

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

Systèmes d'Information et Numérique

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 30 pages numérotées de 1/30 à 30/30.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	14 points
Partie spécifique (durée indicative 1h00)	6 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, mêmes vierges, sont à numéroté et à rendre obligatoirement avec la copie.**

**Bâtiment éducatif et intergénérationnel
« pôle Gambetta »**



- Présentation de l'étude et questionnaire..... pages 2 à 8
- Documents techniques DT1 à DT8..... pages 9 à 15
- Documents réponses DR1 à DR3..... pages 16 à 18

Mise en situation

Implanté dans la Loire, au cœur d'une ville de 35 000 habitants, le pôle Gambetta traduit la politique du vivre-ensemble mise en place par la municipalité.

Trois écoles devenues vieillissantes, situées à proximité les unes des autres, induisaient des coûts de fonctionnement élevés.

Une réflexion a été menée et la décision a été prise de créer un regroupement scolaire sur un seul et même lieu : le « pôle Gambetta ».

Une ancienne friche industrielle de 1,5 ha, située en centre-ville, a été réhabilitée afin d'implanter ce pôle. Elle accueille également des installations extérieures (esplanades, jardins, pistes cyclables, jeux) offrant ainsi un îlot de verdure accessible à tous.



Le bâtiment éducatif et intergénérationnel abrite un club senior, un restaurant collectif, une ludothèque, un centre de loisirs, un groupe scolaire et des espaces partagés et polyvalents.

C'est un bâtiment à énergie positive, il se compose de deux niveaux et possède une ossature bois sur le premier étage.

La toiture est dotée d'une centrale photovoltaïque pour la production d'électricité. Pour le chauffage, le bâtiment est raccordé au réseau de chauffage urbain de la ville. Ce réseau est lui-même alimenté à 82% par des énergies renouvelables.

Travail demandé

Problématique générale : comment s'inscrit la conception du « pôle Gambetta » dans une démarche de développement durable ?

Partie 1 : quelle est la solution mise en œuvre pour optimiser l'usage du bâtiment ?

Question 1.1 DT1 DR1	Compléter le DR1 en indiquant le type de public accueilli, pour chaque espace du pôle Gambetta.
----------------------------	--

Question 1.2 DT1	Indiquer quels sont les espaces qui réunissent toutes les générations.
---------------------	---

Question 1.3	Citer le pilier du développement durable valorisé par cette organisation.
--------------	--

Partie 2 : comment valoriser les eaux de pluie ?

Le décret n°2023-835 du 29 août 2023 interdit l'utilisation des eaux de pluie à l'intérieur des écoles maternelles et élémentaires pour des usages sanitaires.

Question 2.1 DT2	Indiquer les dangers potentiels d'utilisation des eaux de pluie avec les enfants.
---------------------	--

Toutefois, dans ce cadre réglementaire, il est possible d'utiliser les eaux de pluie en usage extérieur lors d'opérations d'entretien. L'installation photovoltaïque d'une superficie de 450 m² nécessite des opérations de nettoyage afin de garantir une production électrique optimale. L'eau de pluie pourrait alors être utilisée.

L'achat d'un robot est à l'étude pour le nettoyage des 450 m² de panneaux solaires grâce à l'eau de pluie.

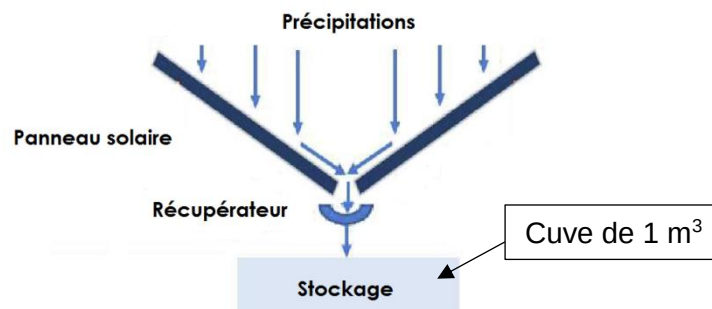
Question 2.2 DT3	Déterminer le temps nécessaire en heures, puis en minutes, pour nettoyer les panneaux avec le robot.
---------------------	---

Question 2.3 DT3	Déterminer la quantité d'eau nécessaire en litres pour nettoyer les panneaux avec le robot.
---------------------	--

L'entretien est programmé deux fois par an. La consommation d'eau moyenne est de 300 litres à chaque entretien.

Question 2.4 | **Calculer** la consommation d'eau annuelle.

L'installation solaire est répartie sur plusieurs zones et la plupart des panneaux sont installés en effet miroir. Cette configuration facilite la récupération de l'eau de pluie.



Les relevés pluviométriques indiquent que la précipitation annuelle minimum est de 480 litres par m^2 et par an. L'eau de pluie est récupérée sur une surface de $3,8 \text{ m}^2$. L'efficacité du système de récupération d'eau de pluie est de 60%.

Question 2.5 | **Calculer** en litres la quantité d'eau de pluie récupérable sur une année.

Comparer cette quantité récupérable à la capacité de la cuve.

Vérifier si cette quantité d'eau stockée permet les deux nettoyages annuels.

Partie 3 : comment concevoir le bâti pour un meilleur confort d'été des occupants ?

Le confort d'été consiste à maintenir des températures intérieures agréables pour tous, même lors des vagues de chaleur, sans avoir recours à la climatisation.

La température intérieure de confort thermique en été est comprise entre 22°C et 28°C la journée (maximum de 24°C la nuit).

Pour cette partie, le confort d'été est étudié dans la grande salle d'activités réservée aux séniors.

Hypothèses :

- température extérieure : $\theta_e = 34^\circ\text{C}$;
- température intérieure : $\theta_i = 24^\circ\text{C}$.

Question 3.1 | **Déterminer** les déperditions de chaleur en W traversant les deux
fenêtres ouest (de 0,8 m par 2,15 m) de la salle d'activités.
DT4

Puissance ou apport solaire $P_s = S \times S_g \times I_r$ (W)
Irradiation solaire $I_r = 500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
Facteur solaire des vitrages $S_g = 0,65$
Superficie de l'ouvrant S (m^2)

Question 3.2 | **Calculer** l'apport solaire (P_s) à travers les deux vitrages ouest.
DT4

Question 3.3 | Après analyse des deux questions précédentes, **proposer** et
schématiser une solution pour réduire les apports de chaleur à
travers les fenêtres sans réduire la luminosité.
DT4

Question 3.4 | **Relever** le débit de renouvellement d'air à respecter dans la salle
d'activité.
DT4
DT5 | **En déduire** le débit q en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ lorsque la salle est occupée par
20 personnes.

Masse volumique de l'air $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Question 3.5 | **Convertir** le débit q en $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

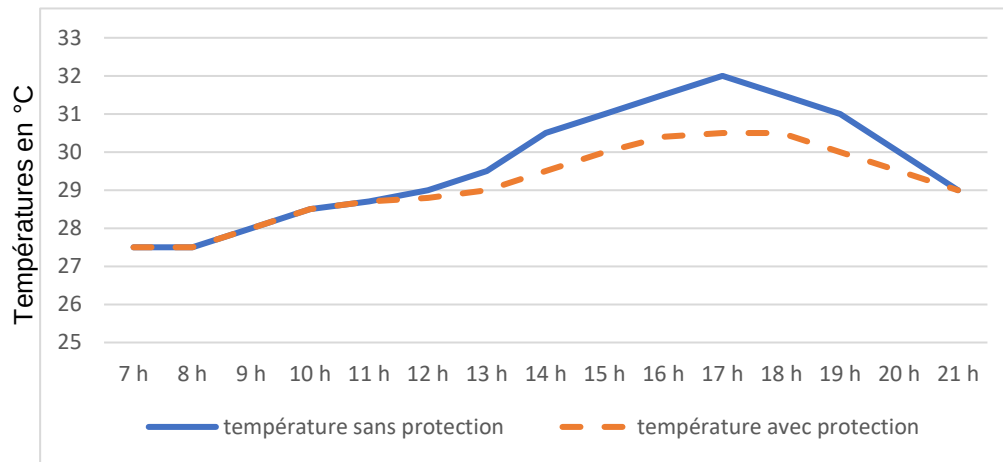
Déperdition thermique par renouvellement de l'air $D_{\text{Th}} = q \times C_{\text{air}} \times \Delta\theta$
Capacité thermique massique de l'air $C_{\text{air}} = 1004 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 $\Delta\theta = \theta_e - \theta_i$ ($^{\circ}\text{C}$)

