

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—
SESSION 2026
—

**INGENIERIE, INNOVATION
ET DÉVELOPPEMENT DURABLE**

OPTION ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

(Classes de terminale série STI2D)

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ

Durée : 5 heures

—
Aucun document n'est autorisé

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

Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Ne joindre aucun brouillon
- Ne pas composer dans la marge
- Numéroter chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours selon l'option choisie :

Option Energies et environnement :

Concours / Examen : CGL Epreuve : admissibilité Matière : ENEN Session : 2026

Tournez la page S.V.P.

ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 55 pages.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 3 h 00)
Partie spécifique (durée indicative 2 h 00)

- ❖ La partie commune comporte 5 parties.
- ❖ La partie spécifique comporte 4 parties.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.
Vous devez traiter dans l'ordre la partie commune avant la partie spécifique.

Le Campus Métropolitain ESTP/ESEO



Partie commune

Présentation de l'étude et questionnaire	pages 3 à 12
Documents techniques DT1 à DT19	pages 13 à 30
Documents réponses DR1 à DR8	pages 31 à 38

Mise en situation

Le Campus Métropolitain ESTP/ESEO est le fruit d'une collaboration stratégique entre deux grandes écoles d'ingénieurs françaises : l'ESEO, spécialisée dans les technologies numériques (électronique, informatique, e-santé), et l'ESTP, spécialisée dans les domaines de la construction, de la ville durable et des infrastructures. Implanté depuis 2022 au cœur du campus universitaire de Dijon, ce nouvel établissement propose une formation d'ingénieur généraliste tournée vers les grands défis contemporains : ville intelligente, industrie 4.0, transition énergétique et numérique responsable.

Ce campus innovant s'inscrit pleinement dans la dynamique de développement territorial portée par Dijon Métropole. Il répond à un double objectif : former localement des ingénieurs de haut niveau et renforcer l'attractivité universitaire et économique de la région Bourgogne-Franche-Comté. Le bâtiment, d'une surface de 10 000 m² répartie sur quatre niveaux, se distingue par son architecture exemplaire et sa conception écoresponsable. Il comprend 44 salles d'enseignement, 8 laboratoires de recherche, des espaces collaboratifs, des zones de détente, ainsi que des équipements mutualisés. Conçu comme un démonstrateur de la ville bas carbone, il est connecté au projet OnDijon, première Smart City de France, permettant aux étudiants d'expérimenter en conditions réelles les technologies urbaines de demain.

Le projet s'inscrit dans une démarche environnementale ambitieuse, inspirée de la certification NF HQE niveau EXCELLENT. Il vise le label E+C- « Énergie Positive / Réduction Carbone » avec des performances énergétiques supérieures à la réglementation RT 2012, anticipant la RE 2020.

Enfin, le campus bénéficie d'un environnement urbain dynamique. Dijon, ville à taille humaine et riche d'un patrimoine culturel, gastronomique et architectural, offre un cadre de vie attractif pour les étudiants. Classée parmi les meilleures villes universitaires de France, elle accueille plus de 36 000 étudiants et propose une vie associative active, des logements abordables et un réseau de transports bien développé.

Travail demandé

Partie 1. Le choix d'implantation du campus ESTP/ESEO- est-il justifié ?

Objectif :	dans une logique de réponse aux besoins du territoire, cette partie vise à vérifier la pertinence de l'implantation du Campus Métropolitain ESTP/ESEO, en s'appuyant sur les trois piliers du développement durable afin de garantir une insertion cohérente et responsable dans son contexte local.
------------	--

Le site de l'école doit optimiser les accès et gérer les flux des différents modes de transport, en favorisant ceux qui sont les moins polluants, tout en respectant la biodiversité.

Question 1. À l'aide des documents **DT1**, **DT2**, **DT3** et **DT4**, **vérifier** la conformité du bâtiment vis-à-vis de l'exigence « mobilité et accessibilité » et de l'exigence « environnement paysager et biodiversité » et **compléter** le document **DR1**.

Dans le cadre des exigences étudiées, une étude comparative est envisagée afin d'évaluer les solutions de déplacements possibles pour un étudiant effectuant des trajets hebdomadaires entre Paris et Dijon. L'analyse porte spécifiquement sur le segment du trajet entre la gare de Dijon et Campus Métropolitain ESTP/ESEO.

Trois modes de transport sont retenus pour cette étude : le vélo électrique, la voiture électrique et le tramway. L'objectif est de déterminer le mode de transport le plus pertinent en s'appuyant sur les trois piliers du développement durable.

Question 2. En observant le document **DR2**, **expliquer** la différence entre les valeurs indiquées des émissions de gaz à effet de serre en phase d'utilisation et des émissions de GES sur le cycle de vie complet des 3 types de transport étudiés.

Question 3. **Compléter** le document **DR2** en calculant les valeurs manquantes.

Question 4. **Déterminer** le mode de transport le plus pertinent pour un étudiant.

Question 5. **Conclure** sur l'implantation du Campus Métropolitain ESTP/ESEO au regard des 3 piliers du développement durable.

Partie 2. Le bâtiment respecte-t-il l'exigence 1.3.3 concernant le niveau E3 du label E+C- ?

Objectif : la conception du bâtiment doit respecter le niveau E3 du label E+C-. Cette partie permet de valider le choix des solutions technologiques envisagées. (Documents **DT5** et **DT6**).

Question 6. **Lister** les différentes sources d'énergie du bâtiment à partir du document **DT6** et **définir** celles que l'on peut considérer renouvelables.

Pris en compte de l'impact du chauffage du bâtiment / Label niveau E3 :

Question 7. **Indiquer** les deux circuits de chauffage alimentés par le réseau de chaleur d'après le document **DT7** et **donner** leurs consommations en kW et leurs débits en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. En **déduire** le débit total.

Question 8. **Déterminer** la consommation annuelle en $\text{MW} \cdot \text{h}$ de l'énergie thermique récupérée sur le réseau de chaleur à partir du document **DT8**.

Question 9. **Déterminer** la consommation en énergie électrique liée au chauffage d'après le document **DT8** et **donner** son pourcentage par rapport à la consommation globale de chauffage.

Question 10. En **déduire** la consommation en $\text{kW}\cdot\text{h}_{\text{ep}}\cdot\text{an}^{-1}$ en ce qui concerne le chauffage en vous aidant du document **DT8**.

Pris en compte de l'impact de l'éclairage du bâtiment / Label niveau E3 :

Question 11. **Indiquer** les solutions retenues pour limiter le besoin énergétique afin d'assurer l'éclairage du bâtiment tout en limitant l'apport thermique solaire en vous aidant des documents **DT9** et **DT10**.

La modulation de l'éclairage est assurée par une régulation de l'éclairement en fonction de la lumière naturelle et de la présence de personnes dans les salles. On s'intéresse ici à une salle de classe où l'éclairement moyen doit être de 400 lux selon la norme européenne. On suppose que la puissance lumineuse vaut 100 % quand l'éclairage est uniquement artificiel et permet d'obtenir 400 lux. On suppose également que la consommation électrique est proportionnelle au flux lumineux.

Question 12. **Compléter** les deux chronogrammes du document **DR3** en fonction des données proposées et **calculer** le pourcentage d'économie énergétique réalisée pour une journée dans la salle étudiée par rapport à une utilisation par simple allumage des luminaires en cas de présence dans la salle.

Afin de moduler cette puissance lumineuse, il faut installer des capteurs de luminosité et les relier à un driver LED commandé en 0 - 10 V.

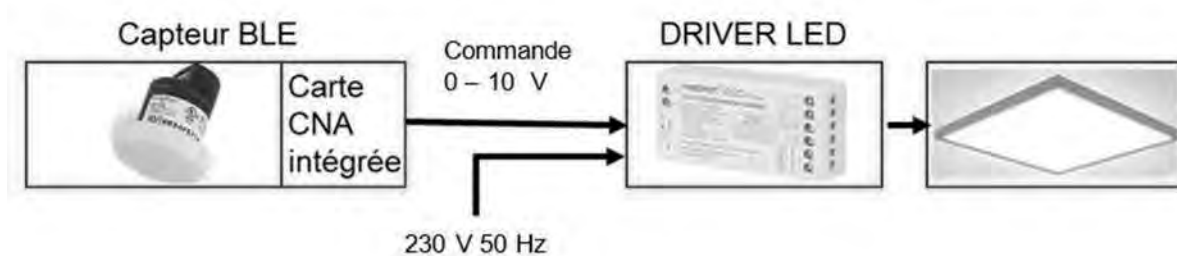


Figure 1 : commande des luminaires à LED

La carte de traitement intégrée possède des sorties équipées de convertisseurs numériques-analogiques 0 – 10 V sur 1 octet. La commande 0 – 10 V permet d'obtenir un flux lumineux de 0 % à 100 % du flux maximal.

Question 13. **Calculer** le quantum de tension du CNA et **déterminer** pour des éclairements artificiels de 100 lux et 300 lux les valeurs numériques obtenues sous forme binaire en entrée du CNA.

Question 14. **Déterminer** la consommation en énergie électrique liée à l'éclairage d'après le document **DT8** et **indiquer** la consommation électrique globale.

Question 15. À l'aide du document **DT8**, **indiquer** la consommation en $\text{kW}\cdot\text{h}_{\text{ep}}\cdot\text{an}^{-1}$ pour l'énergie électrique totale.

Pris en compte de l'impact de la production solaire / Label niveau E3 :

Question 16. À l'aide du document **DT11**, **calculer** l'énergie fournie par l'installation solaire en une année (données de 2023).

La Réglementation Thermique en vigueur lors du dépôt de permis de construire du Campus Métropolitain ESTP/ESEO était la RT2012. Pour ce bâtiment, la consommation conventionnelle annuelle maximale en énergie primaire est évaluée à $71,5 \text{ kW}\cdot\text{hep}\cdot\text{m}^{-2}$. Dans le calcul de son niveau de performance énergétique, le label E+C- établit un bilan BEPOS ($\text{Bilan}_{\text{BEPOS}} = \text{énergie consommée} - \text{énergie produite}$), c'est la valeur de ce bilan qui permet d'établir le niveau de performance lié à la consommation d'énergie primaire dans le bâtiment.

Question 17. À l'aide des réponses données aux questions précédentes, **déterminer** la valeur du bilan BEPOS du bâtiment.

Question 18. À l'aide des réponses données aux questions précédentes, **calculer** la quantité d'énergie primaire renouvelable consommée et produite par le bâtiment sur une année de fonctionnement.

Question 19. À l'aide des documents **DT2**, **DT3**, **DT4** et **DT5**, **vérifier** et **justifier** les deux critères nécessaires à l'obtention du niveau E3 du label E+C-.

Partie 3. Quel est l'impact carbone de ce bâtiment ?

Objectif : vérifier que le projet respecte le niveau C1 du Label E+C-. Dans le cadre du label E+C-, le cycle de vie complet du projet est fixé à 50 ans ; cette partie a pour objectif de mettre en évidence les résultats de l'ACV relatifs au paramètre « changement climatique », qui exprime, en $\text{kgeqCO}_2\cdot\text{m}^{-2}$, le bilan carbone lié aux émissions de gaz à effet de serre.

Question 20. **Présenter**, à l'aide du document **DT5**, les différents impacts pris en compte dans la démarche d'analyse de cycle de vie du bâtiment. **Relever** ensuite dans le document **DT2** les valeurs attendues pour respecter le critère visé par le projet.

Une première ACV a permis d'évaluer, par lot, les émissions de gaz à effet de serre. Les résultats de l'étude sont présentés dans le document **DR4 – Scénario 1**.

Question 21. **Désigner** le lot le plus impactant sur la durée de vie du projet. **Conclure** sur le respect du critère C1 PCE pour ce scénario.

Une nouvelle ACV a été faite en remplaçant le type de ciment utilisé pour certaines parties concernant les lots 2 et 3. La mise en œuvre d'un ciment de type CEM III/B en lieu et place du CEM II/A-V, a permis de diminuer significativement les émissions carbonées liées au béton.

Question 22. À l'aide du document **DT12**, **déterminer** le gain en $\text{kgCO}_2\text{eq}\cdot\text{t}^{-1}$ entre les 2 types de ciment, puis **exprimer** le résultat en pourcentage.

Si on tient compte de l'ensemble des éléments constitutifs des lots 2 et 3, le seul changement de ciment permet respectivement un gain sur les émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 41 % et 33 %.

Question 23. **Calculer** les nouvelles valeurs des lots 2 et 3 en prenant en compte le gain dû à l'utilisation du ciment de type CEM III/B. **Compléter** le document **DR4** pour le **Scénario 2**. **Donner** le total des PCE du projet et **conclure** sur le respect du Critère C1 PCE pour le **Scénario 2**.

L'indicateur C évalue la réduction des émissions de gaz à effet de serre du bâtiment tout au long de son cycle de vie. La figure 2 représente l'ACV complète après modification du béton des lots 2 et 3

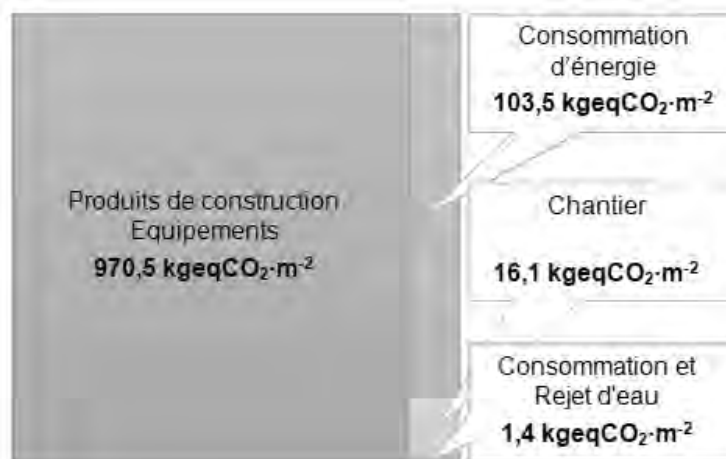


Figure 2 : Diagramme de répartition par poste de

l'impact changement climatique

Question 24. **Déterminer** si le niveau de performance carbone C1 EGES total est atteint. **Justifier** la réponse quant à la validation du critère C1.

