BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Durée de l'épreuve : **4 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 29 pages numérotées de 1/29 à 29/29.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (12 points)

Le bateau nettoyeur des mers

- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 8
- **Documents techniques**..... pages 9 à 13
- **Documents réponses** ..... pages 14 à 16

Mise en situation

Chaque minute, 17 tonnes de déchets plastiques sont déversées dans les océans. Selon l'ONU, si aucune mesure n'est prise, ces derniers contiendront plus de déchets plastiques que de poissons (en poids) d'ici à 2050. Agir contre cette pollution plastique est donc une priorité mondiale. C'est dans ce sens que l'association *The SeaCleaners*, fondée en 2016, a dévoilé le concept de ce premier bateau-usine éco-conçu pour collecter, traiter et valoriser les déchets plastiques marins.

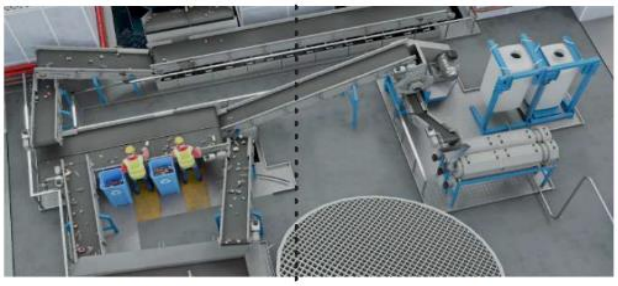
Ce bateau, appelé Manta, dont le fonctionnement est inspiré par une approche biomimétique et à bord duquel tout est récupéré, rien n'est gaspillé, est unique au monde. Alimenté par des énergies renouvelables à hauteur de 40 à 75 % du besoin globale en énergie (en fonction des opérations et des conditions météorologiques), il est capable de traverser les océans pour intervenir le long des côtes les plus polluées du monde.

Au-delà de sa vocation de « nettoyeur des mers », les missions assignées au Manta sont de :

- contribuer à la transition écologique dans les pays affectés par la pollution plastique, par la démonstration et la diffusion de solutions innovantes pour la gestion et le traitement des déchets plastiques ;
- recevoir du public à bord, lorsque le bateau est à quai, pour des opérations de sensibilisation et d'éducation à la pollution plastique ;
- accueillir des missions scientifiques internationales sur la quantification, la caractérisation et la localisation des nappes de déchets plastiques.

Ces missions font du Manta une solution complète de lutte contre la pollution plastique, à la fois corrective et préventive.

Grâce à son usine embarquée, les déchets triés manuellement sont traités et valorisés par une unité de conversion énergétique, capable de transformer le plastique collecté en énergie. L'objectif du Manta est de débarrasser les océans de 500 tonnes de déchets plastiques par an.



La propulsion du bateau est assurée par un système hybride combinant 1 500 m² de voiles et des moteurs électriques. Une partie de l'énergie nécessaire à l'alimentation des équipements électriques est produite par deux éoliennes, environ 700 m² de panneaux photovoltaïques, des hydro-générateurs ainsi que l'unité de valorisation énergétique des déchets. Des batteries électriques permettent le stockage de l'énergie produite. Ces éléments sont repris graphiquement dans un diagramme de définition des blocs (cf. DT3).

Ce projet de dépollution des milieux marins est en cours de développement.

Travail demandé

Partie 1 – Comment agir durablement sur la dépollution des océans ?

Si aucune mesure urgente n'est prise, des millions de tonnes de plastique pénètreront dans l'océan chaque année. La quantité triplera d'ici à 2040.

Il s'agit donc d'agir vite mais surtout de manière durable, ce qui est un des objectifs du Manta auquel cette partie s'intéresse.

Question 1.1 DT1	Pour chacun des trois piliers du développement durable, **relever** deux arguments justifiant la réalisation du Manta.
Question 1.2 Mise en situation	**Quantifier** le tonnage annuel des rejets de plastique en mer. **Déduire** le pourcentage de quantité de plastiques pouvant être collectés par le Manta durant cette période.
Question 1.3 DT2	En dehors de la collecte et du traitement des déchets, **identifier** sur le document technique, les autres exigences fonctionnelles du Manta dans le cadre de la dépollution des océans.
Question 1.4	**Conclure** sur l'impact global du Manta sur la dépollution des océans.

Partie 2 – En quoi les 4 modes de collecte permettent une récupération suffisante des déchets ?

Afin de collecter les déchets, le bateau possède différents dispositifs. Ces dispositifs de collecte ont des caractéristiques qui permettent une adaptation optimale aux zones d'intervention.

L'objectif est de quantifier les quantités de déchets collectés par ces différents moyens de collecte.

Question 2.1 DT4	À partir du document technique, **citer** les 4 moyens de collecte pouvant être utilisés lors d'une mission du Manta.

Les deux questions suivantes portent seulement sur la récupération des déchets par le système de collecte de surface.

La vitesse V_C de collecte du bateau est en moyenne de 2,5 nœuds.

La surface S_R de mer ratissée par ce système de collecte est donnée par la relation suivante :

$$S_R = L_m \cdot V_C$$

avec **S_R :** surface de mer ratissée en $km^2 \cdot h^{-1}$

L_m : envergure de collecte en km

V_C : vitesse de collecte en $km \cdot h^{-1}$

Question 2.2
DT3

Convertir la vitesse de collecte V_C en $km \cdot h^{-1}$ puis **calculer** la surface de mer ratissée S_R en $km^2 \cdot h^{-1}$.

Donnée : 1 nœud = 1,857 $km \cdot h^{-1}$

Dans les zones de collecte ciblées par le Manta, la densité des déchets σ_d est particulièrement élevée et estimée à 250 $kg \cdot km^{-2}$.

Question 2.3
DT4

Déterminer la masse horaire M_h en kg de déchets récoltés dans ces zones de collecte.

En déduire la masse journalière M_j en tonne de déchets récoltée.

En prenant en compte les 4 modes de collecte, la masse totale de déchets récoltée M_{tdr} par le Manta en une journée est estimée à M_{tdr} = 1,7 tonnes.
Pour des raisons de maintenance, l'unité de conversion des déchets plastiques ne fonctionne que 22 heures par jour.

Question 2.4
DR1

Déterminer la capacité de traitement de l'unité de conversion des déchets plastiques par un tracé sur le document réponse avec la contrainte de laisser les traits de construction apparents.

Conclure quant à la capacité du Manta à traiter les déchets récoltés sur une journée.

Question 2.5
DT4

Calculer la masse totale annuelle M_{tot} en tonne de déchets récoltés par le Manta.

Conclure quant à la capacité du Manta à respecter son objectif annuel de traitement de déchets.

Partie 3 – Comment quantifier et qualifier la rentabilité des équipements de production d'énergie renouvelable sur le Manta ?

Conformément aux exigences réglementaires internationales, le Manta est pourvu de quatre générateurs diesel afin d'assurer la sécurité de l'équipage et les manœuvres à basse vitesse. Ces générateurs alimentent en énergie les moteurs électriques de propulsion. Dans le but de réduire au strict minimum l'utilisation des générateurs diesel, impactante d'un point de vue environnemental et financier, plusieurs équipements de production d'énergie renouvelable sont embarqués.

La situation envisagée est celle d'une phase de transit de 21 jours, à raison de 20 heures de navigation par jour. Une journée type de ce transit est caractérisée par 6 heures d'ensoleillement permettant de produire une puissance moyenne de 110 kW.

L'objectif est de réaliser l'analyse de la rentabilité des équipements de production d'énergie renouvelable embarqués.

Question 3.1	**Déterminer** la quantité d'énergie en kW·h produite par l'installation photovoltaïque lors d'une journée type.
Question 3.2 DR2	Pour l'équipement de production d'énergie photovoltaïque, **renseigner** la case « Énergie produite durant le transit ».
Question 3.3 DT3 DR2	Pour les deux autres équipements de production d'énergie, **renseigner** les colonnes « Équipement de production d'énergie embarqué », « Puissance maximale disponible » et « Taux de disponibilité » du tableau du document réponse à partir des informations données par le diagramme de définition des blocs.

Le taux de disponibilité est le rapport, exprimé en pourcentage (%), entre la puissance réellement disponible et la puissance maximale disponible.

Question 3.4 DR2	**Calculer** et **reporter** sur le document réponse la puissance réellement disponible sur un transit pour chacun des équipements considérés.
Question 3.5 DR2	**Calculer** et **reporter** sur le document réponse la valeur de l'énergie produite par chaque équipement. **En déduire** et **reporter** celle de l'énergie totale produite à bord sur cette même durée.

Sur ce type de transit, le besoin global en énergie E_{gl}, pour propulser le Manta, s'élève à 110 MW·h.
Les générateurs diesel du Manta consomment, en moyenne, $Cons_{moy}$ = 215 g·kWh^{-1} de fioul. Le prix d'achat du fioul C_{fioul} est fixé à 1000 €·t^{-1}.

Question 3.6	En l'absence d'équipements de production d'énergie embarqués, **déterminer** le montant de la consommation de fioul $Cons_{fioul}$ en € à ajouter lors d'un transit.