Question 3.6 | **Calculer** la déperdition thermique D_{Th} par renouvellement de l'air.
DT5

Variation de température dans la salle d'activités $\Delta T = \frac{A_{\text{th}}}{\rho_{\text{air}} \times C_{\text{air}} \times V_{\text{air}}} (^{\circ}\text{C})$
Apport thermique (énergie) $A_{\text{th}} = 1\,080\,000 \text{ J}$
 V_{air} : volume de la salle d'activité (m^3)

Question 3.7 | **Déterminer** la variation de température dans la salle d'activités.
DT4

La température de la salle d'activités est mesurée avec 20 personnes réalisant une activité sportive d'intensité moyenne, sans protection solaire sur les fenêtres, et avec une protection solaire. Les mesures de températures toutes les heures sont :



Question 3.7 | **Analyser** le gain de température entre les deux solutions, le matin et l'après-midi.
Conclure sur les dispositions possibles sur le bâti pour améliorer le confort des usagers.

Partie 4 : comment gérer les équipements pour un meilleur confort d'été ?

La méthode du « free-cooling » a été choisie pour rafraîchir les locaux. Elle consiste à refroidir un bâtiment par circulation intensive de l'air lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

Le « free-cooling » est assuré par une centrale de traitement d'air (CTA) adaptée.

Question 4.1 | **Compléter** l'algorithme sur le document réponse DR2 permettant de traduire le fonctionnement en « free-cooling » du système de ventilation.

DT6
DR2

Lorsque la température extérieure est supérieure à la température ambiante, le « free-cooling » est impossible. L'espace sénior, étudié précédemment, dispose alors d'un système de rafraîchissement adiabatique.

Question 4.2 | **Compléter** sur le document réponse DR2, le tableau d'activation du rafraîchisseur adiabatique.

DT7
DR2

Question 4.3 | Un réseau Modbus est utilisé pour gérer les équipements. D'après la trame de réponse du document technique DT8, **indiquer** la longueur de la trame (en octet). **Préciser** quel équipement a répondu.

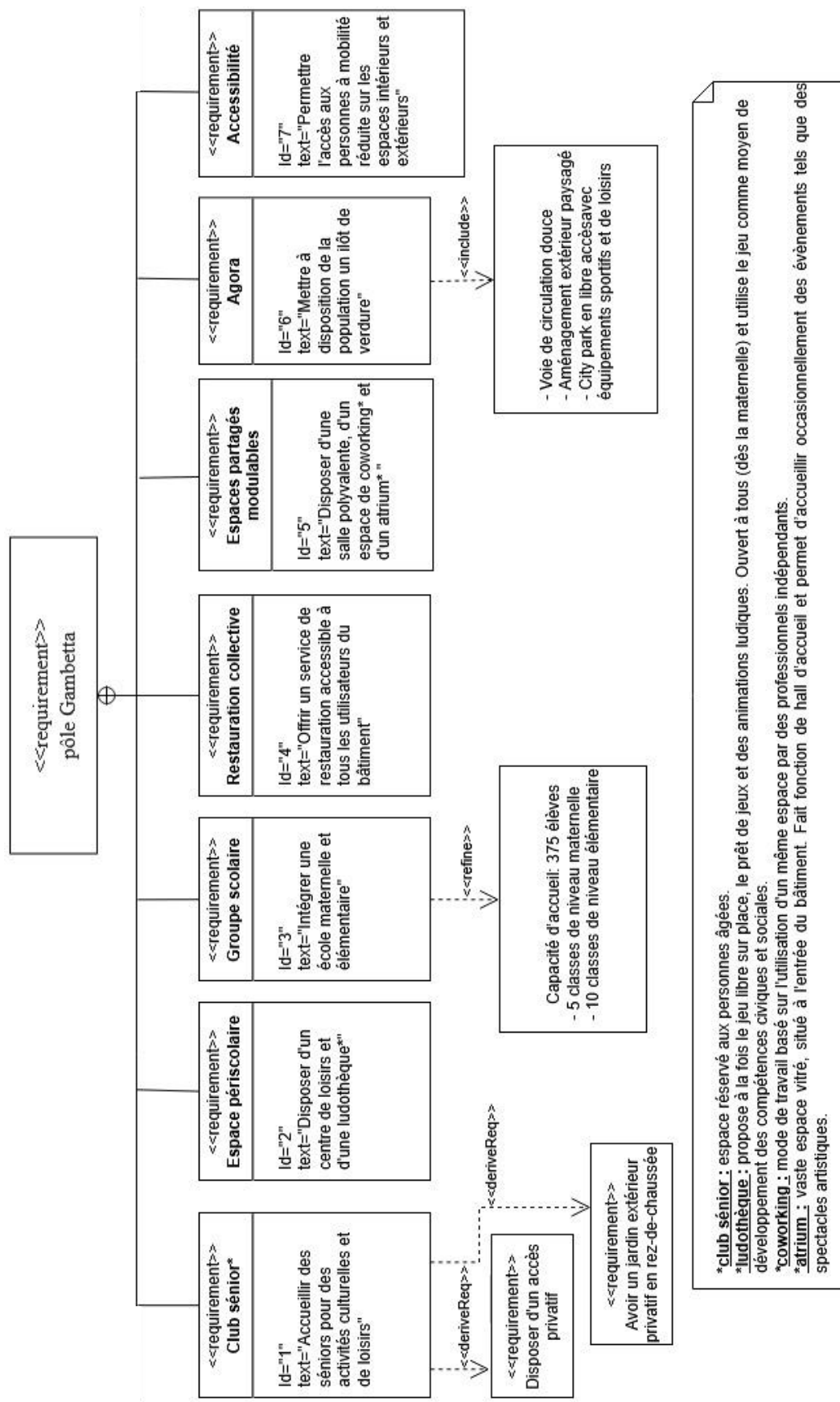
DT8

Question 4.4 DT8	Dans la partie « données » de la trame de réponse du document technique DT8, indiquer quelle est la valeur décimale relevée par la sonde.
Question 4.5 DR3	La transmission des données se fait sous forme binaire. Tous les équipements ont une parité paire. Compléter sur le document réponse DR3 l'information transmise en binaire lorsque la sonde hygrométrique « entrée Adiabox » relève une humidité relative de 20%.
Question 4.6 DT8 DR3	D'après les deux trames de réponse étudiées, indiquer sur le document réponse DR3 quelle est la température de l'air soufflé par le rafraîchisseur adiabatique.
Question 4.7	Conclure en précisant si la gestion des équipements est correcte pour le respect du confort d'été.

Partie 5 : conclusion générale

Question 5.1	En s'appuyant sur les parties précédentes, apporter une réponse à la problématique générale en donnant un argument pour chacun des trois piliers du développement durable.
--------------	---

DT1 : diagramme des exigences



DT2 : contamination de l'eau de pluie

Selon le ministère de la Santé, l'eau de pluie contient souvent des niveaux de contamination microbiologique et chimique qui dépassent les normes de qualité de l'eau potable.

Si l'eau de pluie semble pure à première vue, elle peut en réalité être contaminée par divers polluants tout au long de son cycle de vie, notamment en ruisselant sur les toitures, en étant mal stockée ou tout simplement en traversant l'atmosphère.

Quels polluants peuvent se trouver dans l'eau de pluie ?

Il y a les polluants atmosphériques : particules fines et gaz (dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote) et produits chimiques (pesticides et herbicides).

Quand l'eau de pluie est collectée sur les toits, elle peut se contaminer avec des matières organiques et des métaux lourds.

Quels sont les risques microbiologiques de la pollution de l'eau de pluie ?

La contamination microbiologique de l'eau de pluie est un souci majeur car elle peut transporter des bactéries, des virus ou encore des parasites.

La vaporisation ou l'ingestion d'eau de pluie représente un risque accru pour la santé humaine.