Partie 4. Gestion des accès : comment interfacier un lecteur de badges RFID avec une application web pour la bonne gestion des accès et des présences ?

Objectif : Plusieurs personnes ont besoin d'accéder au bâtiment pour diverses raisons (études, enseignements, gestion technique ou administrative). Afin d'assurer la sécurité des biens et des personnes, il est nécessaire de filtrer dès l'entrée les personnes qui s'y présentent. Le caractère particulier de l'école souligne la nécessité d'opter pour une sécurité élevée, un besoin de lecture rapide et une polyvalence d'applications. L'objectif de cette partie est donc d'étudier les principes de gestion des accès du bâtiment qui ont été retenus.

Concrètement, un utilisateur doit scanner sa carte RFID à l'entrée. Le lecteur RFID envoie l'ID de la carte à un serveur web via une requête HTTP. L'application web enregistre l'heure d'arrivée et affiche une confirmation. Le choix d'une solution sécurisée pour accéder à un bâtiment offrant des technologies novatrices est donc primordiale dans ce contexte.

Question 25. À l'aide du document **DT13**, **choisir et justifier** la carte adaptée pour sécuriser le bâtiment.

Un étudiant, un professeur ou un gérant utilisent un badge RFID pour accéder à une salle. La base de données (BDD) doit vérifier l'identité de l'utilisateur, puis autoriser ou refuser l'accès en fonction de son rôle.

Question 26. **Compléter** l'algorithme du document **DR5** afin de gérer les différents niveaux d'accès en utilisant les mots ci-après.

Mots à utiliser : professeur, lecture du badge RFID, étudiant, badge reconnu, récupération rôle sur BDD et gérant.

Question 27. **Indiquer** quelles salles sont accessibles pour chaque profil. **Expliquer** en quelques lignes ce qui se passe si le badge n'est pas reconnu.

On s'intéresse maintenant à l'interface web de l'application disponible pour l'enseignant. Dès l'entrée des élèves dans son cours, celui-ci pourra visualiser les élèves présents (photo, nom et prénom) afin de faire l'appel rapidement et débiter son cours. On estime un gain de 10 min par rapport à un appel standard. Voici une indication des deux versions de l'application web :

Liste des élèves



Prénom : Alice
NOM : DUPONT



Prénom : Mohamed
NOM : BENALI



Prénom : Clara
NOM : MARTIN



Prénom : Tom
NOM : CHATEAU-LEE

Liste des élèves dans la salle



Prénom : Alice
Nom : Dupont

Retard (min) :

☐ Absent(e)



Prénom : Mohamed
Nom : Benali

Retard (min) :

☐ Absent(e)



Prénom : Clara
Nom : Martin

Retard (min) :

☐ Absent(e)



Prénom : Tom
Nom : Chateau-Lee

Retard (min) :

☐ Absent(e)

Application web : version 1

Application web : version 2

Figure 3 : Versions de l'application web

Question 28. **Énumérer** les différences entre les styles de ces 2 versions de l'application web. **Indiquer** la méthode de développement à ajouter pour rendre le site dynamique dans la version 2.

Question 29. À l'aide du document **DT14**, compléter les éléments manquant dans le code HTML du document **DR6**.

Question 30. **Conclure** sur les solutions envisagées pour répondre à la problématique de cette partie.

Partie 5. Le choix des matériaux répond-il aux exigences de la RT2012 et aux contraintes des structures ?

Objectif : vérifier les caractéristiques de l'isolation thermique de la toiture de l'amphithéâtre au regard de la RT2012. Vérifier les charges et les contraintes sur certaines parties de la structure du mur mobile de l'amphithéâtre afin de valider les matériaux utilisés.

La couverture métallique mise en œuvre au-dessus de l'amphithéâtre est un bac métallique double peau qui a des performances thermique et acoustique données dans la fiche technique du produit dans le document **DT15**.

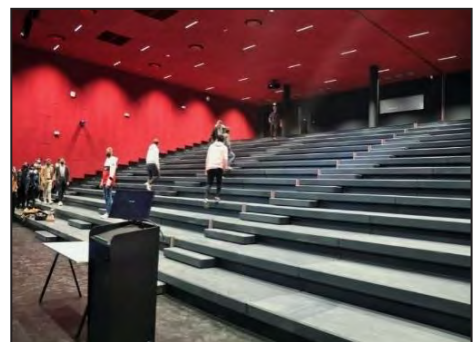


Figure 4 : Amphithéâtre 'ouvert' sans mur mobile

Question 31. **Expliquer**, au vu de la configuration de l'amphithéâtre, quels peuvent être les problèmes de confort thermique des occupants.

Question 32. **Compléter** le tableau du document **DR7**, afin de déterminer l'épaisseur totale e_{isolant} de l'isolant et la résistance thermique surfacique totale R_{totale} de la toiture de l'amphithéâtre.

La Réglementation Thermique 2012 donne des directives et des objectifs chiffrés concernant l'isolation des bâtiments notamment les résistances thermiques surfaciques et l'épaisseur de l'isolant des différentes parois déperditives :

	Résistance thermique surfacique : R en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	Épaisseur isolant : e_{isolant} en cm
Plancher Bas	$2,5 < R < 6$	$6 < e < 20$
Murs extérieurs	$3 < R < 9$	$8 < e < 30$
Plancher Haut	$5,5 < R < 12$	$10 < e < 50$

Question 33. **Conclure** sur le choix technique pour la toiture de l'amphithéâtre vis-à-vis de sa cohérence avec les directives de la RT 2012.

Dans le cadre de l'aménagement d'un amphithéâtre commun aux écoles ESTP et ESEO, l'intégration d'un mur mobile Algaflex® (document **DT16**) - permet de moduler l'espace selon les besoins pédagogiques. Le mur mobile est une cloison amovible (figure 5) constituée de panneaux suspendus qui coulissent. Ce dispositif permet d'offrir deux salles de cours autonomes ou un grand amphithéâtre unique, selon les besoins des enseignants ou les événements (conférences, examens, soutenances...).

Les cloisons amovibles utilisées pour séparer l'amphithéâtre commun de l'ESEO et de l'ESTP sont portées par un rail supérieur fixé à une poutre HEA450 qui est elle-même soutenue par une structure porteuse composée d'une variété de poutres en L (figure 6).



Figure 5 : Illustration des cloisons amovibles

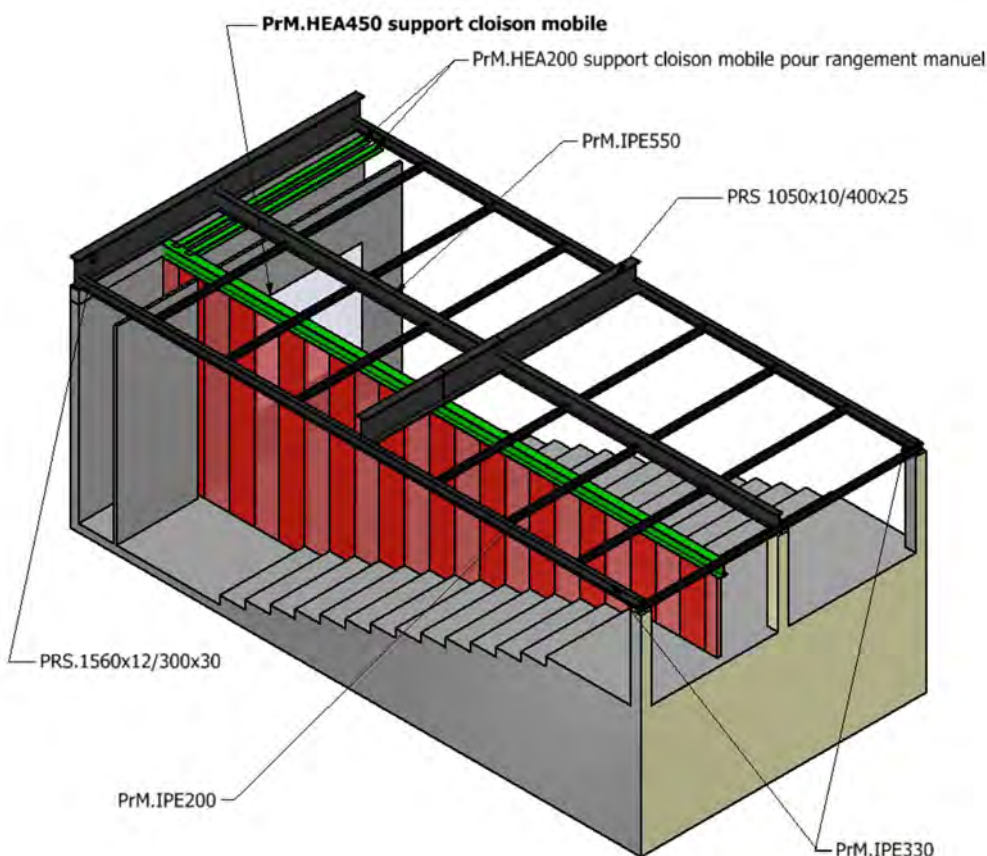


Figure 6 : Modélisation partielle de la structure porteuse de la cloison mobile

La suite de l'étude portera sur une partie des efforts dans la partie structure concernée par le soutènement du rail (support cloison mobile).

Calcul des poids des cloisons

On considère une accélération gravitationnelle de $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question 34. À l'aide des documents **DT16** et **DT17**, **déterminer** le poids des cloisons mobiles de type B et P. **Calculer** ensuite le poids total exercé sur la poutre HEA450 par l'ensemble des cloisons mobiles.

Question 35. À l'aide du tableau du document **DT17**, **tracer** sur le document **DR8** le profil de la répartition des efforts sur la poutre HEA450 qui représente le plus la réalité pour les zones 2 et 3.

Contraintes dans le poteau central de soutien en béton armé

On s'intéresse maintenant aux contraintes supplémentaires générées par la structure porteuse des cloisons sur les poteaux de soutènement en béton armé C25/30XC1 de limite élastique $R_e = 2,41 \text{ MPa}$. On limite l'étude des contraintes sur le poteau de soutènement central (voir figure 7).

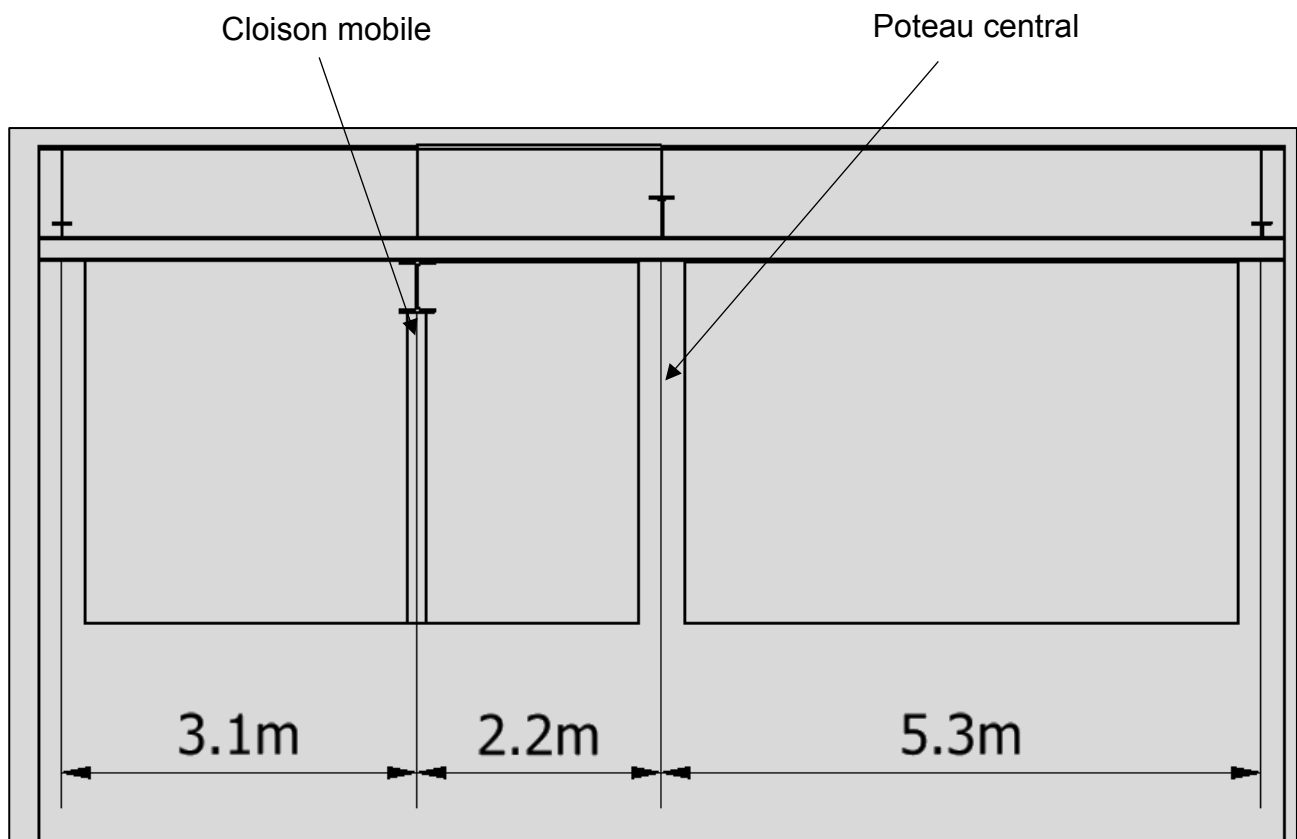


Figure 7 : Mise en plan locale des poteaux de soutènement

Question 36. **Justifier** l'intérêt d'étudier en priorité le poteau de soutènement central par rapport aux deux autres. **Donner** la sollicitation principale à laquelle est soumis le poteau central.