Les équipements de production d'énergie renouvelable embarqués E_{emb} produisent 72 MW·h sur le transit considéré. L'énergie stockée dans des batteries E_{stk} en raison de l'intermittence des sources de production subvient en partie aux besoins énergétiques du bateau.

Question 3.7	**Déterminer** le pourcentage d'énergie fournie par les équipements de production embarqués. **Comparer** ce pourcentage à ceux évoqués dans la mise en situation.

Question 3.8	**Déterminer** le montant économisé en fioul grâce à l'installation des équipements de production d'énergie renouvelable embarqués.

Les équipements de production d'énergie renouvelable du bateau ont un coût d'investissement de l'ordre de 690 k€.
Lors d'un projet expérimental comme celui du Manta, la qualification du projet sera annoncée de la manière suivante :

- « Validée » par les investisseurs si le temps de retour sur investissement est inférieur à 2 ans
- « Discutable » avec les investisseurs si le temps de retour sur investissement est compris entre 2 et 3 ans
- « Rejetée » par les investisseurs si le temps de retour sur investissement est supérieur à 3 ans

Question 3.9	**Calculer** le temps de retour sur investissement en années des équipements de production d'énergie renouvelable embarqués. **Déduire** et **argumenter** la qualification de ce projet expérimental.

Partie 4 – Comment choisir les matériaux les plus adéquats pour la construction de la coque ?

La détermination du matériau le plus adapté à la réalisation de la coque du Manta est à mener à partir des critères de résistance aux chocs, de capacité de charge, d'entretien, de recyclabilité et de masse.

Question 4.1 DT5 DR3	Afin de comparer les avantages et les inconvénients des matériaux disponibles en fonction des caractéristiques des matériaux envisagés pour la coque, **compléter** le tableau du document réponse de la manière suivante : • "+1" si le matériau répond positivement au critère ; • "-1" si le matériau présente un inconvénient pour ce critère.
Question 4.2 DT5 DR3	Sur la base de cette analyse, **choisir** le matériau le plus adapté à la réalisation de la coque du bateau.

La pollution plastique est une catastrophe écologique planétaire :

- **1,5 million d'animaux** meurt chaque année à cause de la pollution plastique (source IRD).
- **Plus de 100 000 mammifères marins** meurent chaque année (source UNESCO).
- **1 million d'oiseaux** meurent chaque année (source UNESCO).
- **3 800 espèces** sont impactées (source WWF)
- **Un quart des décès des oiseaux de mer** est lié à la consommation de plastique (source UNESCO).
- **30 % des poissons et 90 % des oiseaux marins** ont ingéré du plastique durant leur cycle de vie (source IRD).
- Le coût de la pollution plastique pour les industries du tourisme et de la pêche est estimé à **13 milliards d'euros** (source PNUE).
- En 2018, le programme des Nations Unies pour l'environnement a placé la question du plastique dans l'océan **parmi les six urgences environnementales** les plus préoccupantes.

Et pour l'humain ?

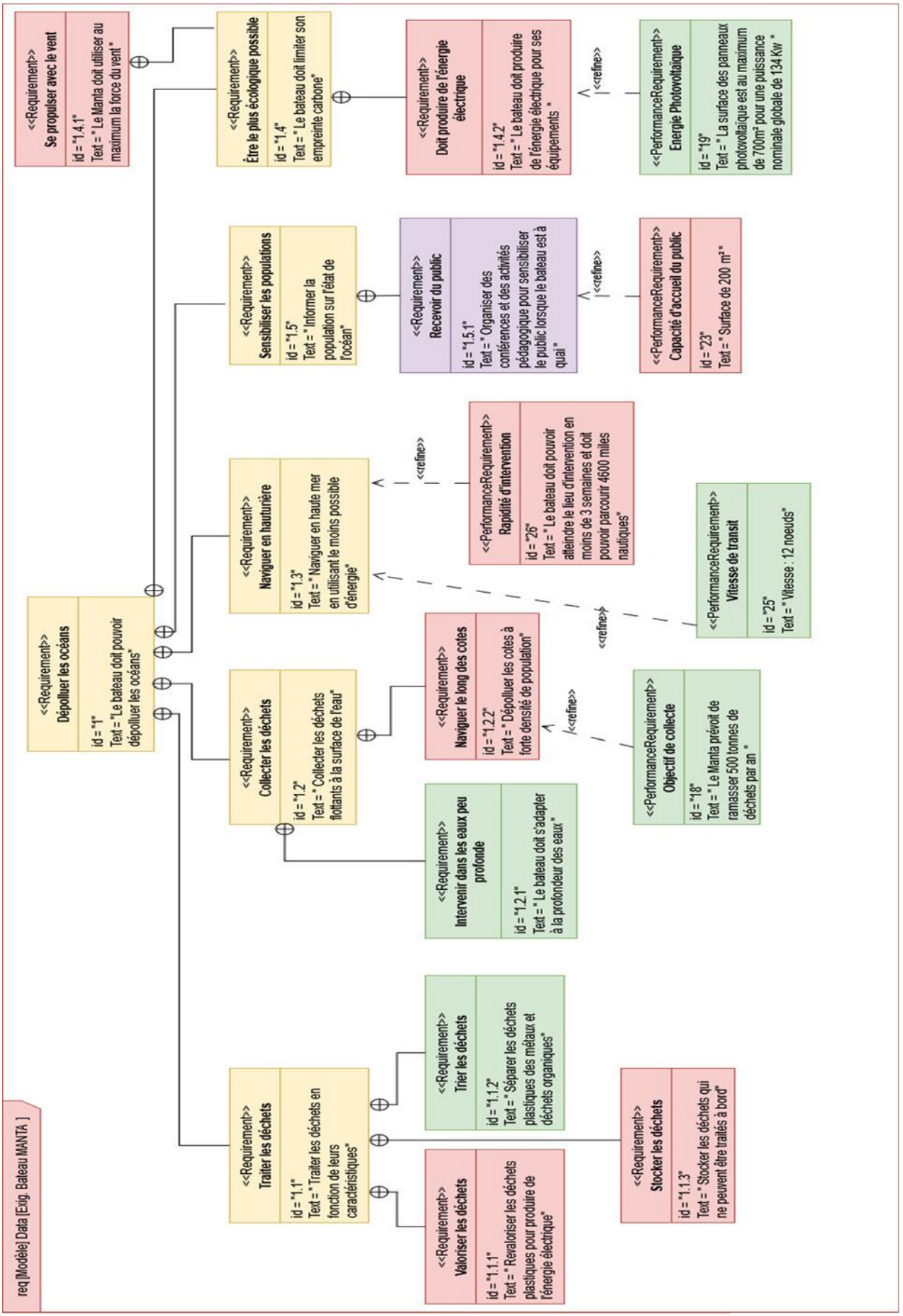
- Nous ingérons ou inhalons environ **121 000 microparticules de plastique** chaque année via notre alimentation, notre consommation d'eau ou en respirant, avec un impact sur notre santé encore peu connu.

Dans **les pays en développement**, les communautés locales n'ont pas toujours les structures, ni les capacités de financement pour gérer le fardeau environnemental, sanitaire, social et culturel de la pollution plastique.