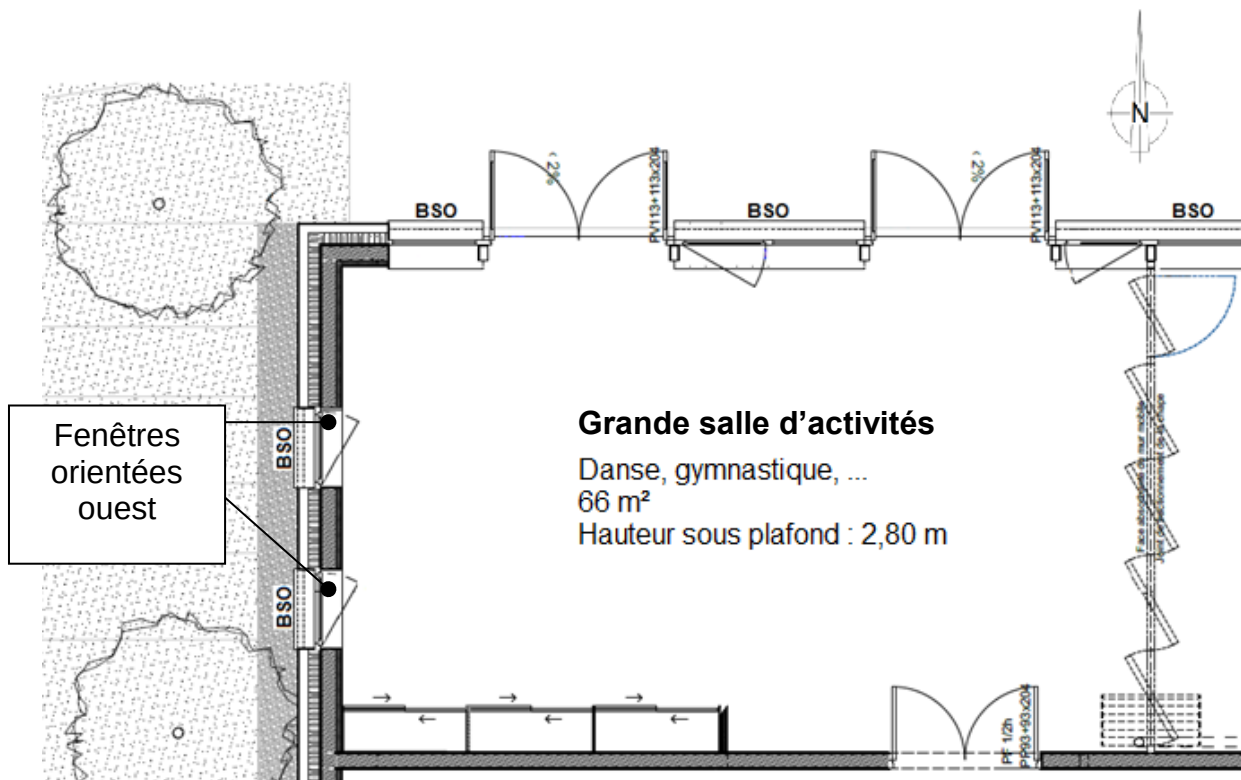
DT3 : caractéristiques du robot laveur de panneaux solaires



- masse : 80 kg
- puissance : 274 W
- nettoyage à sec (brosses) et à l'eau.

Système de déplacement		Eau	
Capacité de nettoyage	1120 m²·h ⁻¹	Consommation	12 l·min ⁻¹
		Pression	Max. 10 bar
Batterie		Prix	
Type	lithium ion 24 V - 20 Ah	36 000 €	
Capacité du chargeur	7 Ah		
Temps de charge	4 h		

DT4 : salle d'activités espace sénior



 Ouvrant à 1 vantail : 80 × 215 cm Double vitrage : 4-16-4 argon *verre 4 mm *argon 16 mm	Facteur solaire	Sg = 0,65
	Transmission lumineuse	TL = 0,82
	Coefficient de transmission thermique du vitrage	Ug = 1,10 W·m ⁻² ·K ⁻¹
	Coefficient de transmission thermique de la fenêtre	Uw = 1,40 W·m ⁻² ·K ⁻¹

La quantité de chaleur Q (W) qui traverse par seconde un ouvrant d'une superficie S (m²) de l'ambiance chaude vers l'ambiance froide vaut : $Q = S \times Uw \times (\theta_e - \theta_i)$

DT5 : les débits aérauliques dans les bâtiments tertiaires

Locaux à pollution non spécifique (article 64.1 du RSDT)

DÉSIGNATION DES LOCAUX		DÉBIT MINIMAL d'air neuf par occupant (en m ³ ·h ⁻¹)
Classes, salles d'études laboratoires (à l'exclusion de ceux à pollution spécifique)	Écoles maternelles, primaires et secondaires du premier cycle	15
	Secondaires du deuxième cycle et universitaires	18
Bureaux et locaux assimilés	Tels que locaux d'accueil, bibliothèques, bureaux de poste, banques	18
Locaux de réunions	Tels que salles de réunions, de spectacle, de culte, clubs, foyers	18
Locaux de restauration	Cafés, bars, restaurants, cantines, salles à manger	22
Locaux à usage sportif	Dans une piscine	22
	Dans les autres locaux	25

Les débits ont été déterminés pour limiter la concentration en CO₂ à 1300 ppm et le texte prévoit explicitement que la ventilation mécanique puisse être modulée dans la limite du respect de ce seuil.

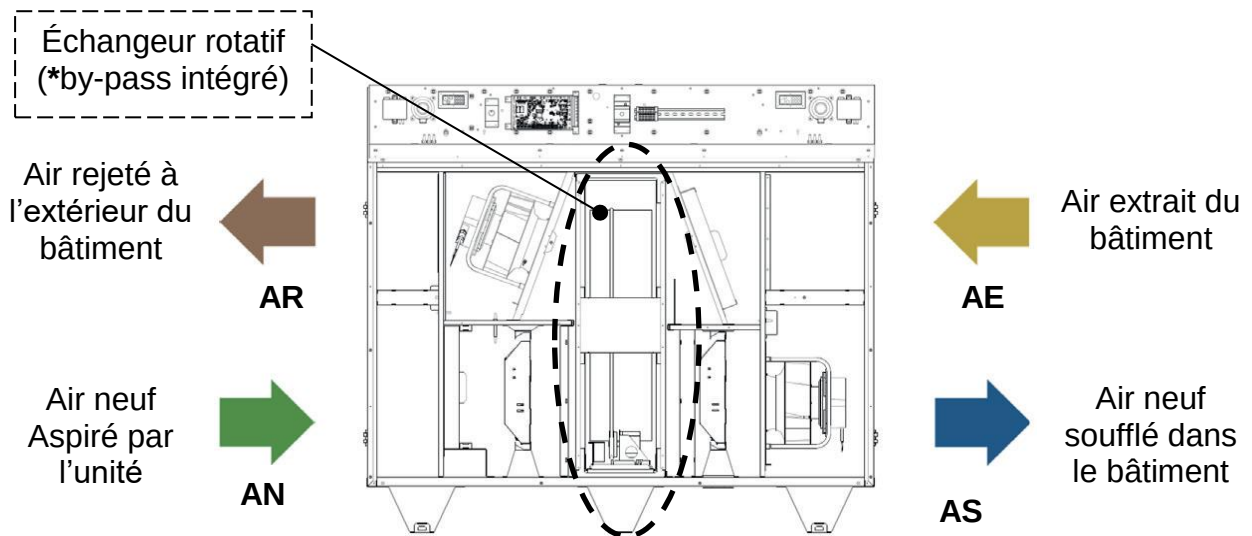
Le renouvellement de l'air a pour conséquence une déperdition thermique (D_{Th}), que l'on peut estimer de la manière suivante :

$$D_{Th} = q \times C_{air} \times \Delta\theta$$

D_{Th} : déperdition thermique (W)
q : débit de renouvellement d'air (kg·s⁻¹)
C_{air} : capacité thermique massique de l'air (1004 J·kg⁻¹·K⁻¹)
Δθ : variation de température entre l'intérieur et l'extérieur