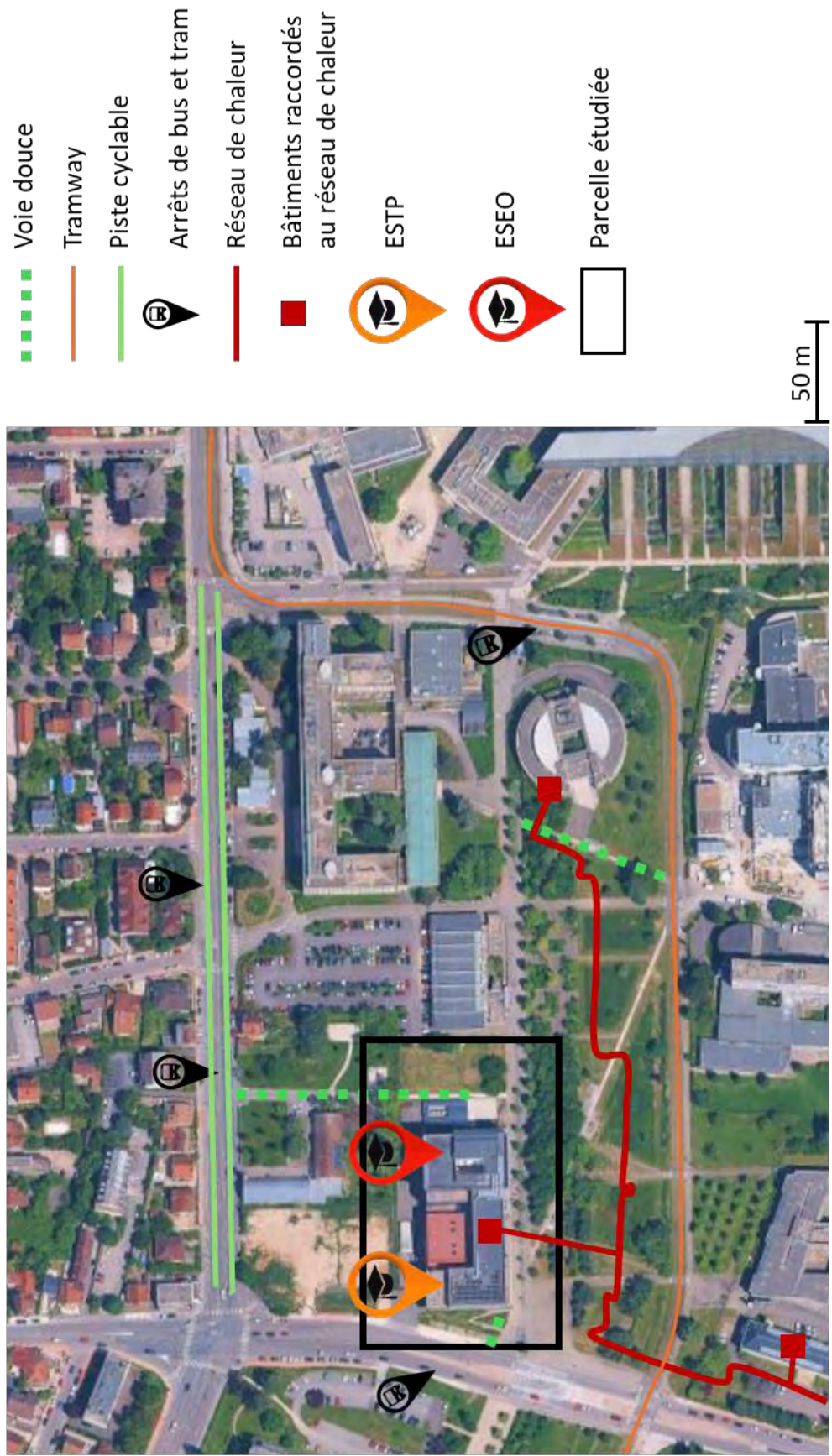
Question 37. Le résultat de la simulation de contraintes sur ce poteau étant donné sur le document **DT18**, **calculer** le coefficient de sécurité actuel. **Conclure** quant au respect de l'exigence 1.4.2 disponible dans le document **DT3**.

Question 38. **Conclure** quant au choix du matériau au regard des performances écologiques, de la sécurité et de la faisabilité à partir du document **DT19**.

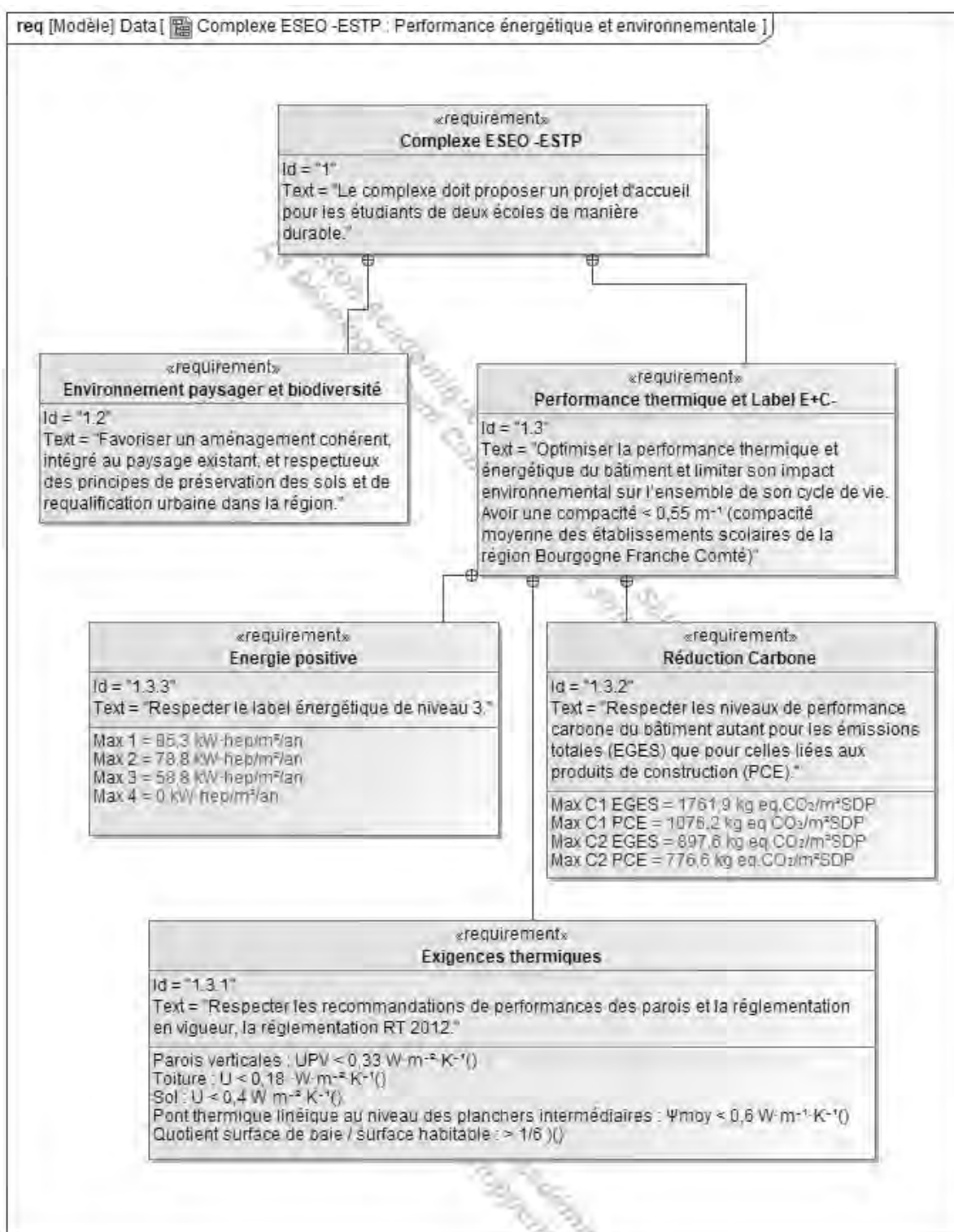
Conclusion générale

Question 39. À l'aide des conclusions des différentes parties étudiées, **conclure** sur les performances énergétiques et environnementales, l'usage et le confort, l'organisation spatiale du bâtiment des écoles d'ingénieurs ESEO-ESTP.