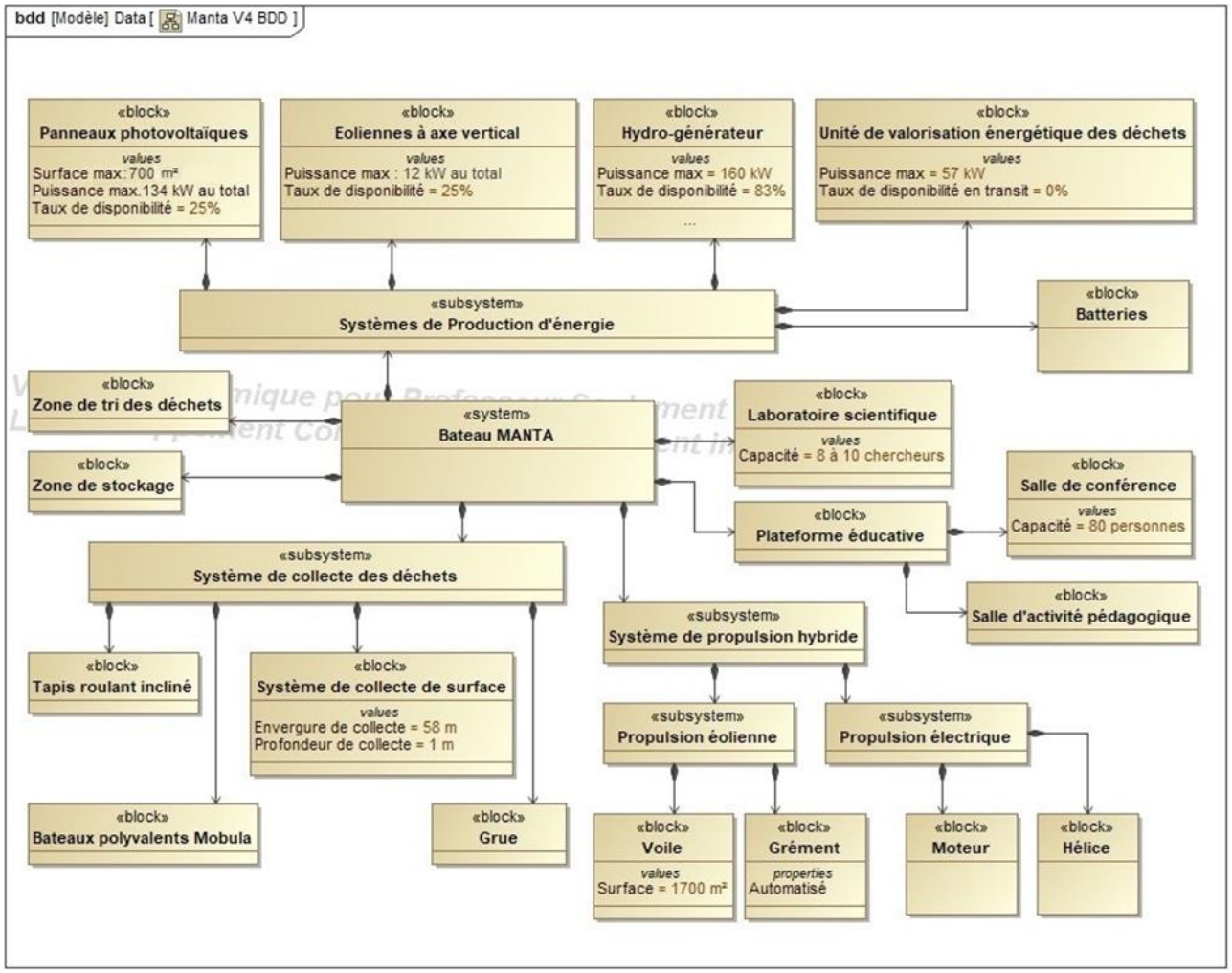
La pollution plastique contribue à **perpétuer ces inégalités** en mettant en péril l'accès à l'eau potable, le contrôle des nuisibles et des maladies.

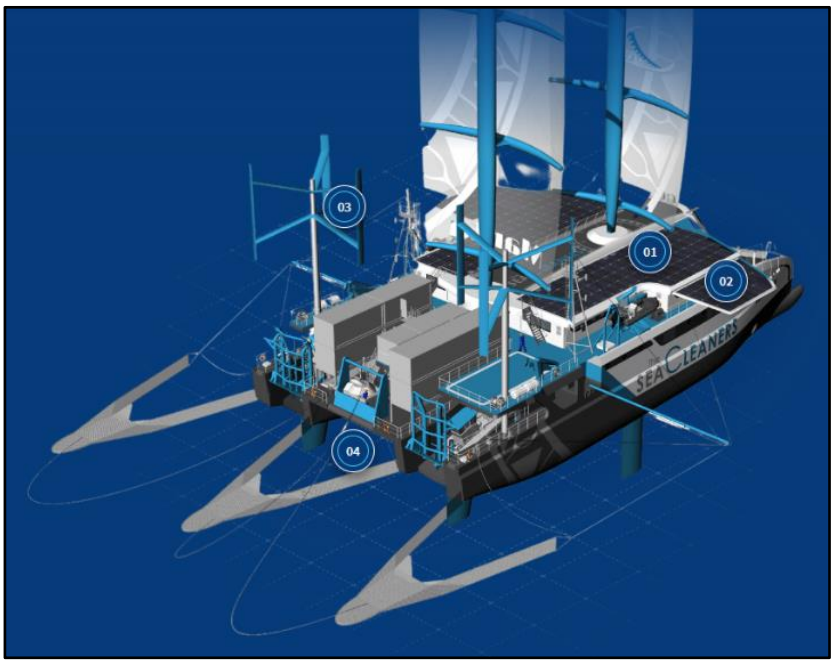
D'ici à 2040, les déchets plastiques devraient présenter un **risque financier** annuel de 670 milliards de dollars US pour les entreprises et les gouvernements qui devront en supporter les coûts de gestion aux volumes prévus.

DT2 – Exigences bateau nettoyeur des mers



DT3 – Équipements de production d'énergie renouvelable embarqués





01 : panneaux photovoltaïques fixes

02 : panneaux photovoltaïques sur ailes rétractables

03 : éoliennes

04 : hydro-générateurs

DT4 – Collecte des déchets en mer

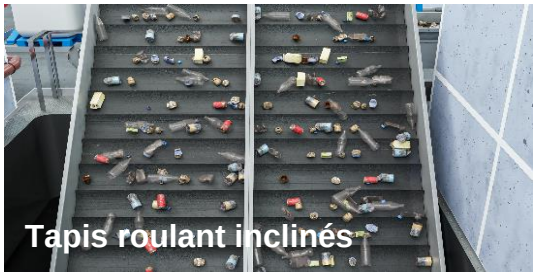
« *Concilier performance et sobriété : c'est ainsi que nous avons conçu notre catamaran, inspirés par une approche biomimétique.* »

De même que pour se nourrir, la raie Manta nage la gueule ouverte, filtrant l'eau pour avaler plancton, méduses, et autres crustacés, le Manta avale des déchets plastiques pour nourrir ses équipements de propulsion et mener à bien ses missions de dépollution.

QUATRE MOYENS DE COLLECTE COMPLEMENTAIRES

Des tapis roulants inclinés

Collecteurs de déchets, ils sont situés sous la plateforme du bateau, entre les coques, au milieu du bateau



Tapis roulant inclinés

Deux bateaux polyvalents de dépollution appelés Mobula

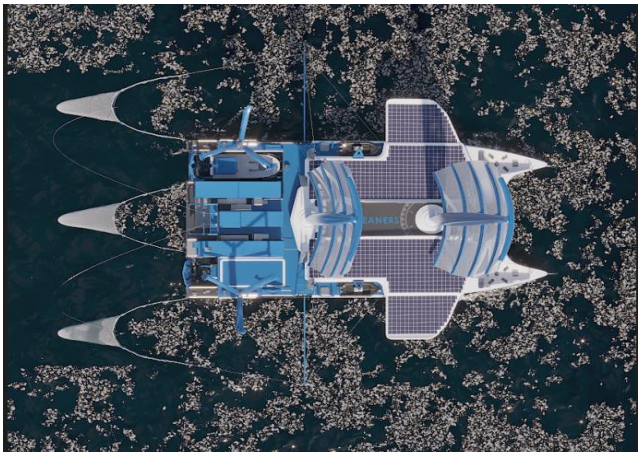
Embarqués sur le Manta, ils permettent de collecter les macro déchets, les micro déchets et les hydrocarbures dans des zones plus étroites, peu profondes et moins accessibles, où la manœuvrabilité est limitée

MOBULA en action

Un système de collecte de surface

Équipé de filets trainés à l'arrière du bateau, ce système d'une envergure de 58 m permet de collecter les déchets flottants jusqu'à une profondeur de 1 m dans risque pour la faune et la flore marine.

Les opérations de collecte avec ce système auront lieu 7 jours sur 7, 20 heures sur 24.



Une grue

Située à l'arrière du Manta, elle permet d'extraire de l'eau les gros débris.

Chaque mission du Manta dure jusqu'à 3 semaines. Elle est suivie d'une semaine à terre pour décharger les déchets collectés qui n'auront pas été transformés en énergie et les confier aux circuits de recyclage locaux, pour ravitailler le bateau et mener des campagnes de sensibilisation et de promotion de la transition vers une économie circulaire. Le Manta sera en opération de collecte des déchets 300 jours par an.

DT5 – Caractéristiques des matériaux envisagés pour la coque

BOIS

- **Résistance aux chocs :** faible, peu adaptée à la navigation le long des côtes.
- **Entretien** : élevé, nécessite des vernissages et traitements fréquents.
- **Capacité de charge :** faible, le bois ne permettra pas de charger les deux petits bateaux et de supporter le filet rempli de déchets (environ 30 tonnes).
- **Recyclabilité :** élevé, le bois est facilement recyclable.
- **Masse :** faible, le bois permet d'avoir une masse relativement légère comparé à d'autres matériaux.

FIBRE DE VERRE

- **Résistance aux chocs :** faible, peu adaptée à la navigation le long des côtes.
- **Entretien** : élevé, les réparations sont complexes et très couteuses.
- **Capacité de charge :** faible, la fibre de verre ne permettra pas de charger les deux petits bateaux et de supporter le filet rempli de déchets (environ 30 tonnes). La fibre de verre est davantage utilisée pour les bateaux de petites tailles ne portant pas de charges lourdes.
- **Recyclabilité :** faible, la fibre de verre nécessite un recyclage complexe et coûteux en énergie.
- **Masse :** très faible, la fibre de verre permet de produire des structures très légères.

