctionnent à partir de ressources naturelles : charbon, fioul ou gaz. Le combustible, une fois brûlé, chauffe l'eau située dans des tubes qui tapissent les parois de la chaudière. La chaleur transforme ainsi l'eau en vapeur, qui actionne la turbine, qui elle-même entraîne l'alternateur. La centrale produit alors de l'électricité. Ensuite la vapeur est refroidie en eau, puis repart vers la chaudière pour un nouveau cycle.



LE COMBUSTIBLE

Dans les centrales à charbon, le combustible est broyé sous forme de poudre, puis brûlé dans la chaudière pour dégager de la chaleur. Dans les centrales au fioul, le combustible est injecté par les brûleurs, en très fines gouttelettes, dans la chaudière. Quant au gaz, il est utilisé sous deux formes : naturel pour les cycles combinés gaz ou sidérurgique pour les centrales traditionnelles.

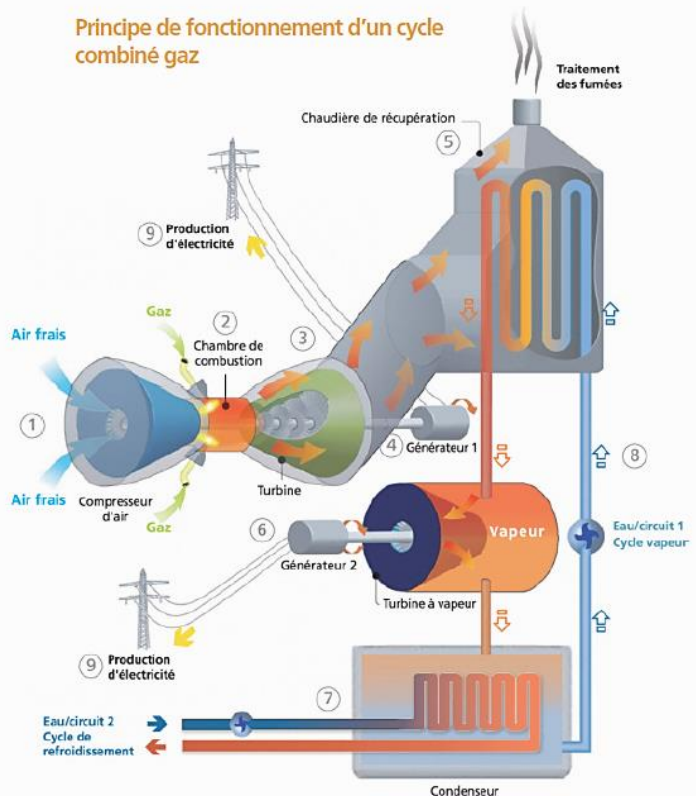
ZOOM sur La production

En 2012, le parc thermique à flamme d'EDF en France a produit 14,9 TWh, soit 3,3% de la production d'électricité d'EDF en France.

QU'EST-CE QU'UN CYCLE COMBINÉ GAZ (CCG) ?

Un cycle combiné gaz est composé d'une turbine à combustion (TAC) et d'une turbine à vapeur (TAV). Dans un premier temps, le gaz naturel fait fonctionner la TAC. Ensuite, les gaz chauds d'échappement de la TAC sont utilisés pour produire de la vapeur, dirigée vers une deuxième turbine, la TAV. La TAC et la TAV entraînent alors un ou deux alternateurs. La même quantité de combustible sert à une double production d'électricité : celle de la TAC et celle de la TAV. Les cycles combinés gaz permettent de réduire de moitié les émissions atmosphériques de dioxyde de carbone (CO₂), de diviser par trois les oxydes d'azote et de réduire fortement les émissions d'oxydes de soufre. Ces nouvelles installations contribuent à améliorer les performances environnementales du parc thermique à flamme d'EDF.

Principe de fonctionnement d'un cycle combiné gaz



BON À SAVOIR

Les centrales thermiques au charbon fonctionnent entre 2 500 et 5 000 heures/an, celles au fioul fonctionnent entre 200 et 1500 heures/an et les TAC quelques dizaines à centaines d'heures/an. Les CCG devraient fonctionner entre 2 000 et 4 000 heures par an.

5

Doc : Note energie thermique 2013.pdf/EDF

Doc. 3 : Article (extrait) : gaz naturel

Le pouvoir calorifique (ou énergie de combustion) d'un combustible est la quantité de chaleur exprimée en kWh ou MJ, qui serait dégagée par la combustion complète de un (1) mètre cube normal ($m^3(n)$) de gaz sec dans l'air à une pression absolue constante et égale à 1,01325 bar, le gaz et l'air étant à une température initiale de 0 °C (zéro degré Celsius), tous les produits de combustion étant ramenés à 0 °C et une pression de 1,01325 bar.

Le pouvoir calorifique du gaz naturel s'exprime en MJ ou kWh par mètre cube normal.