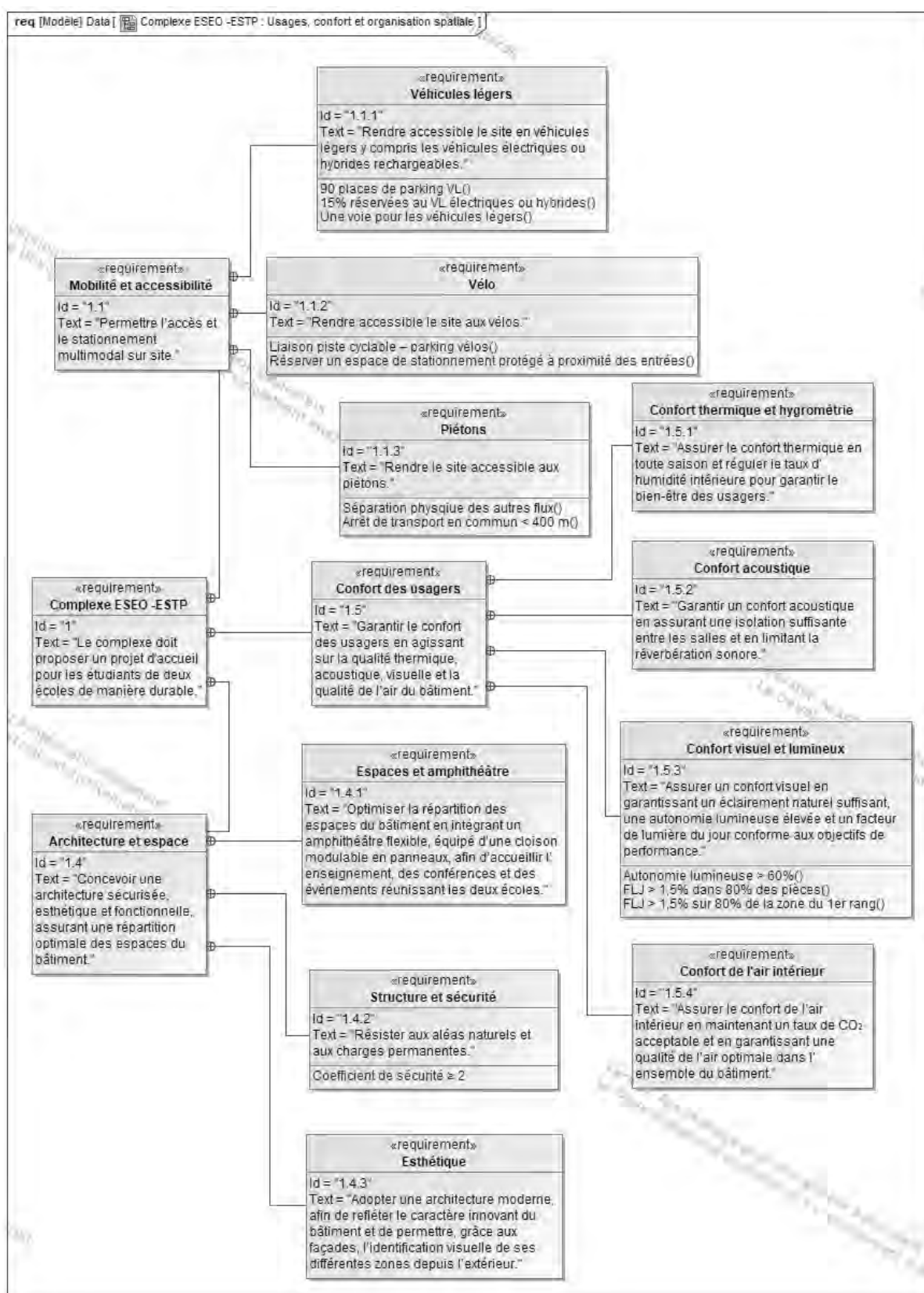
DT 1 - Plan de situation

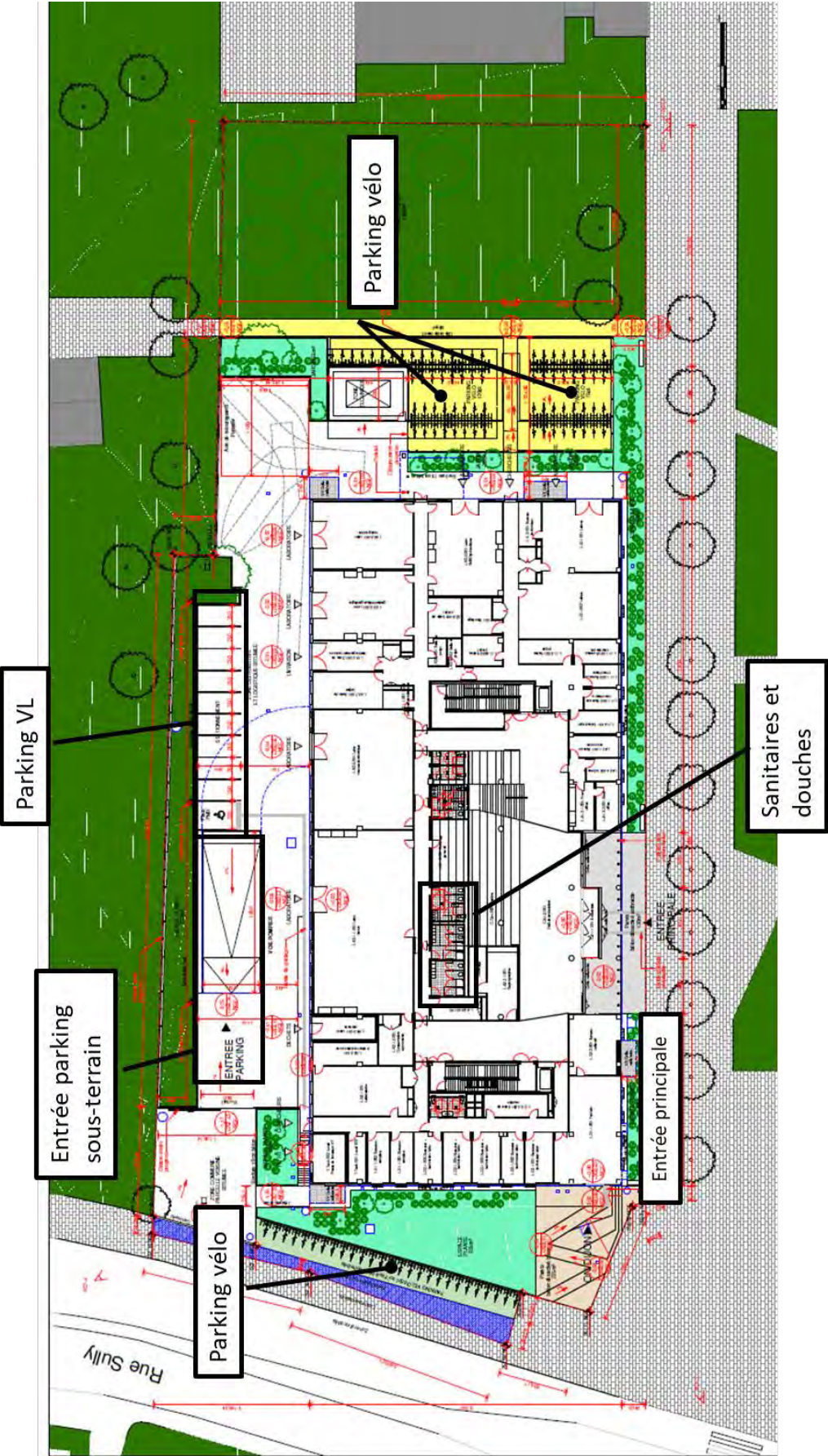


DT 2 - Diagrammes des exigences - performances énergétique et environnementale



DT 3 - Diagrammes des exigences - usages, confort et organisation spatiale

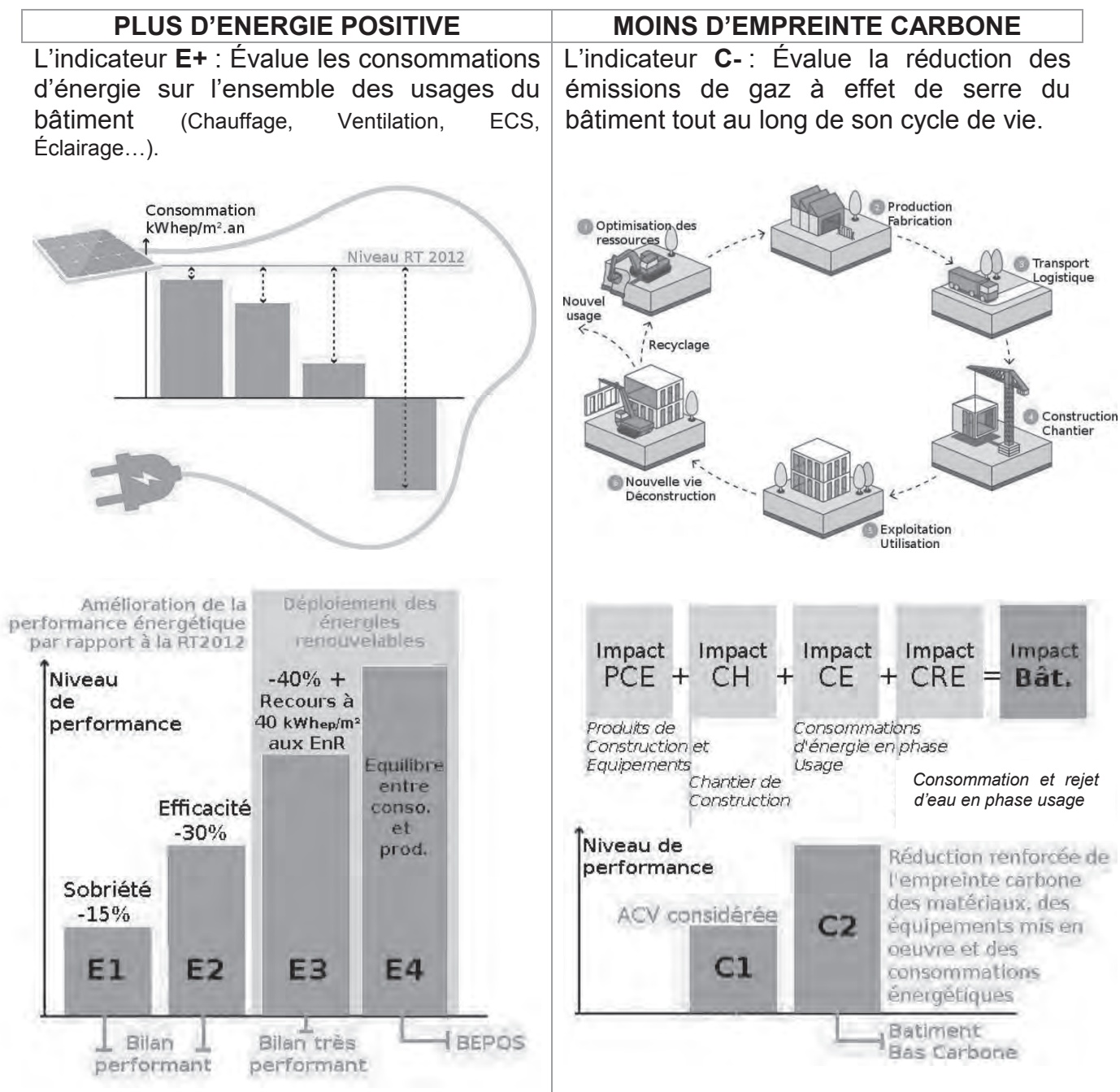




DT 5 - Le Label E+C-

La démarche « Énergie – Carbone » est une expérimentation lancée en 2016 afin de préparer la réglementation environnementale 2020.

Par rapport à la réglementation thermique 2012, l'expérimentation E+C- introduit l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre d'une opération de construction sur l'ensemble de son cycle de vie ; afin d'anticiper la RE 2020 qui permet de concevoir aujourd'hui des bâtiments à énergie positive en intégrant les impacts environnementaux du projet.



Pour chacun de ces indicateurs des niveaux de performances ont été définis :
4 pour l'Énergie : de E1 à E4 et 2 pour le Carbone : C1 et C2.

DT 6 - Label E3 - Choix de conception

Le bâtiment d'une superficie totale de 10 000 m², dont le projet a débuté en 2017, a été livré en 2021 et pour mieux respecter la future réglementation environnementale RE2020, le choix a été de respecter le label E3 C1.

L'objectif du niveau E3 du label est d'améliorer la performance énergétique par rapport à la RT 2012. Pour répondre à cette RT2012, la consommation d'énergie primaire maximale autorisée est de 71,5 kW·hep·m⁻². La production électrique photovoltaïque vient en déduction de la consommation électrique du bâtiment dans le calcul. Afin d'obtenir un bilan très performant (E3) il faut :

- réduire de 40 % la consommation en énergie primaire du bâtiment par rapport aux attentes de la RT 2012 ;
- avoir recours aux énergies renouvelables à minimum 40 kW·hep·m⁻²·an⁻¹.

Le périmètre d'engagement est défini autour des postes de consommation suivants.

Périmètre d'engagement	Inclus	Non-inclus
Chauffage	☒	
Climatisation avec refroidissement actif	☒	
Auxiliaires CVC (chauffage ventilation climatisation)	☒	
ECS (eau chaude sanitaire)	☒	
Éclairage artificiel intérieur	☒	
Électricité spécifique au process	☒	
Prises de courant		☒
Services généraux (ascenseurs, éclairage extérieur, data center...)		☒

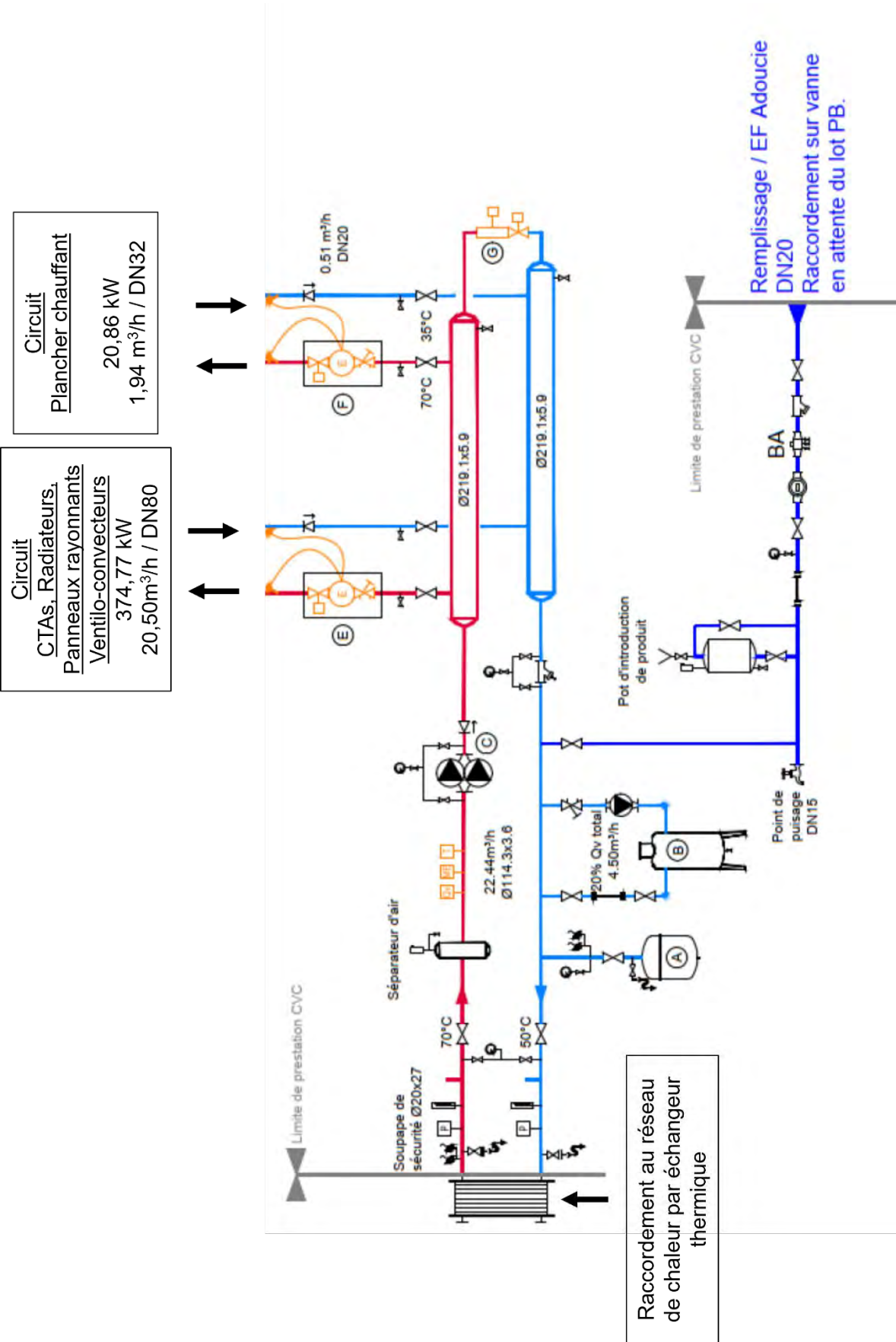
La performance passe obligatoirement par le choix d'équipements techniques efficaces et convenablement dimensionnés pour répondre au fonctionnement attendu.

La génération de chaleur pour ce bâtiment repose en grande partie sur le réseau de chaleur urbain disponible sur le site et provenant d'une centrale de valorisation énergétique des déchets, et la génération de froid ne vient qu'en complément d'un rafraîchissement adiabatique indirect prévu sur l'ensemble des locaux au travers d'un module spécifique sur les organes de traitement d'air.

La production électrique du bâtiment provient des panneaux photovoltaïques sur le toit.

Description	Puissance installée (kWc)	Surface installée (m ²)	Rendement
Panneaux photovoltaïques polycristallins type SUNPOWER E20 320	28,6	145	20 %

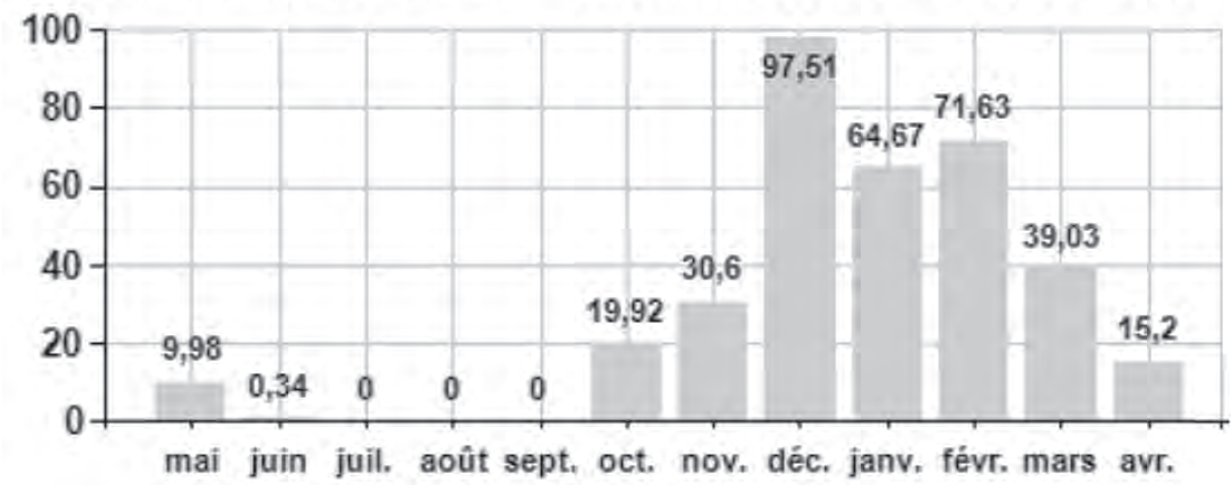
DT 7 - Raccordement au réseau de chaleur urbain



DT 8 - Consommations relevées

Consommation sur le réseau de chaleur :

Historique de vos consommations : CHAUFFAGE / FACTURATION (unité MWh)



Consommations électriques annuelles en kWh (périmètre d'engagement du label)

Éclairage	29673
Climatisation	8231
Eau chaude sanitaire	8912
Chauffage électrique	23834
Ventilation	69176
Total	139826

Tableau de conversion entre énergie primaire et énergie finale

Le tableau est à jour au 1er février 2023, il présente le coefficient à appliquer à l'énergie finale pour obtenir l'énergie primaire.