ALUMINIUM

- **Résistance aux chocs :** faible, peu adaptée à la navigation le long des côtes.
- **Entretien** : élevé, les réparations sont complexes et très couteuses.
- **Capacité de charge :** faible, l'aluminium est davantage utilisé pour la fabrication de cabines pour l'équipage.
- **Recyclabilité :** excellent, l'aluminium est très facilement recyclable.
- **Masse :** faible, comparé à l'acier, l'aluminium est souvent un substitut à d'autres métaux lorsque l'on souhaite réduire la masse d'une structure.

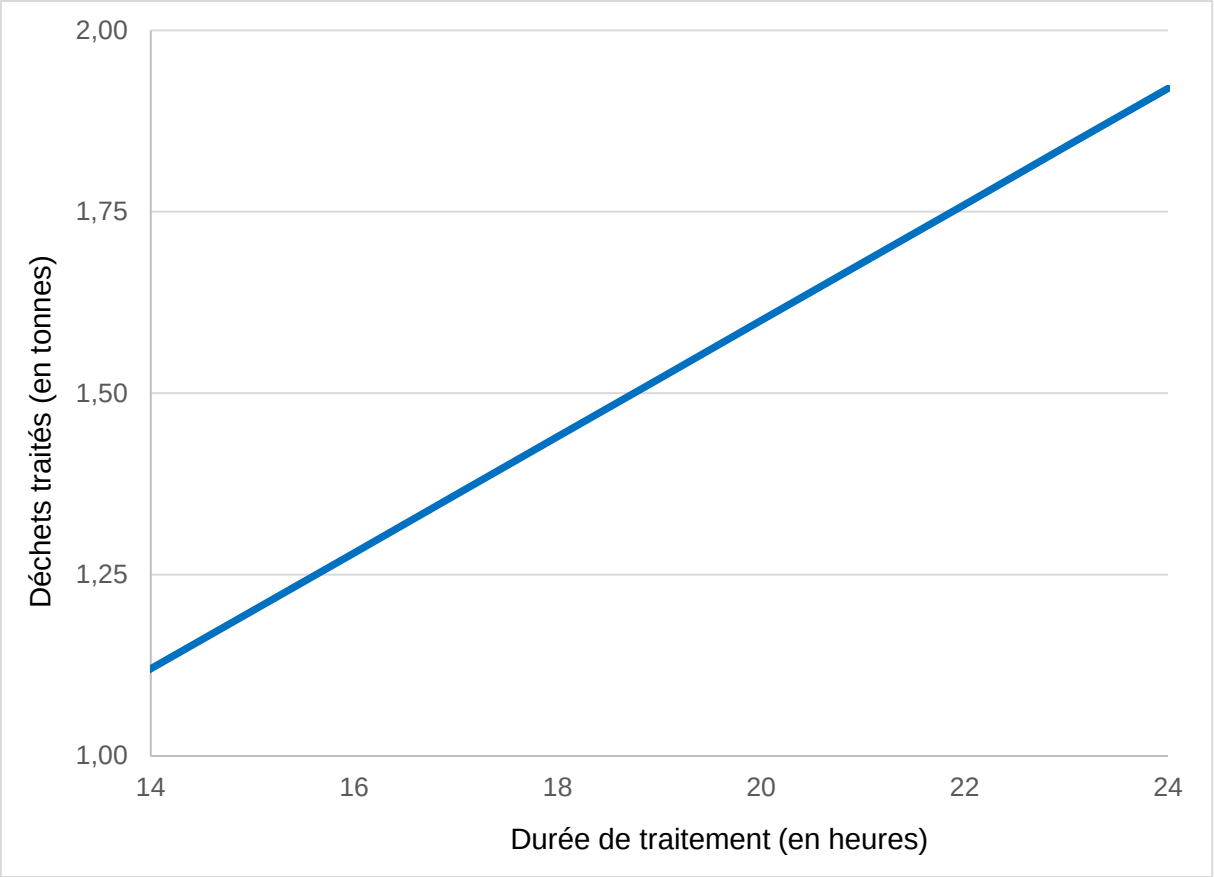
ACIER

- **Résistance aux chocs** : très élevée, capable de résister à des impacts sévères et à des conditions extrêmes.
- **Entretien** : élevé sans les traitements adéquats, la corrosion doit être surveillée et traitée régulièrement.
- **Capacité de charge :** élevée, l'acier peut supporter des charges lourdes.
- **Recyclabilité :** excellent, l'acier est facilement recyclable.
- **Masse :** élevée, l'acier a une masse volumique importante.

PAGE BLANCHE LAISSÉE INTENTIONNELLEMENT.

NE RIEN ÉCRIRE DESSUS

DR1 – Capacité de traitement des déchets par l'unité de conversion



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DR2 – Navigation à la voile lors d’un transit

Transit de 21 jours, à raison de 20 h de navigation par jour

Équipement de production d’énergie embarqué	Puissance maximale disponible (kW)	Taux de disponibilité (%)	Puissance réellement disponible (kW)	Énergie produite durant le transit (kW·h)
Panneaux photovoltaïques				
Unité de valorisation des déchets	57	0	0	0
	Énergie totale produite à bord			

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DR3 – Comparaison de matériaux

	Résistance aux chocs	Entretien	Capacité de charge	Recyclabilité	Masse	Total
Bois	**-1**	**-1**	**-1**	**+1**	**+1**	**-1**
Fibre de verre						
Aluminium						
Acier						

Matériau sélectionné : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

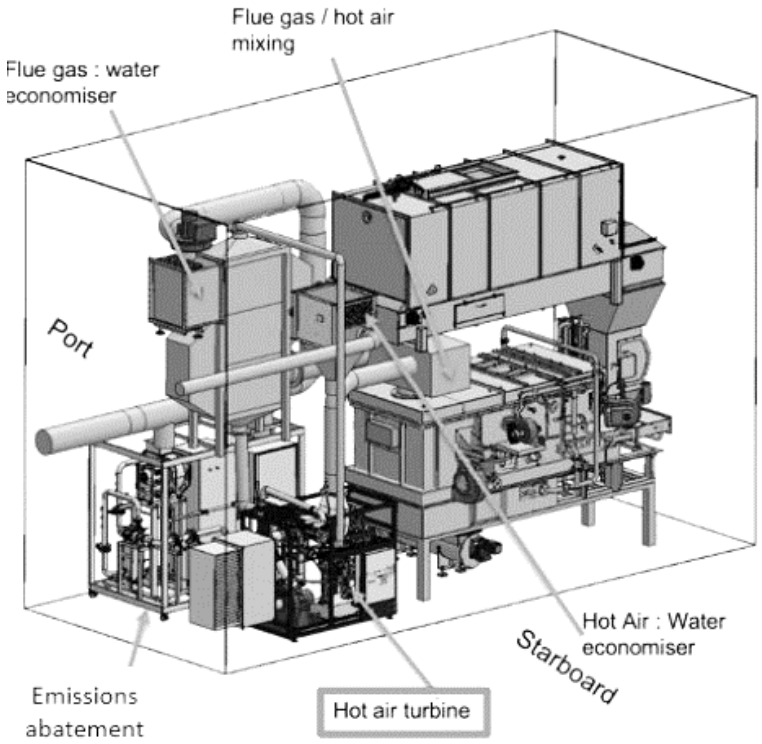
Le bateau nettoyeur des mers

- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 18 à 24
- **Documents techniques**..... pages 25 à 27
- **Documents réponses** ..... pages 28 à 29

Mise en situation

Après avoir été remontés à bord, les déchets sont acheminés à l'unité de tri où des opérateurs les séparent manuellement selon leur nature. Ceux en métal, en verre ou en aluminium vont être stockés pour être ramenés à terre et recyclés dans des filières locales de gestion des déchets. Les matières organiques, comme le bois et les algues, sont remises à l'eau, dans le respect de la faune et la flore marines. Les déchets plastiques sont eux broyés et compactés pour accroître leur efficacité énergétique, avant d'alimenter l'unité de valorisation énergétique des déchets.

Pièce maîtresse du bateau, cette unité baptisée WECU (Waste to Energy Conversion Unit) permet non seulement de faire fonctionner l'usine embarquée, mais aussi d'alimenter le bateau en énergie. Elle convertit les déchets collectés en électricité, qui à son tour alimente l'ensemble des équipements électriques du Manta.