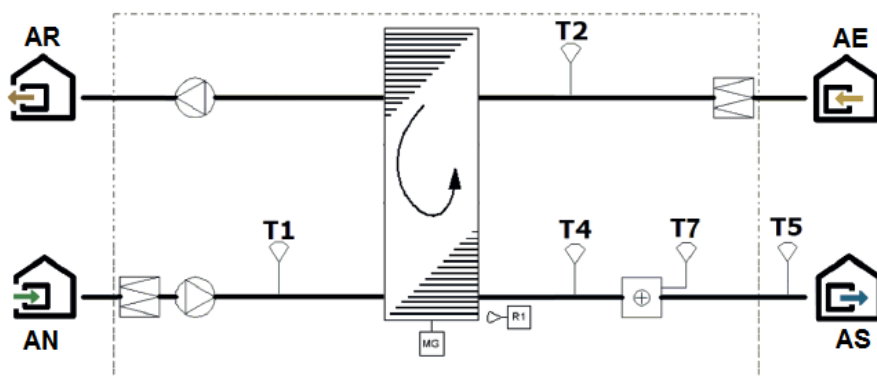
DT6 : centrale de traitement d'air

Ventilation double flux (VMC) avec échangeur thermique.



* **by-pass** : système qui permet d'introduire de l'air frais directement en contournant partiellement ou totalement l'échangeur de chaleur.

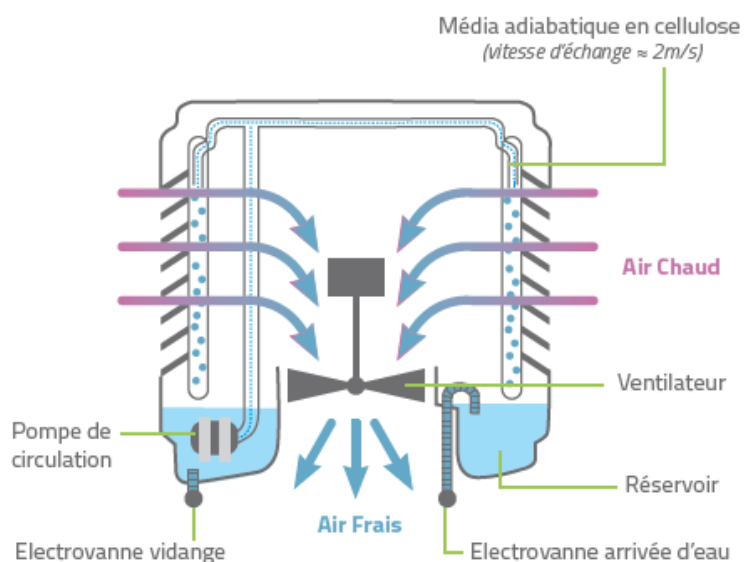
Le mode free cooling démarre lorsque les conditions suivantes sont VRAIES : • la température extérieure (sonde T1) est inférieure à la température d'air extrait (sonde T2) ; • la température extérieure (sonde T1) est supérieure à 10°C ; • la température d'air extrait (sonde T2) est supérieure à 22°C.	Le mode free cooling s'arrête lorsqu'une des conditions suivantes est VRAIE : • la température extérieure (sonde T1) est supérieure à la température d'air extrait (sonde T2) ; • la température extérieure (sonde T1) est inférieure à 9°C ; • la température d'air extrait (sonde T2) est inférieure à 20°C.
--	---



DT7 : rafraîchissement adiabatique

Processus adiabatique : pour s'évaporer l'eau a besoin d'énergie. Elle prélève cette énergie dans la chaleur de l'air. La température de l'air diminue, et l'eau liquide se transforme en vapeur d'eau. C'est le phénomène d'évaporation, indépendamment de la température de l'eau, qui abaisse la température de l'air.

Pour reproduire ce principe naturel, on utilise un ventilateur qui fait passer l'air chaud à travers un échangeur humide.



ADIABOX : paramètres déclarés

Points de consignes / limites		En été en période d'occupation : <u>Le rafraîchissement adiabatique est activé :</u> SI la température ambiante $> 24^{\circ}\text{C}$ ET que l'hygrométrie ambiante $\leq 75\%$ ET que température extérieure $\geq 22^{\circ}\text{C}$
Adiabatique Occupation: 24.0°C Adiabatique Inoccupation: 28.0°C	← ▶	En été en période d'inoccupation : <u>Le rafraîchissement adiabatique est activé :</u> SI la température ambiante $> 28^{\circ}\text{C}$ ET que l'hygrométrie ambiante $\leq 75\%$ ET que la température extérieure $\geq 22^{\circ}\text{C}$
Adiabatique Temp Ext mini: 22.0°C Hygrométrie Ext maxi: 75% Hygrométrie ambiante maxi: 75%		

DT8 : MODBUS RTU

Le Modbus est un protocole de communication conçu pour faire communiquer des équipements industriels, basé sur une architecture maître/esclave.

Trame Modbus RTU

La trame Modbus RTU est constituée d'une suite de caractères hexadécimaux et contient les informations du schéma suivant :

	Adresse esclave	Requête	Données	Contrôle	
Start	Adresse	Code fonction	Data	CRC	End
Silence	1 octet	1 octet	n octets	2 octets	Silence

Chaque octet composant une trame RTU est codé sur 2 caractères hexadécimaux.

Voici la trame obtenue en réponse à une requête :

	Adresse esclave	Requête	Données	Contrôle	
Start	01	04	00 1E	11 C0	End

Adresses utilisées	Code fonction
01 : sonde T°C air extérieur	01 : Lire l'état des sorties numériques
02 : sonde T°C air extrait	02 : Lire l'état des entrées numériques
03 : sonde T°C air soufflé	03 : Lire les valeurs des registres de maintien (sorties analogiques)
04 : sonde T°C protection antigel	04 : Lire les valeurs des registres d'entrée (entrées analogiques)
05 : capteur de CO ₂ air extrait	...
06 : sonde hygrométrique air extrait	
07 : sonde hygrométrique entrée Adiabox	
...	

DR1 : type de public accueilli au « pôle Gambetta »

Question 1.1

Espaces	Type de public accueilli		
	Enfants et encadrants	Adultes actifs	Personnes âgées
Centre de loisirs	x		
Atrium	x	x	x
Espace de coworking		x	
Club sénior			
Groupe scolaire			
Restauration collective			

... / ...