Type de calcul	Électricité	Bois	Autres énergies
RE2020	2,3	1	1
RT2012	2,58	1	1
RTE	2,58	0,6	1
RT2005	2,58	1	1
RT2000	2,58	1	1
E+C, énergie consommée	2,58	1	1

DT 9 - Éclairage du bâtiment

La gestion de l'éclairage des salles et des circulations sera réalisée par un pilotage groupé de 4 éclairages maximum.

- Concernant les salles, celles-ci seront pilotées via des drivers DALI intégrés aux luminaires.
- Concernant les circulations, celles-ci seront pilotées en tout ou rien.

Chaque local sera piloté par des micros-capteurs ENLIGHTED (maxi 1 pour 4 luminaires), le pilotage des luminaires se fera par des capteurs KIT-SU-5E-IOT associés à des unités de contrôle CU-4E-FM pilotant des drivers DALI standards.



Pilotage de l'éclairage localisé : Les différents niveaux d'éclairage, les préférences et les paramètres des scénarios de chaque groupe de luminaire sont transmis sans fil lors de la mise en service du système, puis enregistrés dans la mémoire locale du capteur, afin de garantir un fonctionnement en continu.

L'appareil d'ambiance QMX3P37 permettra une dérogation locale par l'utilisateur de l'éclairage de la pièce concernée

- le réglage et l'affichage de la température du local,
- la dérogation de forçage de la protection solaire du local (stores ou BSO),
- la dérogation de forçage de l'éclairage du local.



Tous les luminaires sont équipés de LED pour optimiser l'efficacité énergétique.

Type de local	Type d'allumage	Type de gestion	Niveau	Puissance
Amphithéâtres aveugles	Tableau de commande	Gestion impossible avec la lumière du jour	400 lux	6,05 W/m ²
Amphithéâtre non aveugle	Tableau de commande	Gestion automatique assurant éclairage constant	400 lux	6,05 W/m ²
Bureaux / Salles de réunion	Détection de présence/absence	Gestion automatique assurant éclairage constant	250 lux	5.10 W/m ²
Centre de documentation / Salles de cours	Détection de présence/absence	Gestion automatique assurant éclairage constant	250 / 300 lux	6,03 W/m ²
Circulations	Détection de présence/absence	Gestion impossible avec la lumière du jour	250 lux	4 W/m ²
Hall d'entrée	Interrupteur	Gestion automatique assurant éclairage constant	200	3,18 W/m ²

DT 10 - Protections solaires

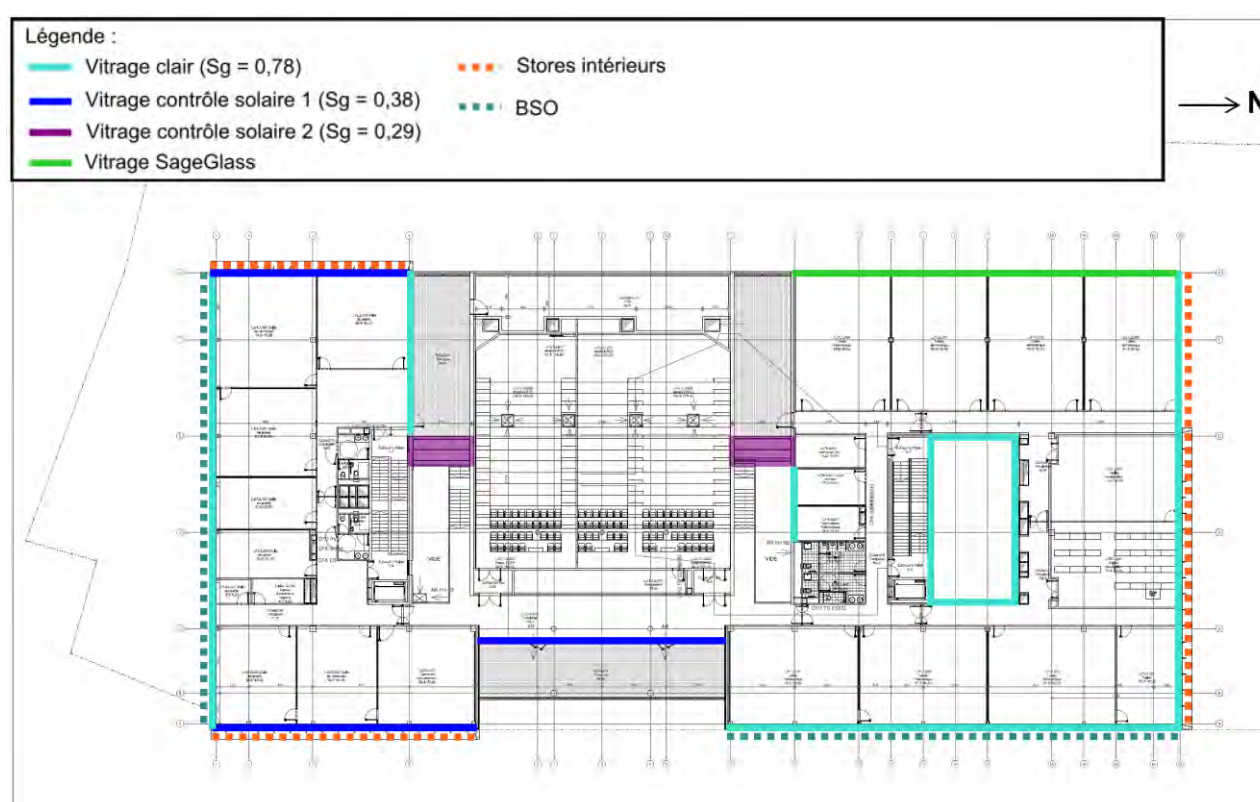
Pour protéger le bâtiment des rayonnements solaires en été et éviter un recours excessif énergivore à une climatisation, différentes solutions sont mises en place.

On trouve notamment des BSO (brise-soleil orientable) qui sont baissés automatiquement à des heures préprogrammées, des stores intérieurs, et des vitrages spéciaux type SageGlass (de Saint-Gobain) capables d'adapter leur facteur solaire en fonction de l'intensité du rayonnement incident.

Le facteur solaire g ou S_g correspond à l'énergie que laisse passer un vitrage par rapport à l'énergie transmise par le soleil, $S_g < 1$.

Le facteur TL correspond donc à la transmission lumineuse d'un vitrage, $TL < 1$.

Exemple au 2^{ème} étage :



Les BSO sont utilisés en majorité l'après-midi et sont fortement impactés par le comportement des utilisateurs qui peuvent faire une dérogation sur le fonctionnement automatisé par programmation horaire. Une bonne utilisation permet de réduire de moitié le facteur solaire.

Le vitrage SageGlass permet d'offrir une protection adaptée et efficace tout au long de la journée en réduisant le facteur solaire considérablement. La transmission lumineuse du vitrage SageGlass varie en fonction de l'opacité du verre et donc de l'éclairement reçu.

Le facteur solaire varie en fonction de l'opacité du verre. En cas d'ensoleillement important, les apports solaires sont donc réduits, ce qui permet de limiter les surchauffes en période estivale.



DT 11 - Installation solaire et relevés d'irradiation

Positionnement des panneaux solaires sur le toit

Référence : panneaux solaires polycristallins Sunpower E20 320

28,6 kWc installés

Rendement : 20 %

Surface installée : 145 m²

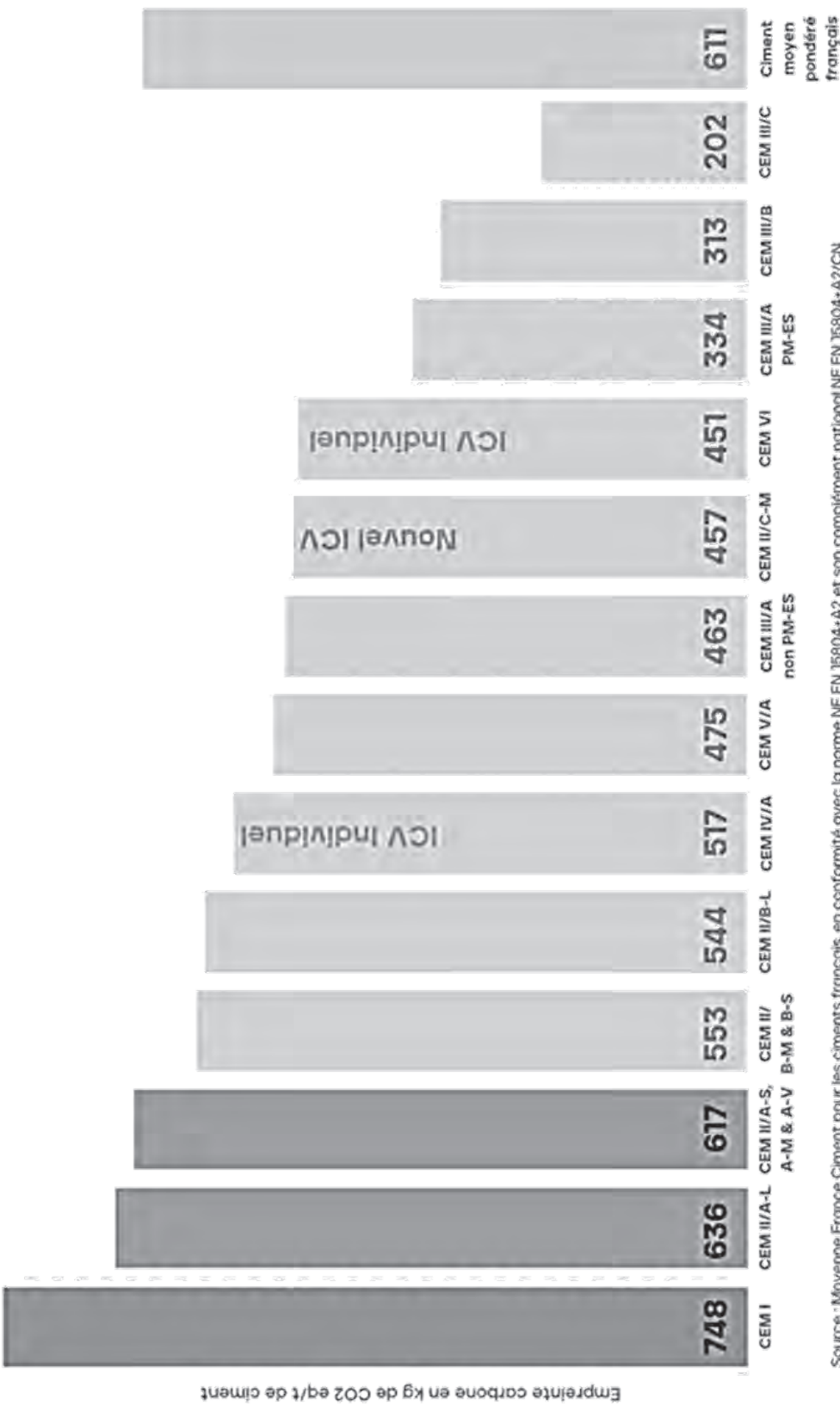


Relevé avec logiciel PVGIS de l'irradiation solaire mensuelle en kW·h/m²



Irradiation globale angle optimal

Mois	2023
Janvier	50.49
Février	99.82
Mars	126.86
Avril	140.35
Mai	186.81
Juin	204.49
Juillet	182.71
Août	157.65
Septembre	177.82
Octobre	116.69
Novembre	55.36
Décembre	33.03



Source : Moyenne France Ciment pour les ciments français, en conformité avec la norme NF EN 15804+A2 et son complément national NF EN 15804+A2/CN. Données valables pour les ciments des adhérents de France Ciment. Reproduction du graphique selon accord préalable de France Ciment, Mars 2024.

DT 13 - Tableau comparatif des solutions de cartes RFID possibles

Critère	MIFARE DESFire EV1	MIFARE Classic 1K	NTAG213
Fréquence	13,56 MHz	13,56 MHz	13,56 MHz
Norme ISO	ISO/IEC 14443-A	ISO/IEC 14443-A	ISO/IEC 14443-A
Mémoire utilisateur	2K, 4K ou 8K	1K (1024 octets)	~144 octets
Cryptographie	DES, 3DES, AES-128	Propriétaire (Crypto-1)	Aucun (authentification simple optionnelle)
Sécurité	Élevée (EAL4+ certifié)	Faible (facilement clonable)	Très faible (usage informatif)
Nombre d'applications	Jusqu'à 28	16 secteurs statiques	1 application simple
Communication NFC mobile	Partiellement (selon appareils)	Rarement pris en charge	Oui (Android/iOS via NDEF)
Temps de lecture/écriture	Rapide (optimisé pour transactions)	Moyen	Rapide
Protection mémoire	Accès conditionnel, gestion de clés	Clés A et B statiques par secteur	Mot de passe simple (32 bits)
Usages typiques	Contrôle d'accès, transport, paiement	Contrôle d'accès basique, écoles	Étiquettes NFC, marketing, URL
Prix approximatif	2 à 5 € / carte	0,30 à 0,60 € / carte	0,15 à 0,50 € / tag

Structure de base d'une page HTML

Savoir utiliser `<!DOCTYPE html>`, les balises `<html>`, `<head>`, `<body>`, et définir la langue avec `lang="fr"`.

Encodage des caractères

Inclure `<meta charset="UTF-8">` pour gérer correctement les accents et caractères spéciaux.

Titres et contenu

Utiliser les balises de titres comme `<h1>` pour structurer la page, ainsi que des balises de contenu (`<div>`, `<strong>`, `<br>`).