On distingue deux pouvoirs calorifiques : le pouvoir calorifique supérieur PCS et le pouvoir calorifique inférieur.

$$PCS = PCI + \text{Chaleur latente de condensation (ou de vaporisation) de l'eau}$$

- PCS = pouvoir calorifique supérieur
C'est la quantité de chaleur exprimée en kWh ou MJ, qui serait dégagée par la combustion complète de un (1) mètre cube normal de gaz. La vapeur d'eau formée pendant la combustion étant ramenée à l'état liquide et les autres produits de combustion étant à l'état gazeux.
- PCI = pouvoir calorifique inférieur
Il se calcule en déduisant du PCS la chaleur de vaporisation (2 511 kJ/kg) de l'eau formée au cours de la combustion et éventuellement de l'eau contenue dans le combustible.
- Chaleur latente de vaporisation
La combustion d'un hydrocarbure génère, entre autres, de l'eau à l'état de vapeur. Pour la vaporisation de 1 kg d'eau, 2 511 kJ de chaleur sont nécessaires.

La récupération de chaleur de condensation [changement d'état inverse de la vaporisation] est particulièrement judicieuse pour le gaz naturel, qui contient (à plus de 90 %) principalement du méthane, CH_4 , gaz qui a la plus grande proportion d'atomes d'hydrogène par molécule (4 H pour un C). Cet hydrogène se combine avec l'oxygène au cours de la combustion pour produire de la chaleur et de l'eau, immédiatement vaporisée et mélangée avec les autres produits de combustion (essentiellement du CO_2).....

Rapport PCI/PCS pour le gaz naturel : environ 0,9028

Pour le gaz naturel, on distingue :

- les gaz « type B » (ou « type L »)
Ils sont distribués dans le Nord de la France. Ils ont un pouvoir calorifique supérieur compris entre 9,5 et 10,5 kWh/ $m^3(n)$. C'est essentiellement le cas du gaz de Groningue (en provenance des Pays-Bas). Ce gaz se distingue par sa teneur élevée en azote.
- les gaz « type H »
Ils sont distribués sur le reste du territoire français. Ils ont un pouvoir calorifique supérieur compris entre 10,7 et 12,8 kWh/ $m^3(n)$.

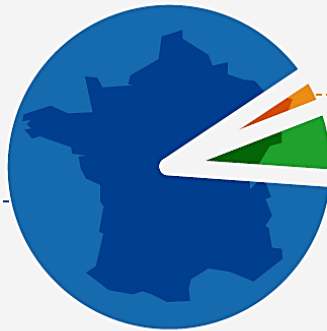
http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Gaz_naturel&oldid=101693717#Pouvoir_calorifique

QUELLES ÉMISSIONS DE CO₂ ?

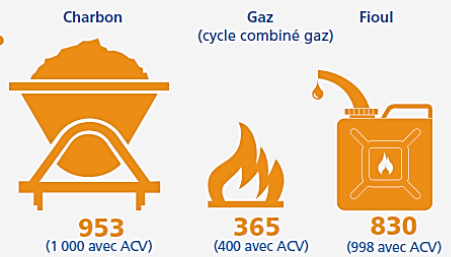
Niveau d'émissions de CO₂ par filière de production d'électricité
Source : Observatoire de l'électricité

90 %

de la production électrique en France se fait sans émissions de CO₂ grâce au nucléaire (75 %) et aux énergies renouvelables (15 %) qui produisent 0 g/kWh de CO₂ (5 g avec ACV).



Émissions de CO₂ par l'énergie thermique (en g/kWh)



QU'EST-CE QUE L'ACV (ANALYSE DU CYCLE DE VIE) ?

Le contenu avec ACV (analyse du cycle de vie) prend en compte l'ensemble du CO₂ émis au cours de toutes les étapes du cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières, en passant par la fabrication, le transport, la distribution, la gestion des déchets, etc.



www.lenergieenquestions.fr/production-deelectricite-et-emissions-de-co2-en-france-infographie

RESOLUTION DE PROBLEME

Question(s) préalable(s) :

1. Retrouver le rendement de la nouvelle centrale.
2. Le rendement de la centrale étant mesuré par rapport au PCI, déterminer le PCI du combustible utilisé dans cette centrale.
3. Ecrire l'équation chimique équilibrée de la combustion du méthane.

Problème :

A l'aide des documents ci-dessus, estimer l'émission de CO₂ de la nouvelle centrale électrique de Bouchain, comparer votre résultat aux données du constructeur et commenter l'écart obtenu.

Données :

Un mètre cube normal {1 m³(n)} contient 44,6 mol de gaz.
Masses molaires atomiques (en g.mol⁻¹) : H = 1 ; C = 12 ; O = 16

Remarque :

L'analyse des données, la démarche suivie et l'analyse critique du résultat sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.