1.2

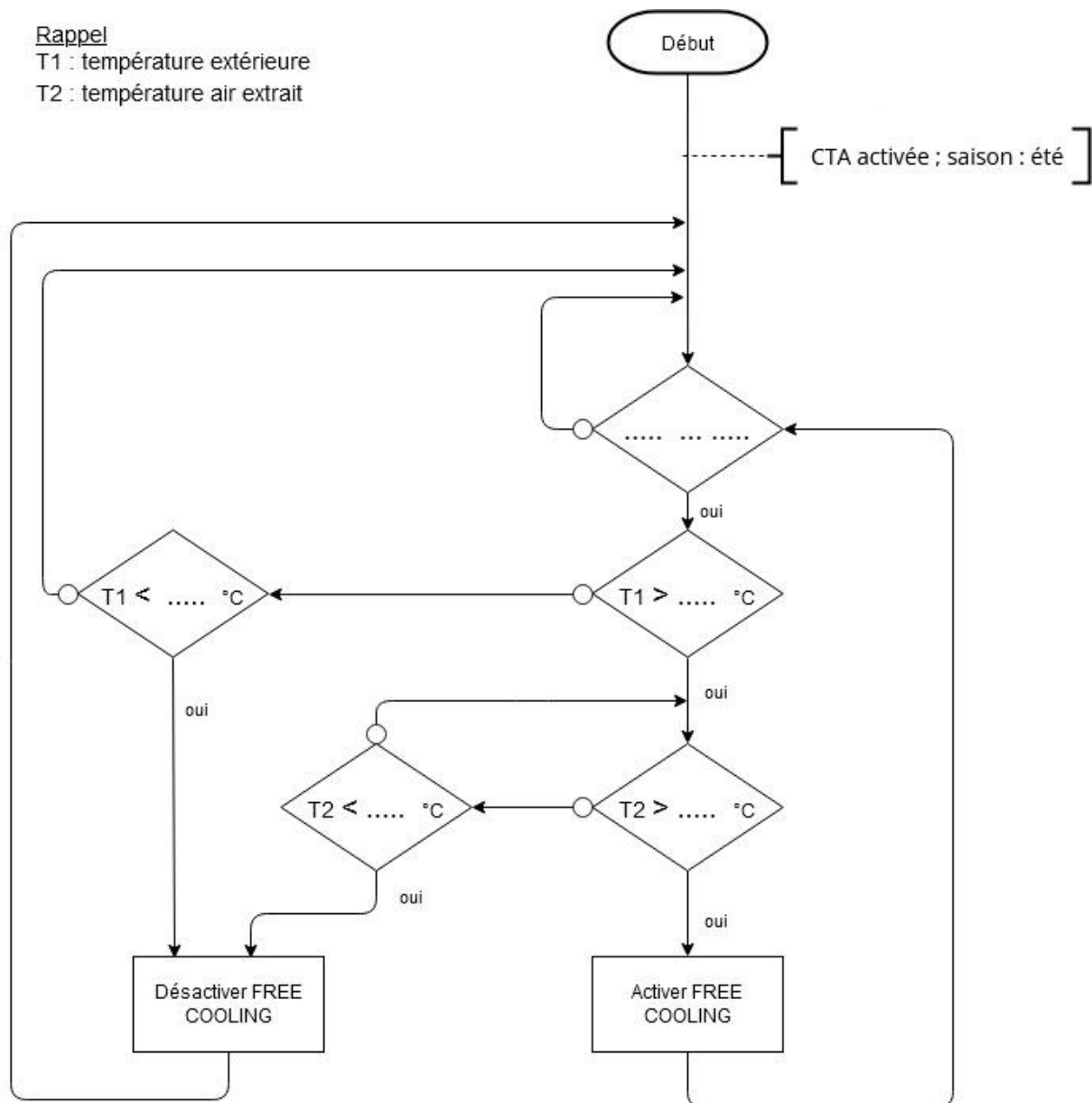
DR2 : gestion des équipements

Question 4.1

Rappel

T1 : température extérieure

T2 : température air extrait



Question 4.2

Période d'occupation	OUI	OUI	OUI	NON
Conditions hygrométriques respectées	OUI	OUI	OUI	OUI
T°C extérieure	20°C	24°C	28°C	29°C
T°C air ambiant	25°C	23,5°C	26°C	29°C
Rafraîchisseur adiabatique activé (Oui/Non)				

... / ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

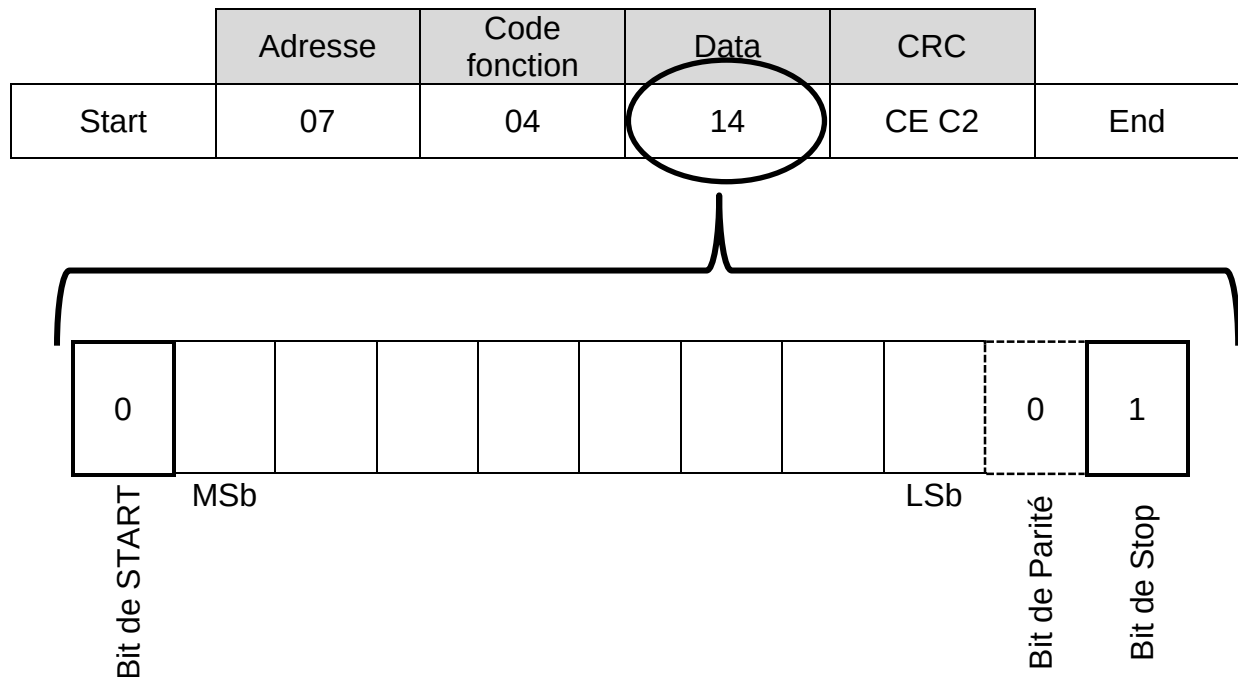
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

DR3 : rafraîchisseur adiabatique

Question 4.5

Trame de réponse : sonde hygrométrique entrée Adiabox

→ Le taux d'humidité relative indiqué est de 20%



Question 4.6

Plage de fonctionnement du rafraîchisseur adiabatique

HUMIDITÉ RELATIVE à l'entrée de l'ADIABOX (%)	TEMPÉRATURE D'AIR à l'entrée de l'ADIABOX (°C)				
	20	25	30	35	40
	TEMPÉRATURE AIR SOUFLAGE (°C)				
10	9,3	12,4	15,6	18,6	21,6
20	10,7	14,3	17,8	21,2	24,7
30	12,1	15,9	19,7	23,5	27,4
40	13,5	17,4	21,5	25,7	29,8
50	14,6	19,0	23,2	27,5	NO
60	15,8	20,2	24,7	29,3*	NO
70	16,9	21,5	26,2*	NO	NO
80	18,0	22,7*	NO	NO	NO

NO : Non Observé

*zone tropicale

Efficacité média adiabatique = 85%

Plus l'air extérieur est chaud, plus le système est efficace ($\Delta T^{\circ}C \nearrow$)

Température air soufflé	
-------------------------	-------

... / ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

PARTIE SPÉCIFIQUE (1h).....6 points

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

Systèmes d'Information et Numérique

Gestion de la qualité de l'air d'une salle de classe de l'école Louise-Weiss



- | | |
|--|---------------|
| ○ Présentation de l'étude et questionnaire | pages 19 à 22 |
| ○ Documents techniques DTS1 à DTS4 | pages 23 à 26 |
| ○ Documents réponses DRS1 à DRS5 | pages 27 à 30 |

Mise en situation

La loi du 12 juillet 2010 portant sur l'engagement national pour l'environnement a posé l'obligation de surveiller périodiquement la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (ERP) accueillant des populations sensibles ou exposées sur de longues périodes.

Ainsi la maîtrise du taux de renouvellement de l'air dans les locaux par la mesure du taux de concentration en CO₂ devient un enjeu majeur car elle permet la dilution et l'élimination des polluants intérieurs dont les agents infectieux aéroportés.

Travail demandé

Partie A : pourquoi et comment assurer la surveillance du taux de concentration de CO₂ ?

L'impact d'une forte concentration de CO₂ sur la santé est réel, tout particulièrement au sein des bâtiments. D'où l'importance de surveiller la qualité de l'air intérieur.

Afin d'assurer la qualité de l'air des salles de classe, des capteurs ont été positionnés en divers endroits. Ils mesurent notamment le taux de concentration de CO₂.