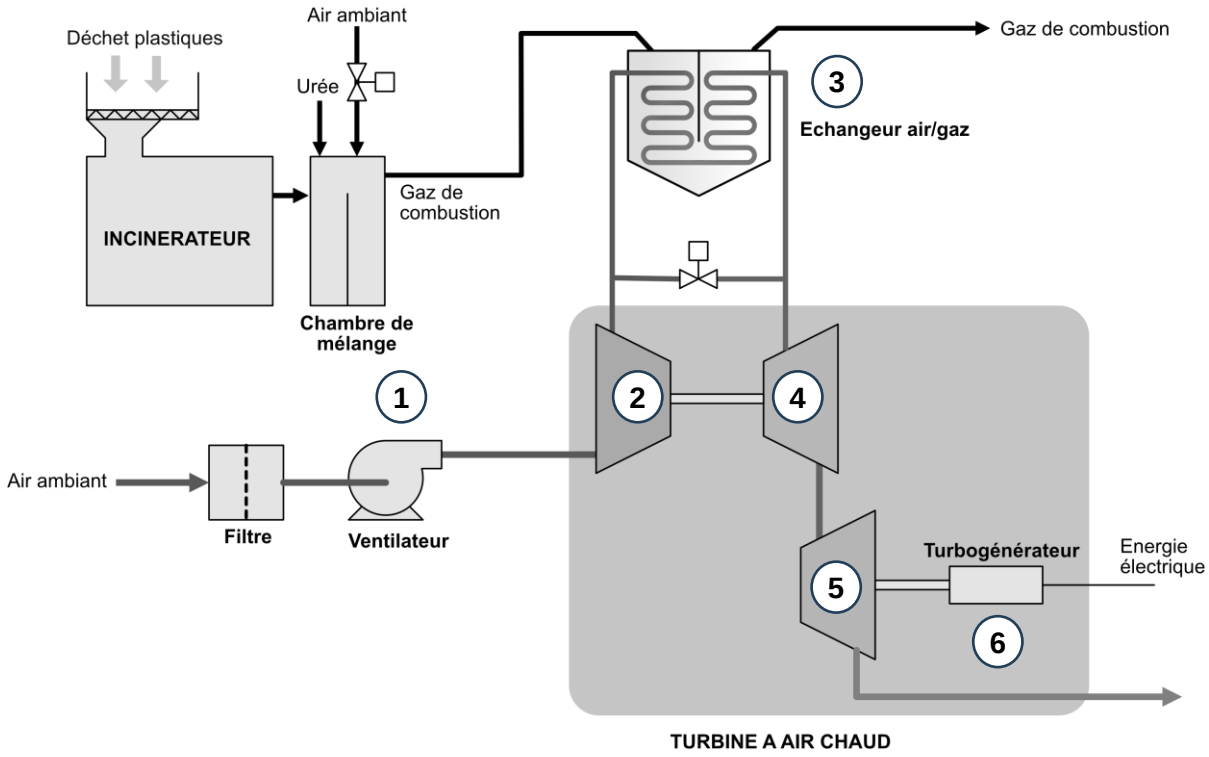


Turbine à air chaud de l'unité WECU

L'un des moyens de production d'électricité du WECU est une turbine à air chaud qui utilise la chaleur des gaz de combustion de l'incinérateur de déchets.

Principe de fonctionnement de la turbine à air chaud

L'air ambiant est aspiré par le ventilateur (1) et envoyé dans le turbocompresseur (2), où il est comprimé pour augmenter sa densité. Cet air comprimé est ensuite acheminé vers l'échangeur thermique air/gaz (3), où il est chauffé au contact des gaz de combustion générés par l'incinération des déchets plastiques. Une fois réchauffé, l'air traverse la turbine (4), qui convertit une partie de l'énergie thermique en énergie mécanique. Cette énergie mécanique alimente directement le turbocompresseur (2), assurant ainsi son fonctionnement autonome. L'air poursuit ensuite son parcours vers une deuxième turbine (5), où il transmet le reste de son énergie pour faire tourner un turbogénérateur (6). Ce turbogénérateur transforme l'énergie mécanique produite par la turbine (5) en électricité, contribuant ainsi à la production d'énergie.



Travail demandé

Partie A – Comment contrôler de façon optimale la turbine à air chaud ?

Le bon fonctionnement de l'unité WECU implique un contrôle et une régulation permanente des différentes grandeurs physiques (pression, débit, température, etc.). Le démarrage de l'unité demande notamment une mesure précise de la température des gaz de combustion afin de piloter de façon optimale la mise en marche de la turbine à air chaud.

L'objectif est de commander de façon optimale le fonctionnement de la turbine à air chaud pendant la phase de démarrage.

Question A.1 DTS1 DRS1	À partir de l'analyse du diagramme de séquence, sur le document réponse, **compléter** l'algorigramme de fonctionnement du WECU lors de la phase de démarrage avec les actions suivantes : ▪ Mise en marche par l'opérateur ▪ Réglage ventilateur 100 % ▪ Préchauffage turbine à air chaud et allumage incinérateur ▪ Démarrage et autotest ▪ Réglage ventilateur 50 %
Question A.2 DRS2	**Compléter** le chronogramme de fonctionnement du ventilateur pendant la phase de démarrage du WECU.

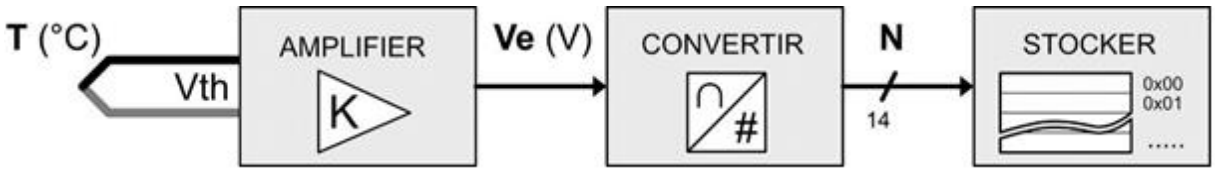
Partie B – Comment valider la chaîne d'acquisition de la température des gaz de combustion afin de contrôler la turbine à air chaud ?

L'objectif est de valider le dimensionnement des constituants de la chaîne d'acquisition de la température des gaz de combustion.

Un écran de contrôle permet à l'opérateur de visualiser en temps réel les différentes grandeurs physiques (pression, température, débit...) associées au bon fonctionnement de l'unité WECU. La capture présentée dans le DTS2 montre les températures des gaz de combustion et air lors d'une utilisation en pleine charge de la turbine à air chaud. La température maximale des gaz de combustion est alors atteinte.

Question B.1 DTS2	**Relever** sur l'écran de supervision du WECU la température des gaz de combustion en entrée de l'échangeur air/gaz ainsi que la dénomination complète du capteur de température TT xxxxx associé.
Question B.2 DTS3	**Indiquer** quel type de capteur est utilisé pour mesurer cette température. **Valider** le choix de ce capteur par rapport à une sonde PT100.

La température mesurée doit avoir une précision de 0,1 °C. La chaîne d'acquisition de la température est représentée sur la figure ci-dessous :



La tension Vth en sortie du capteur est préalablement amplifiée (Ve = K × Vth) avant d'être convertie en une information numérique N grâce à un convertisseur analogique numérique de résolution 14 bits, alimenté en 0-10 V. Cette information numérique N est ensuite stockée sur 2 octets dans l'un des registres d'entrée/sortie du contrôleur.

La valeur de N doit être représentative de la température mesurée en dixième de degré. À titre d'exemple : pour une température T de 203,6 °C, la valeur de N doit être 2 036.

Question B.3
DRS3

Compléter le document réponse par la dénomination de la nature de l'information qui transite dans la chaîne d'acquisition : analogique, numérique ou logique (0 ou 1).

Question B.4

Exprimer N_{max}, la valeur maximale de N, en fonction de la résolution du convertisseur analogique numérique. **Calculer** cette valeur.

En déduire la valeur maximale T_{max} de la température T pouvant être convertie.

Question B.5
DTS3

Montrer que la résolution du convertisseur est suffisante pour visualiser la température des gaz de combustion en entrée de l'échangeur air/gaz

Pour la suite de l'étude, T_{max} = 1 638 °C.

Question B.6
DTS3
DRS4

Déterminer par un tracé sur la courbe caractéristique du thermocouple la valeur de Vth correspondant à T_{max} en laissant apparents les traits de construction.

En déduire la valeur du coefficient K de l'amplificateur pour obtenir la précision souhaitée.

Question B.7
DTS3

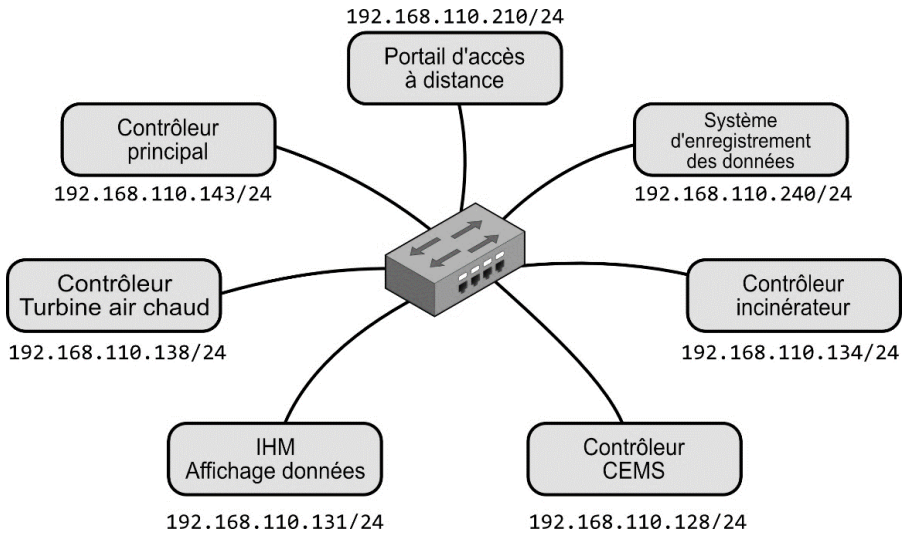
Conclure sur le dimensionnement des constituants de la chaîne d'acquisition de la température des gaz de combustion afin de contrôler la turbine à air chaud.