Insertion d'images

Utiliser `` avec un attribut `alt` pour l'accessibilité.

Classes CSS

Assigner des classes aux éléments (`class="eleve"`, `class="info"`) pour pouvoir les styliser.

CSS de base

Connaître les propriétés CSS essentielles :

- Mise en page avec `display: flex;` et `align-items`
- Couleurs, marges, `padding`s, bordures et ombres
- Mise en forme des images avec `width`, `height`, `border-radius` et `object-fit`

Hiérarchie et sémantique

Utiliser des balises appropriées pour organiser l'information (ex : `<strong>` pour mettre en gras un texte important).

Syntaxe correcte

S'assurer que toutes les balises ouvrantes ont leurs balises fermantes et que le code est bien formé.

Systèmes de toiture Globalroof®

Couvertures nervurées

Face intérieure plateau non perforé

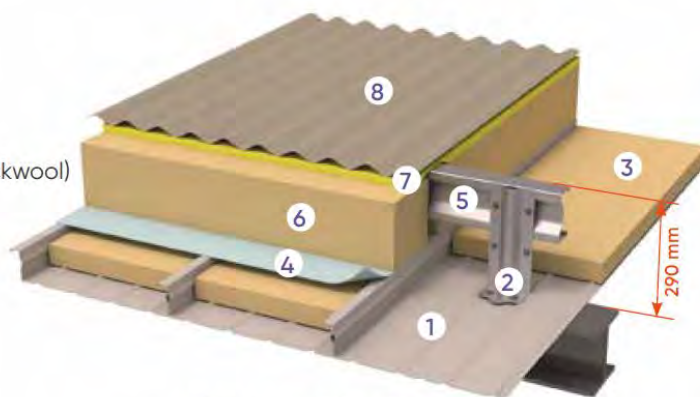
Mise en œuvre suivant notre enquête spécialisée en vigueur pour les plateaux Hacierco

Largeur d'appuis des plateaux Hacierco : 100 mm minimum. La barrière pare-vapeur doit être continue et jointoyée. Il est impératif de prévoir un isolant complémentaire afin de remplir la lame d'air.



Globalroof® IN 224TR

- 1- Plateau non porteur Hacierco 1.500.90
Epaisseur 0,75 mm*
- 2- Echantignole
- 3- Laine de roche Sorock en fond de plateaux (Rockwool)
Epaisseur 70 mm
- 4- Pare-vapeur
- 5- Panne Multibeam
- 6- Laine de roche Torock (Rockwool)
Epaisseur 200 mm
- 7- Laine de verre pincée sur panne pour remplir la lame d'air
- 8- Profil Trapéza, Fréquence ou Authentique
Epaisseur 0,75 mm*



Trame parallèle - Plateau non portée
[Peut être envisagé en trame perpendiculaire]

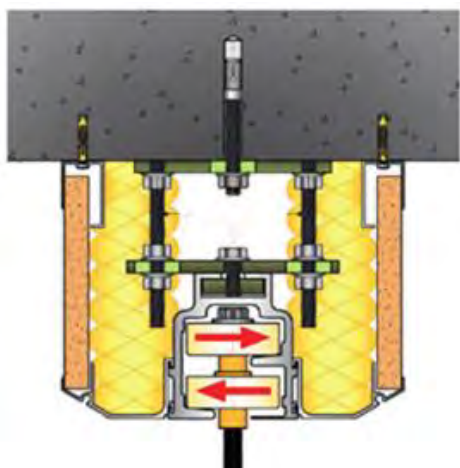
	<i>Panneau isolant en laine de roche SOROCK®</i>	<i>Panneau isolant en laine de roche TOROCK®</i>	<i>Rouleau de laine de verre</i>
Réaction au feu	Euroclasse A1	Euroclasse A1	Euroclasse A1
Conductivité thermique	0,034 W.m⁻¹.K⁻¹	0,035 W.m⁻¹.K⁻¹	0,030 W.m⁻¹.K⁻¹
Longueur	1350 mm	1350 mm	15000 mm
Largeur	450 mm	600 mm	1200 mm
Epaisseur	70 mm	200 mm	30 mm

Présentation générale

Depuis plus de 60 ans, ALGAFLEX® est le leader français des cloisons mobiles. Ses murs mobiles permettent de transformer rapidement un espace en plusieurs salles distinctes ou de l'ouvrir pour de grands événements. Ils sont conçus sur mesure pour répondre à des exigences acoustiques, esthétiques et fonctionnelles, sans rail au sol.

Fonctionnement

Un mur mobile se compose de panneaux individuels suspendus à un rail supérieur. Il n'y a aucun guidage au sol, ce qui permet une grande liberté d'usage et une intégration discrète dans les espaces modernes.



ALGAFLEX propose deux types de rails:

- Monodirectionnel: rail linéaire simple (non étudié ici).
- Multidirectionnel: rail en profilé aluminium semi-tubulaire, avec double galets pour permettre des changements de direction et des stockages multiples.



Concept multidirectionnel – Atouts techniques

- Panneaux indépendants suspendus par 2 chariots à doubles galets horizontaux.
- Système sans plaque tournante ni aiguillage.
- Possibilités de stockage variées (zones en retrait, angles, etc).
- Confort de manipulation et grande fiabilité.

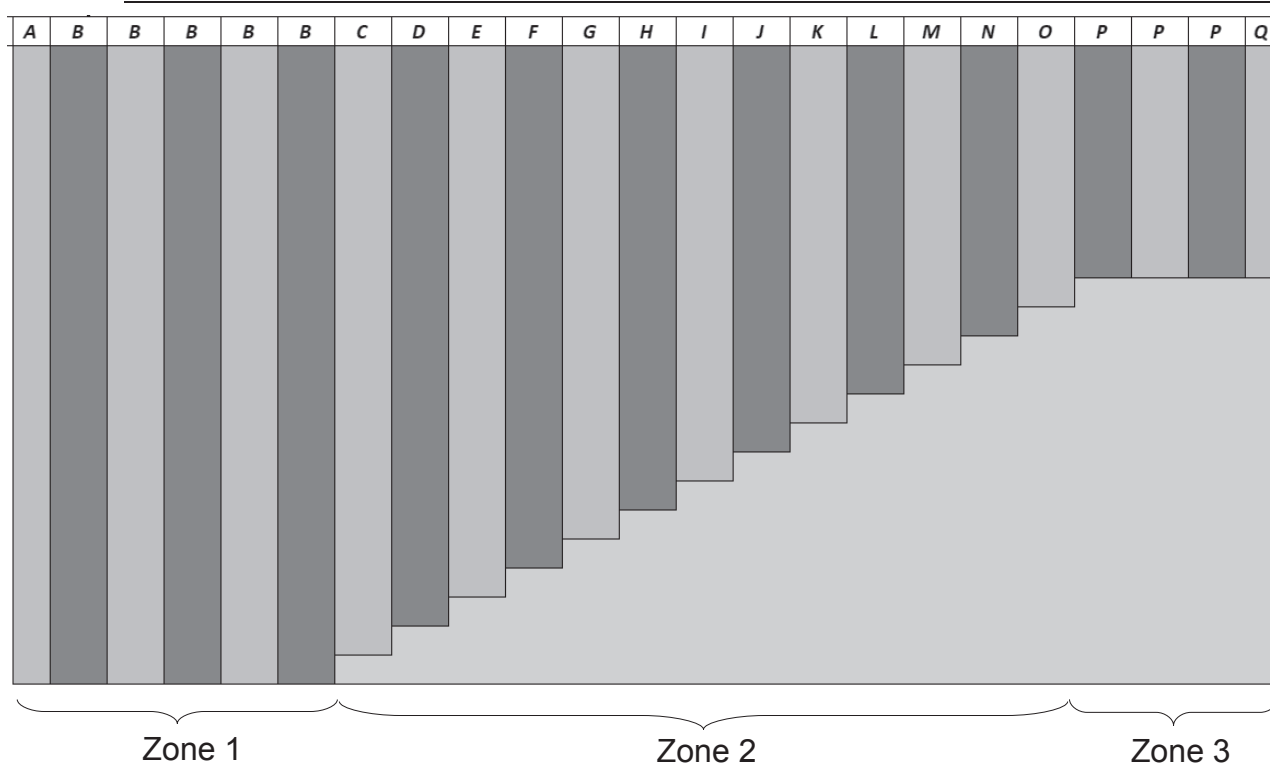
Avantages pour les établissements scolaires ou publics

- Modularité immédiate : une salle devient deux en quelques minutes.
- Performances acoustiques élevées : jusqu'à 59 dB d'affaiblissement.
- Esthétique soignée : nombreux choix de finitions (mélaminé, stratifié, verre...).
- Conformité feu et acoustique certifiée (normes AM14, essais EFECTIS...).

Caractéristiques des panneaux

Le choix s'est porté sur la gamme Silence dont les caractéristiques sont les suivantes :
Epaisseur 151 mm – Masse surfacique 72 kg.m⁻²

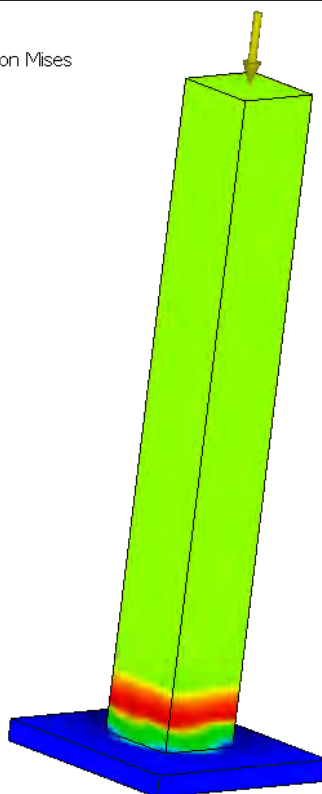
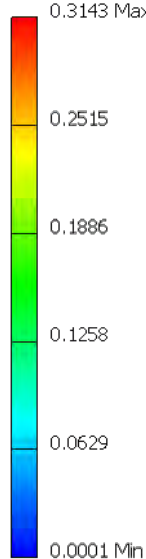
DT 17 - Mur Mobile – Informations dimensionnelles.



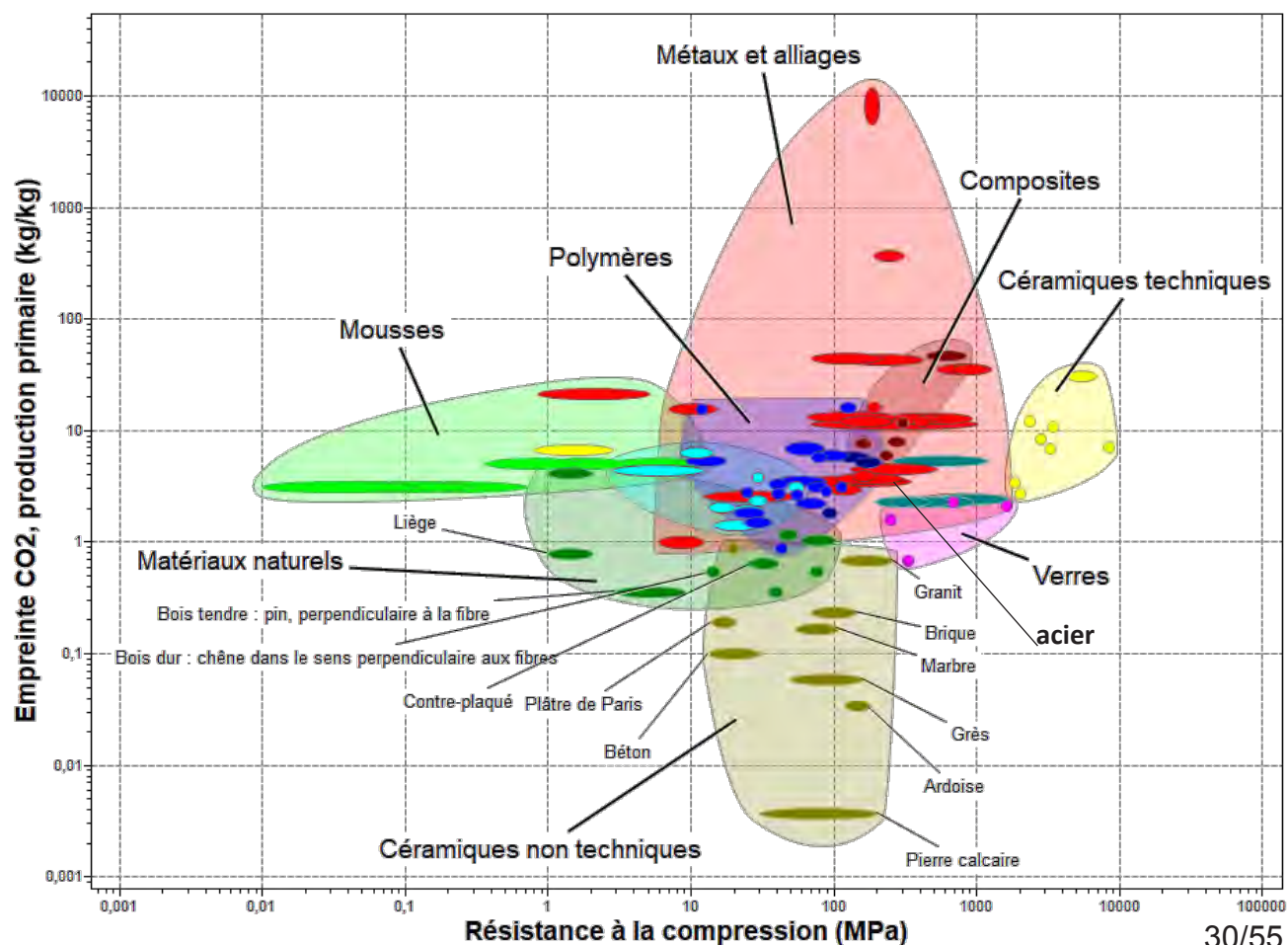
Type de cloison	Informations sur les cloisons du mur mobile				
	Quantité	Epaisseur e (en m)	Largeur l (en m)	Hauteur H (en m)	Poids P (en N)
A	1	0,151	0,6	7,18	3042,83
B	5	0,151	0,95	7,18	
C	1	0,151	0,95	6,86	4603,09
D	1	0,151	0,95	6,54	4388,37
E	1	0,151	0,95	6,22	4173,64
F	1	0,151	0,95	5,9	3958,92
G	1	0,151	0,95	5,58	3744,20
H	1	0,151	0,95	5,26	3529,48
I	1	0,151	0,95	4,94	3314,76
J	1	0,151	0,95	4,62	3100,04
K	1	0,151	0,95	4,3	2885,32
L	1	0,151	0,95	3,98	2670,60
M	1	0,151	0,95	3,66	2455,87
N	1	0,151	0,95	3,34	2241,15
O	1	0,151	0,95	3,02	2026,43
P	3	0,151	0,95	2,7	
Q	1	0,151	0,45	2,7	858,18