Correction possible :

Question préalable :

- Le rendement de la centrale est de 61 % (doc. 1).
- Le rapport PCI/PCS vaut environ 0,90 d'après le doc. 3.
La centrale est située dans le Nord (doc. 1) ; on peut donc estimer qu'elle sera alimentée par du gaz de type B, de pouvoir calorifique supérieur (PCS) moyen égal à 10 kWh/m³(n) (doc. 3).
Ainsi, le PCI du gaz naturel utilisé est de 9 kWh/m³(n).
- Equation de combustion du méthane : $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Résolution :

- La centrale étudiée (de type CCG – doc. 1) brûle du gaz naturel (GN). La chaleur dégagée par la combustion sert à chauffer de l'eau, qui, transformée en vapeur, entraîne une turbine liée à un alternateur (doc. 2).
- Le gaz naturel contient principalement du méthane (doc 3). On raisonnera comme si c'était du méthane pur.
- En assimilant le GN au méthane, calculons l'énergie de combustion E_1 par mol de méthane :
Dans 1 m³(n), il y a 44,6 mol de méthane, soit :
 $E_1 = 9 / 44,6 = 0,202 \text{ kWh/mol}$.
- La centrale ayant un rendement de 61 %, on en déduit que l'énergie électrique E_2 obtenue par la combustion d'une mol de méthane sera :
 $E_2 = 0,61 \times 0,202 = 0,123 \text{ kWh/mol méthane}$
- D'après l'équation de la réaction de combustion, une mole de méthane produit une mole de CO₂ gazeux.
- Calcul des masses molaires : $M(\text{CH}_4) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Le résultat précédent indique donc que la combustion de 16 g de méthane (1 mol) produit 44 g de dioxyde de carbone et 0,123 kWh d'électricité.
La masse m de CO₂ produite par kWh d'électricité est donc donnée par :
 $m = M(\text{CO}_2)/E_2 = 44 / 0,123 = 358 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$, soit un résultat de 360 g CO₂/kWh.
- L'émission de CO₂ par ces centrales est de 365 g ; c'est la masse de CO₂ par kWh électrique produit (doc. 4).
- On trouve un résultat qui coïncide avec la donnée du doc. 4 (365 g). L'écart relatif est de moins de 2 %.

Barème :

Compétences évaluées	Critère de réussite correspondant au niveau A	A	B	C	D
S'approprier <i>Extraire des informations.</i> <i>Mobiliser ses connaissances.</i> <i>Identifier des grandeurs physiques pertinentes.</i>	Retrouver que la centrale émet environ 365 g de CO ₂ par kWh d'électricité produite (doc. 4).				
	Retrouver le PCS (gaz naturel distribué dans le nord d'après le doc. 3), puis le PCI avec le rapport PCI/PCS fourni dans le doc. 3 (0,90).				
	Retrouver le rendement de la transformation énergétique (61 % d'après le doc. 1)				
Analyser <i>Organiser et exploiter ses connaissances ou les informations extraites.</i> <i>Construire les étapes d'une résolution de problème.</i>	Assimiler le GN au méthane.				
	Déterminer l'énergie de combustion par mol de méthane ou par m ³ normal.				
	Déterminer l'énergie électrique libérée par la combustion d'une mole de méthane (ou d'un m ³ normal) en utilisant le rendement.				
	Exprimer la relation entre la quantité de matière de méthane consommé et la quantité de CO ₂ produit.				
	Déterminer la masse de CO ₂ libérée par kWh électrique produit.				

Réaliser <i>Effectuer des calculs littéraux ou numériques. Mener la démarche afin de répondre au problème posé.</i>	Ecrire l'équation chimique équilibrée de l'équation de la réaction.				
	Mener des calculs techniquement justes indépendamment d'erreurs résultant d'une mauvaise analyse.				
	Maîtriser correctement les unités.				
Valider <i>Faire preuve d'esprit critique. Discuter de la pertinence du résultat trouvé.</i>	Calculer l'écart relatif entre la valeur trouvée par le calcul et le résultat figurant dans le document 4.				
	Commenter le résultat.				
Communiquer <i>Rédiger une réponse.</i>	Décrire clairement la démarche suivie et montrer ainsi de manière structurée les étapes de la résolution.				

Niveau A : les indicateurs choisis apparaissent dans leur (quasi)totalité

Niveau B : les indicateurs choisis apparaissent partiellement

Niveau C : les indicateurs choisis apparaissent de manière insuffisante

Niveau D : les indicateurs choisis ne sont pas présents

Obtention « automatisée » de la note :

On utilisera la feuille de notation au format tableur qui permettra d'obtenir une note (soit arrondie à l'entier le plus proche soit au demi-entier) à partir du tableau de compétences complété.

La feuille de calcul ci-après présente une notation sur 10 points. La modification du contenu de la cellule H1 (nombre total de points) pourra permettre d'ajuster le total à n'importe quelle autre valeur.

Evaluation d'une activité évaluée par compétences notée sur : 10 points									
		Nom							
		Prénom							
Compétence	Coefficient	Niveau validé				Notes par domaines			
		A	B	C	D			Niveau	Note
S'approprier	2	X				3		A	3
Analyser	4	X				3		B	2
Réaliser	2	X				3		C	1
Valider	1	X				3		D	0
Communiquer	1	X				3			
Somme coeff.	10					Commentaire			
Note max	30								
Note brute		30							
Note sur	20	20,0							
Note sur	10	10,0							
Note arrondie au point		10,0							
Note arrondie au 1/2 point		10,0							