Partie C – Comment faire communiquer tous les éléments de contrôle et de pilotage du WECU ?

L'objectif est d'analyser la mise en œuvre d'une communication pour contrôler et piloter le WECU.

La communication entre les différents éléments de contrôle et de pilotage des sous-systèmes du WECU se fait grâce au protocole ModBus TCP (trames ModBus encapsulées dans des trames TCP/IP). Chaque élément possède donc une adresse IP afin de pouvoir communiquer.

La figure ci-dessous montre les différents éléments du WECU et leur adresse IP associée.



Question C.1

Donner l'adresse du réseau auquel appartiennent les éléments du WECU.

Calculer le nombre d'éléments supplémentaires pouvant être connectés sur ce réseau.

De nombreuses adresses IP restent inutilisées en raison du masque de sous-réseau /24, ce qui justifie le découpage du réseau en sous-réseau.

Question C.2

Déterminer le masque de sous-réseau optimal permettant d'avoir le moins d'adresse IP inutilisée sur le réseau auquel appartiennent les 7 éléments de contrôle du WECU.

Justifier votre choix.

Le fonctionnement optimal du WECU nécessite de contrôler en permanence tous ses paramètres tels que température, pression, débit, etc... Il est notamment nécessaire de contrôler la température des gaz de combustion afin de ne pas dépasser les 800 °C.

Une capture d'un logiciel d'analyse de protocole réseau, représentée ci-dessous, a été effectuée lors d'une transaction entre 2 éléments du WECU.

No	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	3.004307	192.168.110.131	192.168.110.138	Modbus /TCP	Query Func: 3: Read Holding Register
2	3.008523	192.168.110.138	192.168.110.131	Modbus /TCP	Response Func: 3: Read Holding Register
3	3.012739	192.168.110.131	192.168.110.138	Modbus /TCP	Query Func: 3: Read Holding Register
4	3.016955	192.168.110.138	192.168.110.131	Modbus /TCP	Response Func: 3: Read Holding Register
5	3.021171	192.168.110.131	192.168.110.138	Modbus /TCP	Query Func: 3: Read Holding Register
6	3.025387	192.168.110.138	192.168.110.131	Modbus /TCP	Response Func: 3: Read Holding Register
7	3.029603	192.168.110.131	192.168.110.138	Modbus /TCP	Query Func: 3: Read Holding Register
8	3.033819	192.168.110.138	192.168.110.131	Modbus /TCP	Response Func: 3: Read Holding Register
9	3.038035	192.168.110.131	192.168.110.138	Modbus /TCP	Query Func: 3: Read Holding Register
10	3.042251	192.168.110.138	192.168.110.131	Modbus /TCP	Response Func: 3: Read Holding Register
11	3.046467	192.168.110.131	192.168.110.138	Modbus /TCP	Query Func: 3: Read Holding Register
12	3.050683	192.168.110.138	192.168.110.131	Modbus /TCP	Response Func: 3: Read Holding Register

```
> Frame 3: 66 bytes on wire (528 bits),66 bytes captured (528 bits)
> Ethernet II, Src: Wistron_c5:83:01 (00:0a:e4:c5:83:01), Dst: IntelCor_5f:49:0a (00:1c:c0:5f:49:0a)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.110.131, Dst: 192.168.110.138
> Transmission Control Protocol, Src Port: 2074, Dst Port: 502, Seq: 13, Ack: 12, Len: 12
> Modbus/TCP
> Modbus
```

Question C.3 | À partir de l'analyse de la ligne numéro 3 sur la capture ci-dessus, **identifier** précisément par leurs noms et adresses associées, les éléments du WECU qui sont impliqués dans l'échange de données.

Question C.4 | **Citer** l'élément du WECU dédié à initier la requête, le mot requête se traduit en anglais par query.

La trame ModBus/TCP est affichée en surbrillance ci-dessous :

```
0000  00 1c c0 5f 49 0a 00 0a e4 c5 83 0a 08 00 45 00
0010  00 34 8b fe 40 00 80 06 10 67 c0 a8 6e 83 c0 a8
0020  6e 8a 08 1a 01 f6 41 d2 ea d2 e1 15 3a d9 50 18
0030  bb bb 00 26 00 00 00 d2 00 00 00 06 01 03 00 0C
0040  00 01
```

Question C.5 | **Compléter** le tableau 1 du document réponse en reportant les 12 octets de la trame ModBus.

DTS3

DTS4 | **Indiquer** à quel capteur correspond le registre demandé.

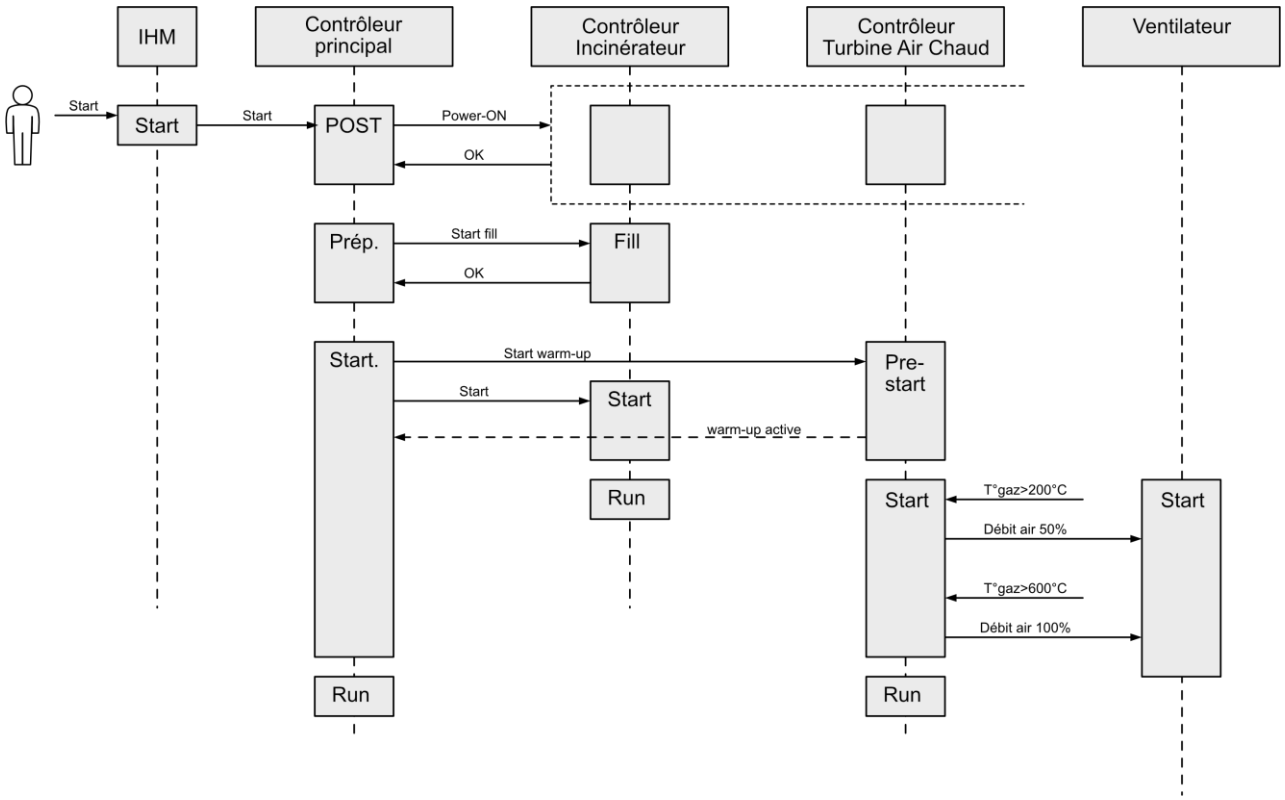
DRS5

La trame Modbus/TCP **de la réponse** est affichée en surbrillance ci-dessous :