DT 18 - Contrainte dans poteau central

Type: Contrainte de Von Mises
Unité: MPa
04/06/2025, 16:44:40
0.3143 Max



DT 19 - Empreinte CO2 production primaire (kg/kg) en fonction de la résistance à la compression (MPa)



DR 1 - Validation et justification des exigences

Exigences		OUI / NON	Justification
Mobilité et accessibilité	Faciliter d'accès des parkings Véhicules Légers du bâtiment	...	...
	Rendre visible et sécuriser les accès pour les piétons et les PMR, par rapport aux arrêts de transports en commun éventuels.	Oui	Un accès piéton clairement matérialisé via l'entrée principale donnant sur la rue Sully
	Rendre clairement identifiables et accessibles les zones de livraisons et de déchets par rapport aux autres flux	Oui	Locaux techniques situés à l'Ouest de la parcelle avec accès logistique dédié et différencié des accès piétons et véhicules légers
	Rendre facile d'accès l'entrée principale proche de la piste cyclable et la zone de stationnement vélos.	...	...
	Respecter le nombre de places de parking véhicules légers imposé par les réglementations (90 places).	...	Nombre de places de stationnement conforme à la réglementation et au programme (108 places)
	Réserver au moins 15% des places de stationnement (VL) pour les véhicules électriques ou hybrides rechargeables.	Oui	Arrivées électriques en place mais bornes non-installées car non obligatoire à la date de conception
	Réserver un espace de stationnement sécurisé des vélos à proximité des entrées, à destination du personnel.	Oui	Présence de plusieurs zones de stationnement vélos.
	Réserver des espaces communs appropriés (vestiaires, douches) pour les personnels cyclistes.	...	...
	Implanter le projet à moins de 400 m d'un arrêt de transport en commun.	...	...
Environnement paysager et biodiversité	Aménager des espaces verts de la parcelle afin de développer ou de conserver les continuités écologiques	...	...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENTON:
(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.)

DR 2 - Étude comparative entre la voiture, le tramway et le vélo

Ces valeurs sont données pour un trajet entre la gare et l'école d'ingénieur soit 4 km. L'étudiant, venant de Paris, arrive à la gare de Dijon et doit prendre un moyen de transport.

Mode de transport	Location voiture électrique 	Tramway de Dijon 	Location Vélo à assistance électrique 
Temps de trajet (minutes)	20	16	18
Nombre de personnes transportées	2	200	1
Émission de GES totale en gCO ₂ par trajet pour le cycle de vie complet	31	2000	30
Émission de GES en gCO ₂ par trajet en phase d'utilisation	6	1200	2
Émission de GES en gCO ₂ par trajet et par personne en phase d'utilisation	...	...	...
Émission de GES en gCO ₂ par trajet et par personne pour le cycle de vie complet	...	...	...
Coût par mois	Abonnement 16 € + 0,42 € par km	Abonnement à 30 € pour tout le réseau	Abonnement 30 €

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

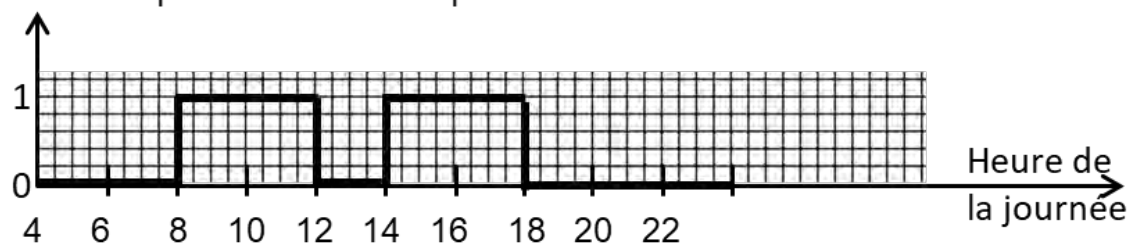
N° d'inscription :



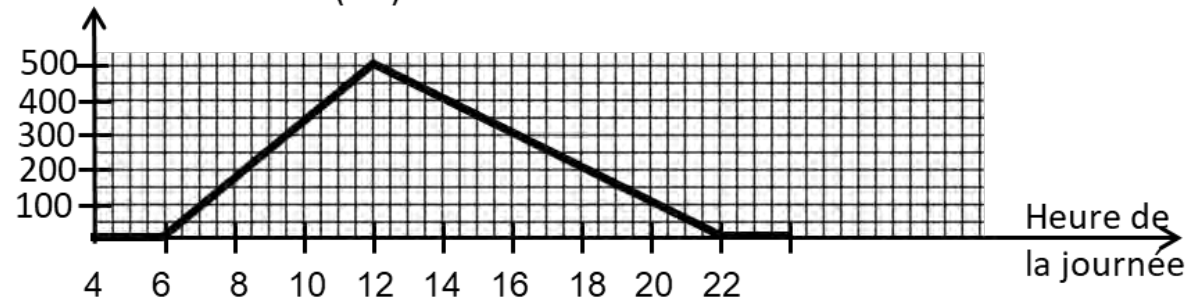
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

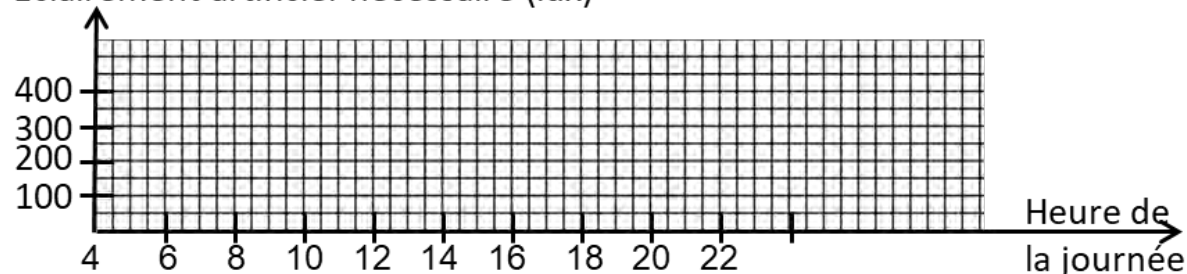
Présence de personnes dans la pièce



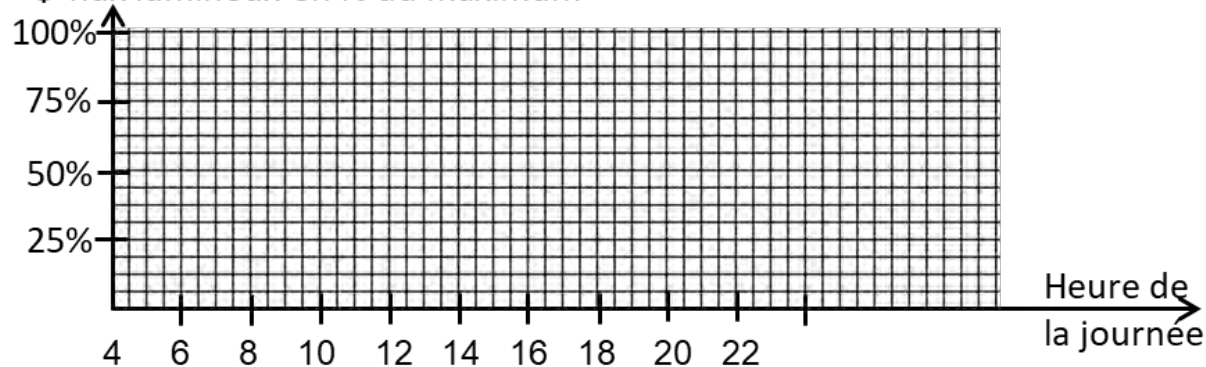
Eclairage naturel (lux)



Eclairage artificiel nécessaire (lux)



Φ flux lumineux en % du maximum



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENTON:
(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.)

DR 4 - Répartition du potentiel de réchauffement climatique pour les produits de construction et équipement (PCE) par lot en kgCO₂éq·m⁻²

		Scénario 1	Scénario 2
Lot 1	Voirie et Réseaux Divers	51,7	51,7
Lot 2	Fondations et Infrastructure	20,68	...
Lot 3	Superstructure et Maçonnerie	165,44	...
Lot 4	Couverture, Etanchéité, Charpente, Zinguerie	31,02	31,02
Lot 5	Cloison, Doublage, Plafond suspendus, Menuiseries Intérieures	134,42	134,42
Lot 6	Façades et Menuiseries Extérieures	155,1	155,1
Lot 7	Revêtement, Chape, Peintures, Décoration	155,1	155,1
Lot 8	Chauffage Ventilation Climatisation + Eau Chaude Sanitaire	155,1	155,1
Lot 9	Installations sanitaires	10,34	10,34
Lot 10	Réseaux d'énergie	124,08	124,08
Lot 11	Réseaux de communication	7,755	7,755
Lot 12	Appareils élévateurs	10,34	10,34
Lot 13	Equipement de Production Locale d'électricité	7,755	7,755
Lot 14	Fluides Frigorigènes	5,17	5,17
Total PCE		1034	...

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOWN
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

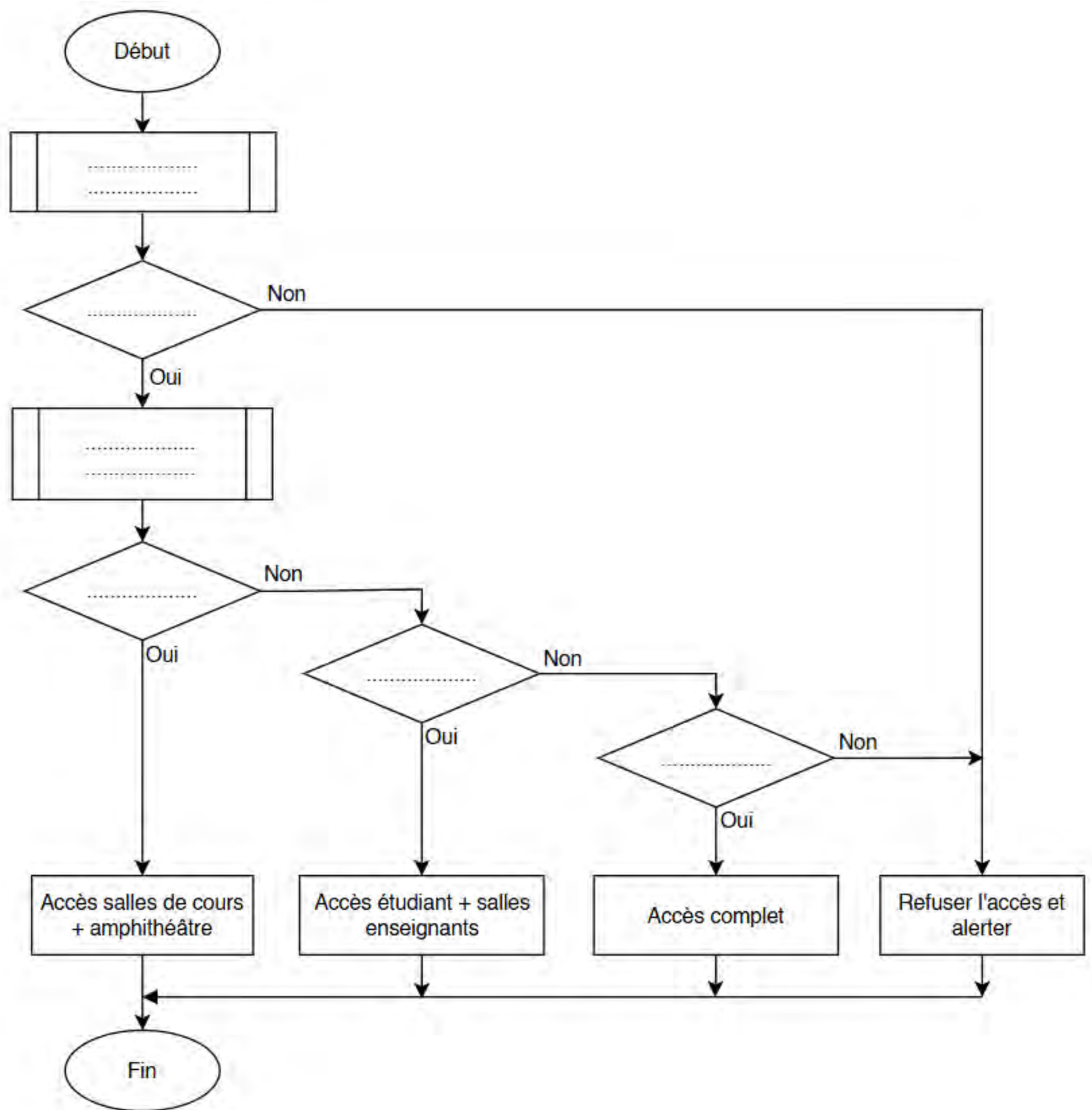


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENTON:
(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.)

```
<!..... html>
<!-- Déclare que le document est en HTML5 -->
<html lang="fr">
<!-- L'élément racine de la page, avec l'attribut lang indiquant que la langue principale est le
français -->

<head>
<meta charset="UTF-.....">
<!-- Définit l'encodage des caractères en UTF-8 pour supporter les caractères spéciaux
français -->

<title>Liste des élèves</title>
<!-- Titre de la page affiché dans l'onglet du navigateur -->

<style>
/* Styles CSS intégrés pour la mise en forme de la page */
body {
font-family: Arial, sans-serif;
/* ..... utilisée sur toute la page */
background-color: #f0f0f0;
/* Couleur de fond gris clair */
padding: 20px;
/* Espace autour du contenu de la page */
}
.eleve {
display: flex;
/* Utilisation du modèle flexbox pour aligner les éléments horizontalement */
align-items: center;
/* ..... verticalement les éléments enfants */
background-color: #fff;
/* Fond blanc pour chaque bloc élève */
padding: 10px;
/* Espace intérieur dans le bloc */
margin-bottom: 10px;
/* Espace entre les blocs élève */
border-radius: 8px;
/* ..... arrondis */
box-shadow: 0 2px 5px rgba(0,0,0,0.1);
/* Ombre portée subtile pour donner du relief */
}

(...) <!-- Ne pas compléter -->

</body>
</html>
```

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENTON:
(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.)