Question A.1 DTS1	Citer trois raisons de maintenir la qualité de l'air dans une classe. Indiquer la valeur du taux de concentration de CO ₂ à ne pas dépasser pour avoir une qualité de l'air « acceptable » dans la classe étudiée.
----------------------	--

Question A.2 DTS1, DTS2 DRS1	Comparer les technologies permettant de mesurer le taux de concentration de CO ₂ en complétant le document réponse DRS1.
------------------------------------	--

Question A.3 DTS1	Conclure sur le capteur qui semble le plus adapté pour répondre au besoin de contrôle de qualité de l'air.
----------------------	---

Partie B : comment réaliser la gestion de la qualité de l'air dans la salle de classe ?

Question B.1 | Dans le diagramme de blocs internes du système de gestion de la qualité de l'air de la salle de classe, **identifier** les éléments techniques utilisés pour les fonctions Acquérir, Traiter et Communiquer et **compléter** la chaîne d'information fournie dans le document réponse DRS2, partie "composants matériels".

DTS3

DRS2

La suite de l'étude porte sur la mesure du taux de concentration de CO₂ réalisée par un capteur de technologie NDIR, le module MH-Z16.

Question B.2 | **Indiquer** la grandeur physique d'entrée mesurée par le capteur et **relever** la plage de mesure possible.

DTS4

DRS2

Indiquer la nature du signal de sortie du capteur.

Indiquer la "Nature des signaux" de la chaîne d'acquisition de la concentration de CO₂ dans le document réponse DRS2 en utilisant les éléments suivants : *signal numérique, signal analogique, signal logique, information, grandeur physique*.

Lorsqu'une commande est transmise, le module MH-Z16 renvoie la trame suivante :

0x 00	0x 86	0x 01	0x D6	0x 00	0x 00	0x 00	0x 00	0x 1E
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

0x correspond à une valeur hexadécimale.

Question B.3 | **Identifier** le code commande utilisé et le but de cette commande.

DTS4

Relever dans la trame ci-dessus les données contenant le taux de concentration de CO₂ (octet de poids fort et octet de poids faible).

Calculer la valeur du taux de concentration de CO₂ transmise en utilisant la formule donnée dans le document technique DTS5.

Les salles de classe sont équipées d'un système d'alerte graduel centralisé qui permet de réagir localement à une augmentation de la concentration en CO₂.

Question B.4 | **Compléter** l'algorithme de fonctionnement du système d'alerte de la détection de CO₂ avec les éléments proposés dans le tableau du document réponse DRS3.

DTS3

DRS3

Question B.5 | À l'aide de la présentation du système, et des différents résultats de l'étude menée, **conclure** sur la capacité du système à réaliser la gestion de la qualité de l'air dans la salle de classe.

Partie C : comment garantir la ventilation en cas de dépassement du seuil limite ?

Dans le cas d'un dépassement de la valeur limite (*seuilOuv*) de la concentration de CO₂, afin de renouveler l'air de la pièce, le système déclenche l'ouverture d'une fenêtre par actionnement d'un servo-moteur.

Afin d'éviter une instabilité éventuelle du système, une méthode de double seuils, dit comparateur à "hystérésis", est intégrée au système.

Valeurs seuils définies :

$$seuilHaut = seuilOuv + 100$$

$$seuilBas = seuilOuv - 100$$

Question C.1 DTS1 DRS4	Rappeler la valeur de <i>seuilOuv</i> en ppm et calculer <i>seuilBas</i> et <i>seuilHaut</i> . Reporter dans le graphique de l'hystérésis les valeurs de <i>seuilOuv</i> , <i>SeuilHaut</i> et <i>SeuilBas</i> pour un bon fonctionnement du système.
------------------------------	---

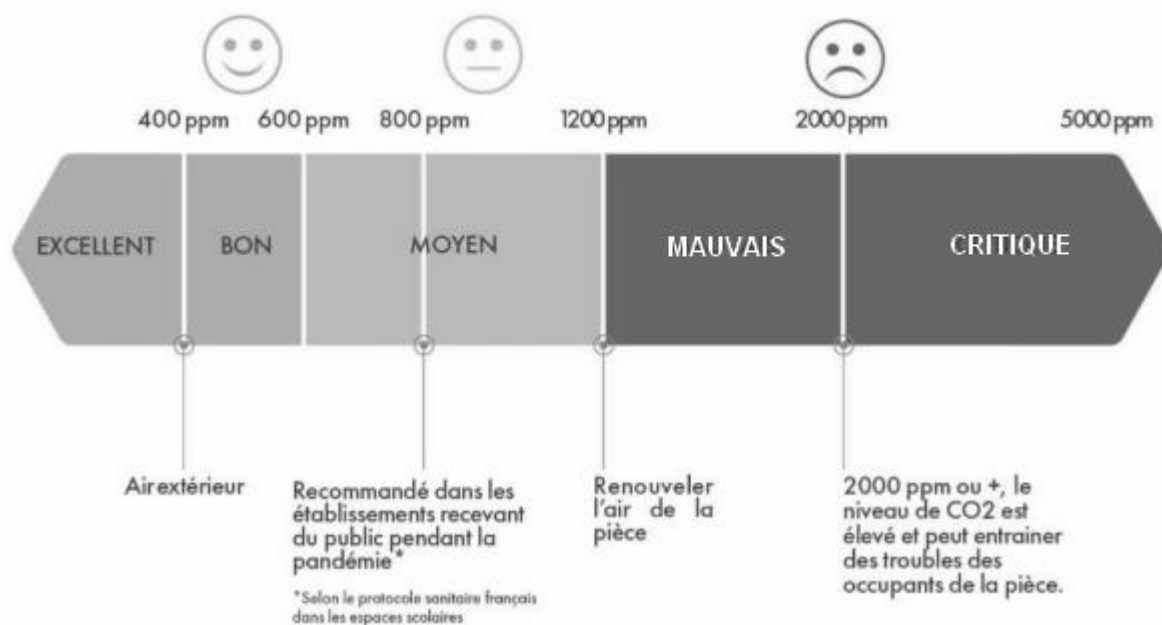
Question C.2 DRS5	Compléter le code fourni avec les valeurs trouvées.
----------------------	--

Question C.3	Conclure sur la capacité du système à réagir correctement aux valeurs seuils y compris lorsque la concentration de CO ₂ est instable.
--------------	---

DTS1 : réglementation du renouvellement d'air dans les ERP

Il est scientifiquement établi qu'une élévation de la concentration en CO₂ est associée à une diminution des performances cognitives des occupants des locaux.

Un air intérieur de qualité préserve la santé des occupants, concourt au confort et favorise la réussite scolaire des élèves. Des concentrations intérieures élevées en dioxyde de carbone, particules, composés organiques volatils et semi-volatils, etc. impactent les capacités de concentration voire provoquent des maux de tête et des difficultés respiratoires, ainsi que des pathologies à long terme. La qualité de l'air intérieur est donc observée attentivement pour favoriser la réussite des élèves et garantir de bonnes conditions de travail.



Concentration de CO₂ :

- dans l'air extérieur, la concentration de CO₂ est de l'ordre de 400 ppm (parties par million) ;
- dans une pièce, en présence de personnes, la concentration de CO₂ monte et le seuil acceptable s'établit à 800 ppm ;
- dans une situation de COVID, pour une personne qui doit enlever son masque, dans une pièce comme, par exemple, une cantine, 600 ppm est un seuil préférable.

En plaçant un capteur de CO₂ dans une pièce, il est aisé de calibrer la fréquence d'aération pour maintenir un niveau de CO₂ à des taux acceptables.