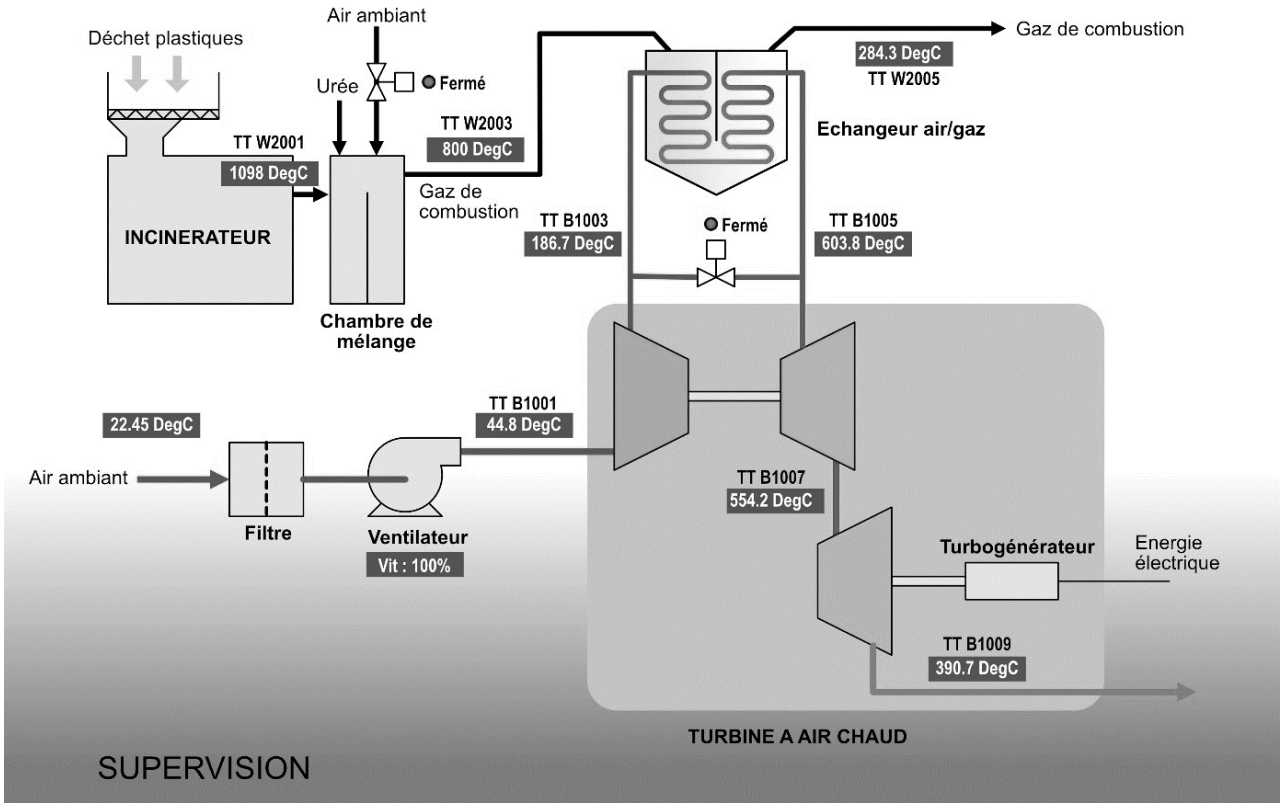
```
0000  00 1c c0 5f 49 0a 00 0a e4 c5 83 0a 08 00 45 00
0010  00 34 8b fe 40 00 80 06 10 67 c0 a8 6e 83 c0 a8
0020  6e 8a 08 1a 01 f6 41 d2 ea d2 e1 15 3a d9 50 18
0030  bb bb 00 26 00 00 00 d2 00 00 00 05 01 03 02 19
0040  3D
```

Question C.6 DTS3 DRS5	À partir de l'analyse de la réponse envoyée, **compléter** la ligne HEXA du tableau 2 du document réponse.
Question C.7 DTS3	**Indiquer** pourquoi 2 octets sont nécessaires au stockage de la valeur de la température dans le registre du contrôleur.
Question C.8 DTS3 DRS5	Sachant que le contenu du registre est décodé en décimal, **déterminer** la température des gaz de combustion en entrée de l'échangeur air/gaz envoyée par le contrôleur de la turbine à air chaud.
Question C.9	**Conclure** quant à la contrainte sur la température maximale admissible des gaz de combustion.

DTS1 – Diagramme de séquence du cycle de démarrage du WECU



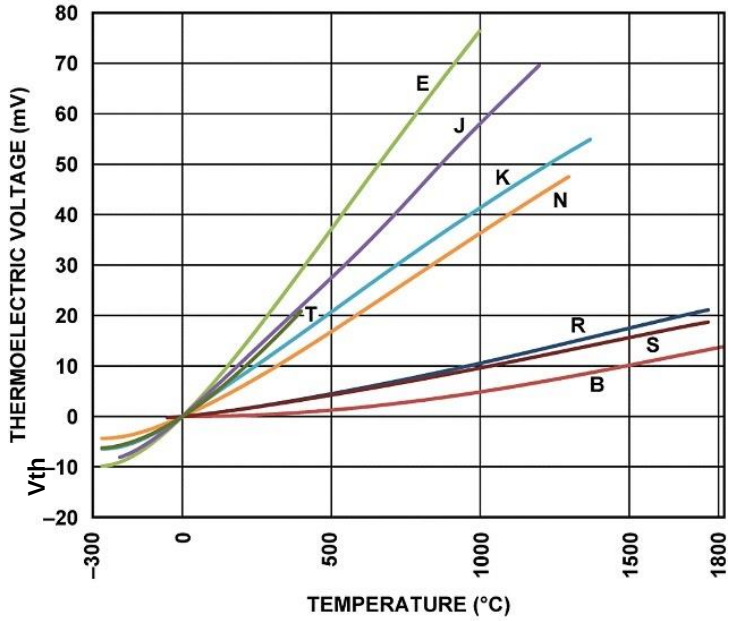
DTS2 – Écran de supervision des températures du WECU



DTS3 – Nomenclature des capteurs de température du WECU

Dénomination	Type	Grandeur mesurée	Adresse registre
TT-B1001	PT100	Température air entrée turbine air chaud (compresseur)	0x0000
TT-B1003	PT100	Température air entrée échangeur	0x0002
TT-B1005	Thermocouple K	Température air sortie échangeur	0x0004
TT-B1007	Thermocouple K	Température air sortie turbine	0x0006
TT-B1009	Thermocouple K	Température air sortie turbocompresseur	0x0008
TT-W2001	Thermocouple K	Température gaz de combustion sortie incinérateur	0x000A
TT-W2003	Thermocouple K	Température gaz de combustion entrée échangeur air/gaz	0x000C
TT-W2005	Thermocouple K	Température gaz de combustion sortie échangeur air/gaz	0x000E

Thermocouple	Sonde PT100
Le thermocouple est un capteur de température composé de 2 métaux différents, exploitant l'effet Seebeck pour produire une tension corrélée à la température. Il se décline en plusieurs types (E, J, K, N, etc.) en fonction des métaux utilisés. + Températures très élevées (> 1 000 °C) + Réactif et robuste + Bon marché	La sonde PT100 est un capteur de température dont la résistance dépend de la température. C'est une sonde résistive constituée de platine. Le nombre 100 représente une résistance de 100 Ω à une température de 0 °C. La plage de température typique est - 200 °C / + 600 °C. + Grande précision + Linéaire - Couteux

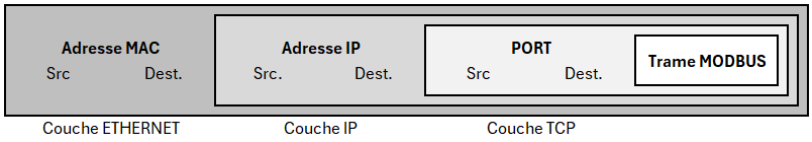


DTS4 – Protocole de communication ModBus/TCP

Le protocole de communication Modbus est un standard ouvert qui permet l'échange d'informations entre différents équipements électroniques. Il a été développé dans les années 1970 par Modicon (aujourd'hui Schneider Electric).

La communication Modbus utilise une trame spécifique pour transmettre les données. Cette trame comprend plusieurs champs.

Dans le cas du MODBUS TCP, les trames Modbus sont encapsulées dans des trames Ethernet permettant ainsi l'échange de données via le protocole TCP/IP. Chaque appareil d'un réseau MODBUS TCP possède donc une adresse IP



La communication Modbus TCP est basée sur le principe Client/Serveur. Dans ce modèle, un client envoie une requête à un serveur qui traite la requête et renvoie une réponse. Le client est généralement une IHM (Interface Homme Machine), ou un PLC (Contrôleur Logique Programmable) ou tout autre dispositif nécessitant des données ou un contrôle sur des dispositifs. Le serveur, quant à lui, est généralement un capteur, un actionneur ou tout autre dispositif fournissant des données ou exécutant des actions

Constitution d'une trame MODBUS TCP :

- ID Transaction (2 octets) : numéro unique pour chaque transaction
- ID Protocole (2 octets) : égal à 0 pour le protocole MODBUS
- Longueur (2 octets) : nombre d'octets restant à transmettre dans le message
- ID Unité (1 octet) : identifie l'appareil ou l'unité cible.
- Code fonction (1 octet) : spécifie le type d'action à effectuer (voir tableau ci-dessous)
- Adresse du 1er registre à lire (2 octets) si requête, nombre d'octets renvoyés (1 octet) si réponse
- Nombre de registres à lire (2 octets) si requête, valeur renvoyée si réponse

Exemple de trame MODBUS TCP lors d'une transaction n° 210 :