DTS2 : fonctionnement des capteurs de CO₂

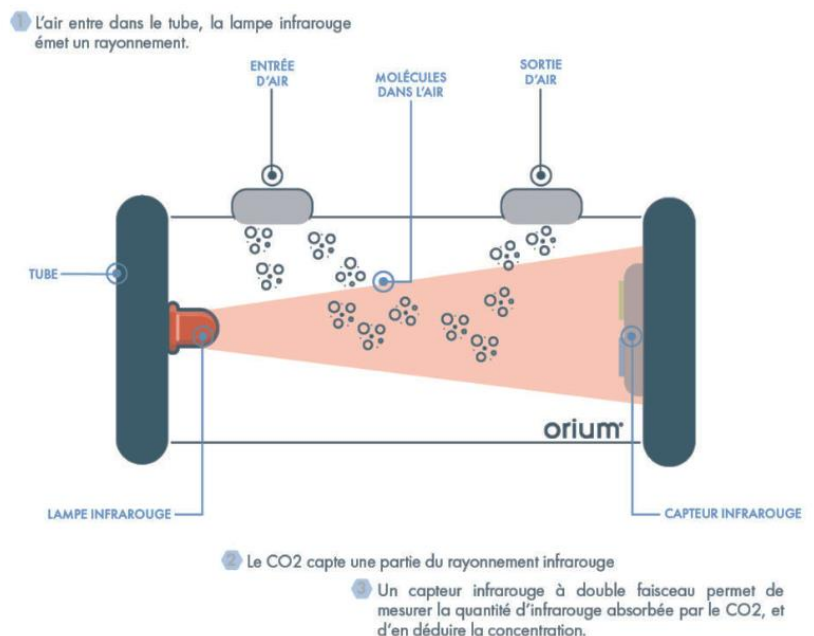
Les fabricants proposent trois technologies :

1. **Capteurs à semi-conducteur** : ces capteurs sont constitués d'une couche sensible semi-conductrice qui fonctionne par absorption de gaz en surface d'un oxyde chauffé. Cette technologie permet l'analyse et la mesure de polluants généraux comme les COV (Composés Organique Volatils) d'où est déduite une estimation du taux de CO₂. Si cette technologie est peu onéreuse, elle est aussi peu fiable car l'environnement doit être stabilisé. De plus, il peut dériver au fil du temps et nécessite un recalibrage. La précision peut chuter jusqu'à +/- 25 %.

2. **PAS** (Photoacoustic Spectroscopy) : c'est une technologie récente pour la mesure du CO₂ qui utilise un capteur Infra-Rouge à technologie photo-acoustique. À partir d'une lumière infra-rouge émise, un filtre permet de laisser passer une longueur d'onde spécifique au CO₂ afin d'exciter spécifiquement ces molécules. Elles émettent alors des ondes sonores captées par un microphone. L'amplitude de ces ondes permet de définir la concentration en CO₂ associée. Son coût et sa précision peuvent être très élevés en milieu contrôlé (laboratoire) mais dans une pièce ouverte au public sa durabilité diminue fortement et sa précision peut chuter à +/- 20%.

3. **Technologie NDIR** (Non Dispersive Infra Red) : le principe de détection repose sur l'interaction entre un rayonnement électromagnétique infrarouge et le gaz. Le gaz absorbe l'énergie à une longueur d'onde bien déterminée qui dépend de l'énergie de vibration de ses molécules. Le dioxyde de carbone présente une bande d'absorbance caractéristique dans l'infrarouge à la longueur d'onde de 4,26 µm. Lorsque le rayonnement infrarouge traverse un gaz contenant du CO₂, les molécules de CO₂ absorbent une partie du rayonnement. L'atténuation d'énergie du rayonnement infrarouge est mesurée et est fonction de la concentration de gaz présent sur le trajet optique. Elle offre une précision de (+/- 3%) et de nombreux modules simples et peu coûteux existent. Certains capteurs peuvent avoir une très bonne durée de vie, de 10 ans environ.

Note : les technologies à spectromètre désignent l'ensemble des méthodes de mesure qui utilisent l'Infra-Rouge (NDIR, PAS...). Il conviendra donc de préciser la technologie exacte du capteur.



DTS4 : suite

N° du modèle	MH-Z16
Gaz détecté	CO ₂
Tension de fonctionnement	4,5 V à 5,5 V
Plage de mesure	0 à 2000 ppm (parties par million)
Signal de sortie	Signal numérique de type UART (Tension de sortie 0 V ou 5 V)
Temps de préchauffage	3 min
Température de fonctionnement	-10°C à +50°C
Taille	97x20x17 mm
Poids	21 g

Liste des commandes :

0x86	Commande la lecture de la concentration en CO ₂
0x87	Commande l'étalonnage du point zéro (ZERO)
0x88	Commande l'étalonnage de la valeur maximale (SPAN)
0x79	Éteindre/allumer la fonction étalonnage automatique
0x99	Définir la plage de détection

Communication UART étudiée :

Commande envoyée								
Octet 0	Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4	Octet 5	Octet 6	Octet 7	Octet 8
Départ	N°	Commande	-	-	-	-	-	Contrôle
0xFF	0x01	0x86	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x79
Valeur retournée par le capteur								
Octet 0	Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4	Octet 5	Octet 6	Octet 7	Octet 8
Départ	N°	Concentration Octet de poids fort	Concentration Octet de poids faible	-	-	-	-	Contrôle
0xFF	0x86	FORT	FAIBLE	-	-	-	-	CONTRÔLE

Concentration de CO₂ = FORT x 256 + FAIBLE

Exemple :

Commande transmise : 0x FF 01 86 00 00 00 00 00 79

Trame retournée : 0x FF 86 02 20 00 00 00 00 58

Pour calculer la concentration en CO₂ : convertir l'octet 2 (= 0x 02), de poids fort, en décimal et faire de même avec l'octet 3 (= 0x 20), de poids faible, puis calculer la concentration de CO₂ : Concentration de CO₂ = 2 x 256 + 32 = 544 ppm

DRS1 : comparaison des capteurs de CO2

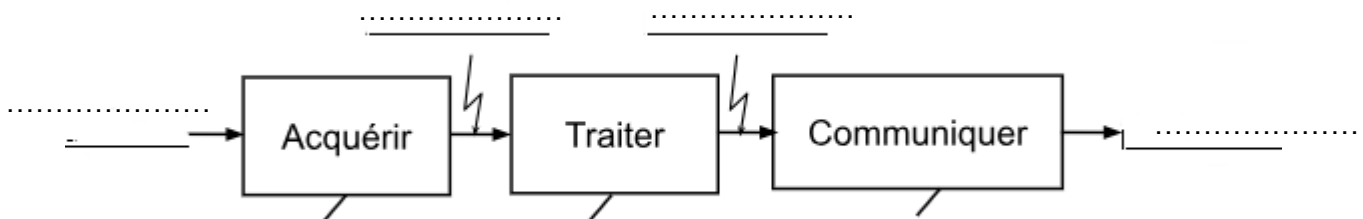
Question A.2 : compléter le tableau en comparant les éléments fournis.

Désignation de la technologie	Type de capteur	Coût économique (++ (peu cher) -> -- (cher))	Précision (++ -> --)	Stabilité / durabilité (++ -> --)
Semi-conducteur		++		
Spectrométrie Infra-Rouge	Photo Acoustique			+
	NDIR			++

DRS2 : chaîne d'acquisition de la mesure de CO₂

Question B.2:

Nature des signaux:



Question B.1:

Composants (plusieurs composants possibles pour certaines fonctions)

... / ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



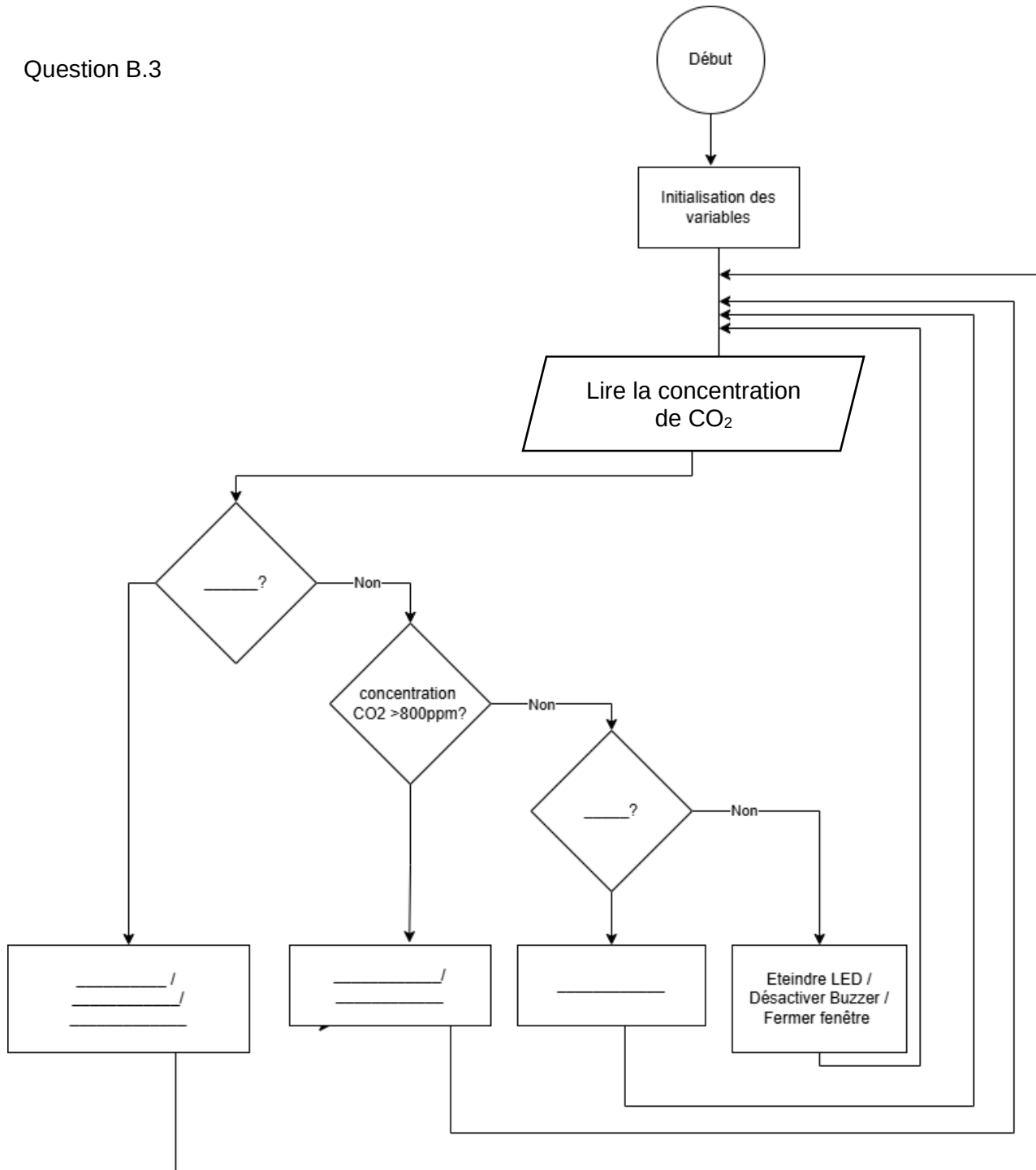
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

DRS3 : algorithme de fonctionnement du système d'alerte

Question B.3



Concentration en CO ₂ > 600ppm	Allumer LED
Concentration en CO ₂ > 800ppm	Activer Buzzer
	Ouvrir fenêtre

... / ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



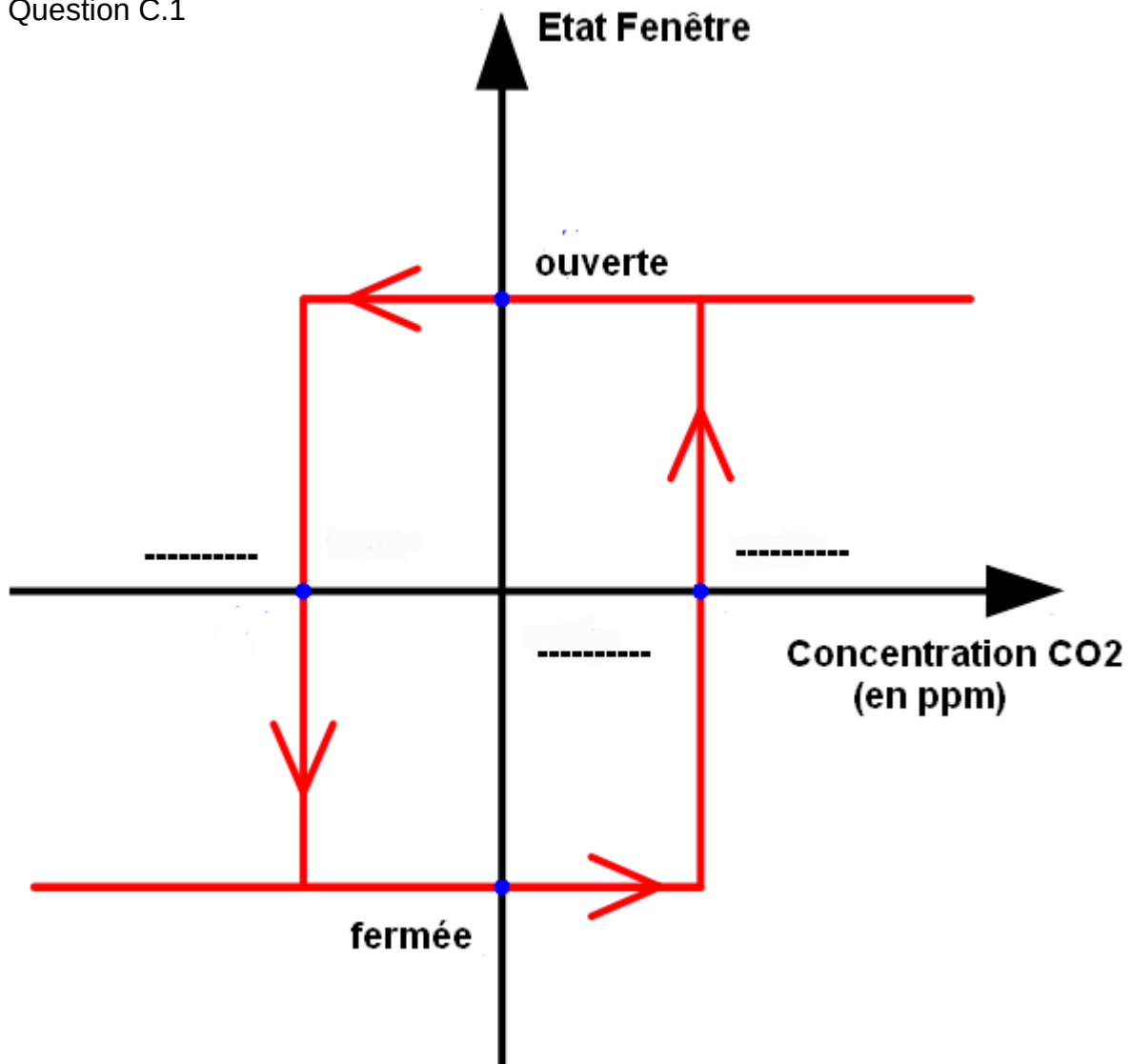
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

DRS4 : graphique de déclenchement d'ouverture de la fenêtre

Question C.1



... / ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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

DRS5 : programme d'ouverture de fenêtre

Question C.2

```
const int servoPin = 5;
const int seuilOuv = _____; // ppm
int co2Value = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  co2Serial.begin(9600);
  fenetre.attach(servoPin);
  Serial.println("Systeme de controle CO2 -> Fenêtre");
}

void loop() {
  co2Value = lireCO2();
  Serial.print("Concentration CO2 : ");
  Serial.print(co2Value);
  Serial.println(" ppm");

  if (co2Value > _____) {
    Serial.println(" Seuil dépassé : ouverture de la fenêtre...");
    fenetre.write(90); // position ouverte
  } if (co2Value < _____) {
    Serial.println("Air sain : fermeture de la fenêtre...");
    fenetre.write(0); // position fermée
  }
  delay(5000); // mesure toutes les 5 secondes
}

int lireCO2() {
  byte cmd[9] = {0xFF, 0x01, 0x86, 0, 0, 0, 0, 0, 0x79};
  byte response[9];
  co2Serial.write(cmd, 9);
  delay(50);

  if (co2Serial.available() >= 9) {
    for (int i = 0; i < 9; i++) {
      response[i] = co2Serial.read();
    }
    if (response[0] == 0xFF && response[1] == 0x86) {
      int ppm = (int)response[2] * 256 + (int)response[3];
      return ppm;
    } else {
      return -1;
    }
  } else {
    return -1;
  }
}
```

... / ...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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