Demande de lecture du 1er registre de l'appareil dont le numéro d'unité est 4

Champs Modbus TCP	Transaction ID	Protocole ID	Longueur	Unité ID	Code fonction	Adresse 1er registre	Nombre de registre à lire
Décimal	210	0	6	4	03	0	1
Hexa	00 D2	00 00	00 06	04	03	00 00	00 01

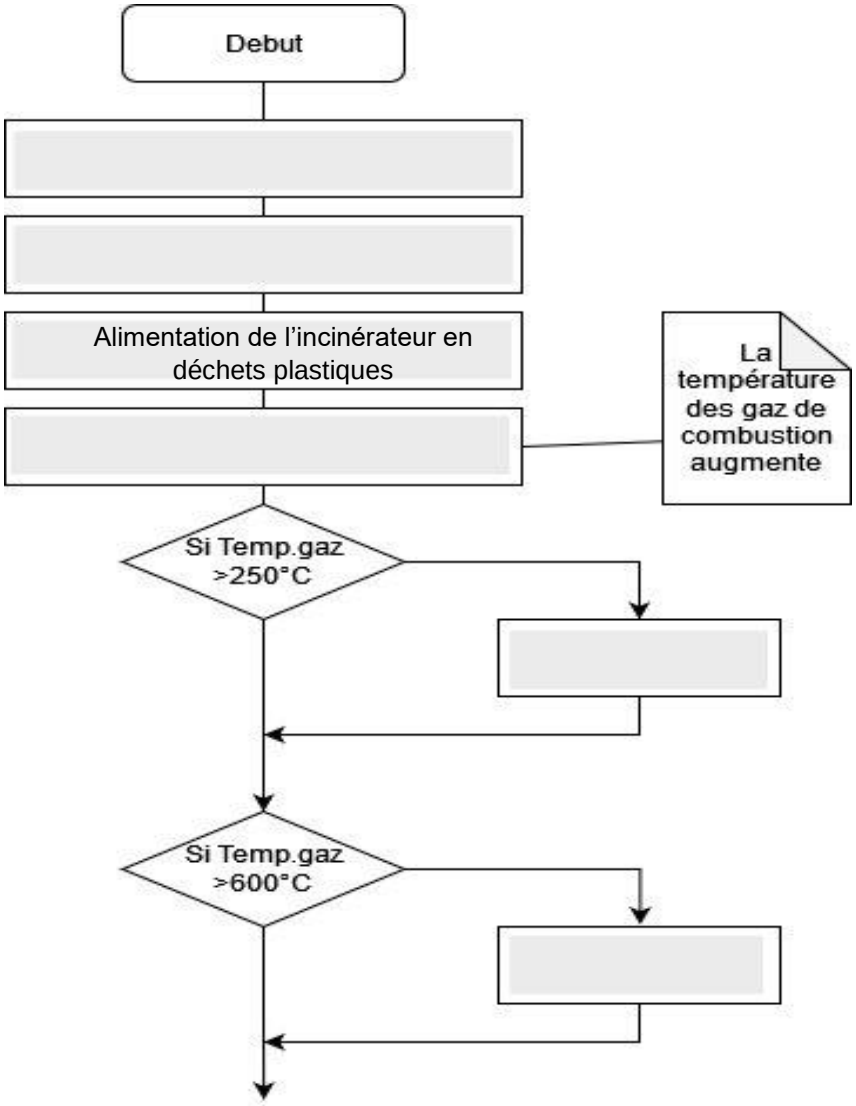
Réponse de l'appareil qui renvoie la valeur 16840 ($41C8)

Champs Modbus TCP	Transaction ID	Protocole ID	Longueur	Unité ID	Code fonction	Nombre d'octet renvoyé	Valeur renvoyée
Décimal	210	0	5	4	03	2	16840
Hexa	00 D2	00 00	00 05	04	03	02	41 c8

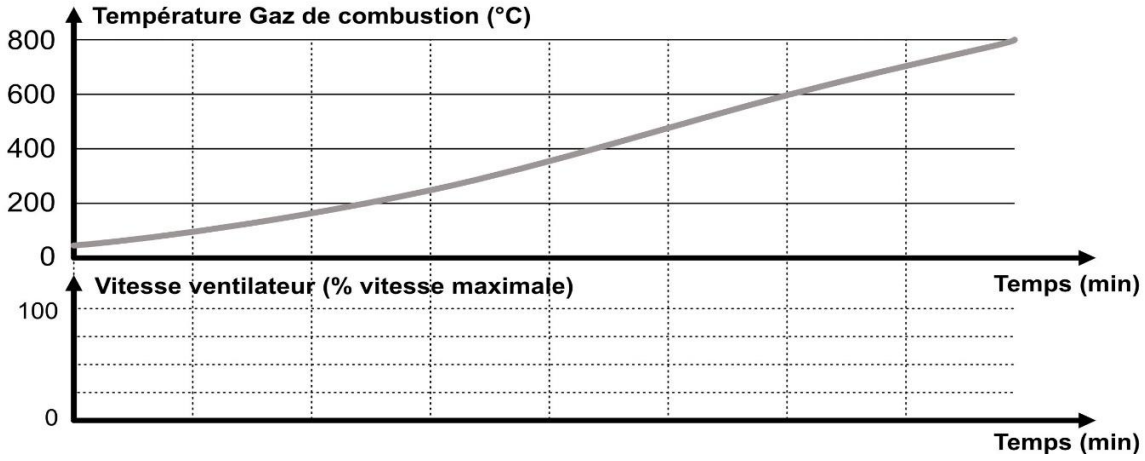
PAGE BLANCHE LAISSÉE INTENTIONNELLEMENT.

NE RIEN ÉCRIRE DESSUS

DRS1 – Algorigramme de fonctionnement du WECU



DRS2 – Chronogramme de fonctionnement du ventilateur



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

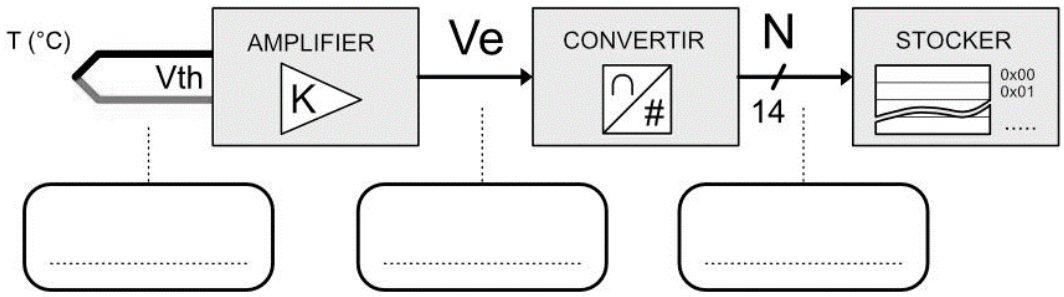
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

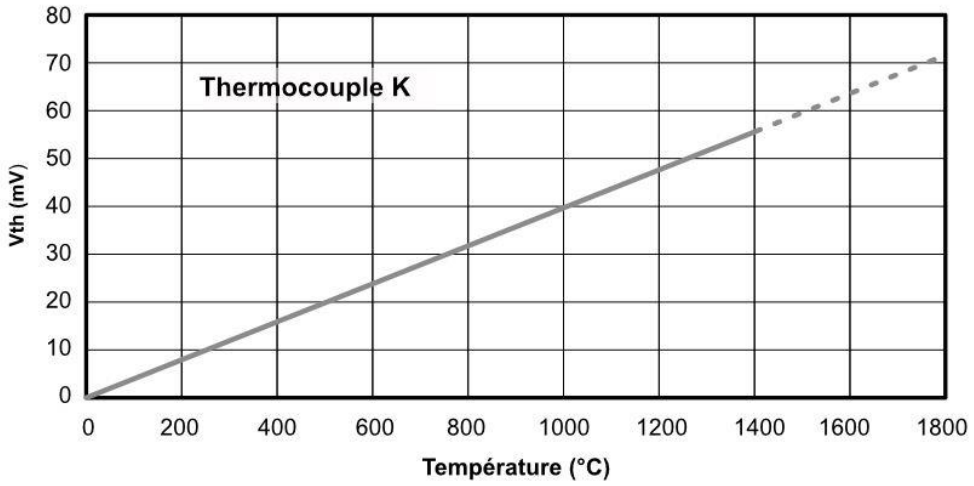
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DRS3 – Chaîne d'acquisition de la température des gaz de combustion



DRS4 – Caractéristique thermocouple



DRS5 – Protocole ModBus/TCP

Tableau 1

Champs Modbus TCP	Transaction ID	Protocole ID	Longueur	Unité ID	Code fonction	Adresse 1er registre	Nombre de registre à lire
Hexa							
Décimal							

Tableau 2

Champs Modbus TCP	Transaction ID	Protocole ID	Longueur	Unité ID	Code fonction	Nombre d'octets à lire	Contenu du registre
Hexa							
Décimal	210	0	5	1	03	2	

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2