	Épaisseur du matériau en m	Conductivité thermique en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique surfacique en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Résistance superficielle extérieure r_{se}			...
Tôle d'acier nervurée	Valeur négligeable		
Laine de roche SOROCK	...	...	...
Pare Vapeur	0,0002	0,05	0,004
Laine de roche TOROCK	...	...	...
Laine de verre	...	...	...
Tôle d'acier nervurée	Valeur négligeable		
Résistance superficielle intérieure r_{si}			...
$\Theta_{totale} =$	...	$R_{totale} =$	...
$\Theta_{isolant} =$	...		

Résistances superficielles en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$:

	r_{si}	r_{se}	Σr_s
Paroi verticale	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale (flux ascendant)	0,10	0,04	0,14
Paroi horizontale (flux descendant)	0,17	0,04	0,21

Règles Thu CSTB

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENTON:
(en majuscules)

N° candidat :

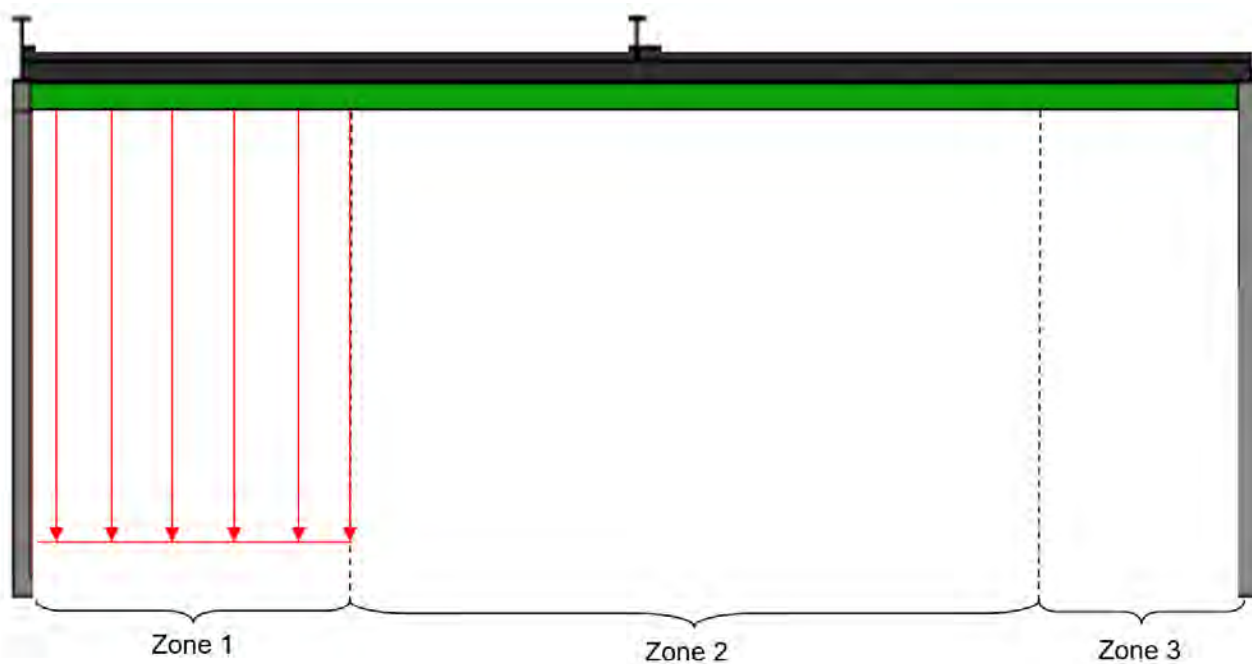
N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

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



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENTON:
(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.)

ENERGIE ET ENVIRONNEMENT

Centrale de traitement d'air de l'amphithéâtre du Campus Métropolitain ESTP/ESEO



Présentation de l'étude et questionnaire

pages 40 à 44

Documents techniques DTS1 à DTS8

pages 45 à 52

Documents réponses DRS1 à DRS4

pages 53 à 55

Mise en situation

La Centrale de Traitement d'Air (CTA) de l'amphithéâtre joue un rôle essentiel dans la qualité de l'air et le confort thermique. Son fonctionnement optimise le renouvellement de l'air tout en limitant les consommations énergétiques.

La régulation des apports d'air neuf/recyclé, couplée à la récupération de chaleur, s'adapte aux besoins des occupants et tient compte du CO₂ pour maintenir une bonne qualité d'air.

Ces dispositifs répondent aux enjeux sociétaux actuels en matière d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, la CTA contribue à la transition énergétique et au bien-être des usagers. Le document **DTS1** présente le fonctionnement de la CTA.

À travers cette étude, nous allons vérifier les performances de l'échangeur de chaleur rotatif puis analyser les différents modes de fonctionnement de la CTA.

- **Partie A** : Quelle est la performance énergétique de l'échangeur de chaleur ?
- **Partie B** : Comment assurer le bon fonctionnement et la sécurité de l'échangeur de chaleur ?
- **Partie C** : Comment adapter le mode de fonctionnement de la CTA pour allier qualité de l'air, confort thermique et performance énergétique ?
- **Partie D** : Conclusion

Travail demandé

Partie A. Quelle est la performance énergétique de l'échangeur de chaleur ?

- Objectif : Évaluer les performances de l'échangeur de chaleur rotatif de la CTA de l'amphithéâtre afin :
- d'estimer les économies d'énergie réalisées ;
 - de déterminer les émissions de CO₂ évitées ;
 - de calculer le rendement de l'échangeur.

Hypothèses de l'étude :

- L'air est assimilé à un fluide incompressible avec une masse volumique constante ($\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).
- La chaleur massique de l'air est constante ($C_p = 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).
- Les conditions de fonctionnement sont stables sur la période hivernale étudiée.
- Le facteur d'émission de CO₂ est de $0,053 \text{ kgCO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$ pour l'électricité française.

Données principales de l'étude :

- Débit total soufflé de $9000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ dans l'amphithéâtre, comprenant un apport d'air extérieur neuf réglementaire de $2700 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
- Durée annuelle de fonctionnement (hiver) : $4000 \text{ h} \cdot \text{an}^{-1}$.
- Températures mesurées au niveau de l'échangeur de chaleur :
 - $T_{\text{air_extérieur}} = -11 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{air_rejeté}} = -6,4 \text{ }^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{portion_air_extrait}} = 18,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{air_neuf_tempéré}} = 15,4 \text{ }^\circ\text{C}$

L'étude se place dans le cas du fonctionnement de l'échangeur au débit d'air extérieur neuf réglementaire (**DTS1** et **DTS2**)

Question 1. **Calculer** le taux d'air neuf extérieur (R_{an}), c'est-à-dire le pourcentage d'air neuf extérieur qui transite par l'échangeur de chaleur par rapport au débit total d'air soufflé.

Question 2. **Convertir** le débit d'air extérieur neuf réglementaire pour l'amphithéâtre $Q_{air_extérieur}$ en $m^3 \cdot s^{-1}$.

Question 3. **Calculer** la puissance thermique en kW récupérée par l'échangeur sur l'air extérieur avec la formule :

$$P = \rho \times C_p \times Q \times (T_{air_neuf_tempéré} - T_{air_extérieur}) \text{ avec :}$$

$$P : W \text{ (Watt)}, \rho : kg \cdot m^{-3}, C_p : J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, Q : m^3 \cdot s^{-1}, T_{xx} : K \text{ ou } ^\circ C$$

Question 4. **Calculer** l'énergie économisée en $kW \cdot h$ sur la durée annuelle de fonctionnement (hiver) de $4000 \text{ h} \cdot \text{an}^{-1}$.

Question 5. **Calculer** les émissions de CO_2 économisées.

Question 6. Du point de vue de la chaleur récupérée dans l'air soufflé, **calculer** le rendement thermique réel à partir des températures mesurées avec la formule :

$$\eta = \frac{(T_{air_neuf_tempéré} - T_{air_extérieur})}{(T_{portion_air_extraît} - T_{air_extérieur})}$$

Comparer avec le rendement constructeur.

Question 7. À l'aide du document **DTS2**, **calculer** l'énergie électrique absorbée en kWh par l'échangeur pour un fonctionnement en continu 24h/24 pendant toute l'année.

Question 8. À l'aide du document **DTS2**, **calculer** la puissance apparente et le facteur de puissance de l'échangeur, puis **expliquer** si ce dernier reflète une bonne performance énergétique du système.

Question 9. **Conclure** sur l'intérêt de l'échangeur du point de vue énergétique.

Partie B. Comment assurer le bon fonctionnement et la sécurité de l'échangeur de chaleur ?

Objectif : l'étude permet de vérifier le bon fonctionnement mécanique et la sécurité du système via l'analyse de la vitesse de rotation et du capteur de rotation.

Données principales de l'étude :

- Vitesse maximale autorisée de l'échangeur par le constructeur : $14 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Type de moteur : moteur synchrone 90TYD-S214M.
- Vitesse nominale du moteur : $214 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Variateur utilisé : variateur de fréquence U/f constant.
- Diamètre de la poulie moteur : 77 mm.
- Diamètre de la poulie de l'échangeur : 1460 mm.

Analyse de la vitesse de rotation

Question 10. À l'aide du document **DTS3 et DTS4**, **déterminer** le type de couplage à utiliser pour le moteur. **Justifier** le choix en fonction de la tension d'alimentation et de la tension nominale admissible par les enroulements.

Question 11. **Calculer** le rapport de transmission mécanique entre les deux poulies.

Question 12. En supposant que le moteur tourne à sa vitesse nominale de $214 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, **déterminer** la vitesse de l'échangeur uniquement par la transmission mécanique des poulies.

Question 13. Sachant que l'échangeur ne doit pas dépasser $14 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, **calculer** le rapport de réduction total nécessaire à partir des vitesses. **Conclure**.

Question 14. Sachant que l'échangeur doit tourner à $10 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ pour optimiser son fonctionnement, **calculer** la fréquence électrique (Hz) que doit fournir le variateur au moteur.

Analyse du fonctionnement du capteur de rotation

Question 15. La roue de l'échangeur présente un relief métallique servant de cible au capteur et placé à 40 mm de celui-ci (**DTS2**). À l'aide du document **DTS5**, **identifier** et **justifier** le choix d'un capteur capable de détecter ce relief.

Question 16. Pour une vitesse de l'échangeur de $10 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, **calculer** le temps écoulé entre deux impulsions successives.

Question 17. Sur le document réponse spécifique **DRS1**, **tracer en trait épais** le chronogramme du signal de tension issu du capteur pendant une durée de 20 secondes, avec une tension de 10 V et une durée de 0,2 s quand le relief est détecté.

Question 18. Le capteur **peut-il détecter** une absence de rotation ? **Indiquer** alors le délai de réaction maximal de cette détection ?

Question 19. **Proposer** une solution pour améliorer la précision de détection en moins de 4s en agissant sur la disposition ou le nombre de cibles du capteur.

Question 20. **Identifier** ce que détecte le capteur en cas de courroie cassée ou de moteur bloqué. **Expliquer** l'importance de cette détection pour la sécurité de la chaîne d'énergie.

Partie C. Comment adapter le mode de fonctionnement de la CTA pour allier qualité de l'air, confort thermique et performance énergétique ?

Objectif : analyser le fonctionnement de la CTA selon différents modes (chauffage, refroidissement, free cooling, night cooling) et d'évaluer l'impact de la régulation de la qualité d'air intérieur par la mesure du taux de CO₂.

L'étude vise à comprendre comment la CTA ajuste ses débits d'air neuf et recyclé pour concilier confort des occupants, qualité d'air et performance énergétique pour l'amphithéâtre.

La température de consigne intérieure varie en fonction de l'occupation des salles et des horaires préprogrammés de la journée.

Valeur de la consigne de température Tcons	De 20h à 7h ou week-ends et jours fériés	De 7h à 20h avec présence d'occupants	De 7h à 20h sans présence d'occupants
Mode hiver	16	21	19
Mode été	30	25	27

Le taux d'air neuf Ran au niveau du caisson de mélange est variable de 30 % à 100 %. Ce réglage dépend du taux de CO₂. Le scénario d'utilisation est donné dans le document **DTS7**. La température de soufflage d'air varie en fonction des utilisations des batteries chaudes et froides.

Fonctionnement en hiver un jour de semaine :

Question 21. À partir des documents **DTS7** et **DTS8** et du tableau ci-dessus, **remplir en trait épais** les chronogrammes du taux d'air neuf (Ran), sur le document **DRS2**.

Question 22. **Expliquer** l'allure de la courbe de taux de CO₂ du document **DRS1** et **expliquer** pourquoi le taux de CO₂ peut influencer la consommation de chauffage pour la batterie chaude.

Question 23. À partir des documents **DTS6** et **DTS8** et du tableau ci-dessus, **remplir en trait épais** les chronogrammes de Tcons puis celui de la vanne 3 voies (V3V) du circuit de chauffage (batterie chaude) sur le document **DRS3**.

Fonctionnement en été :

Les différents états de fonctionnement étudiés sont : Standby, free Cooling, refroidissement, Night Cooling. On suppose que les taux de CO₂ restent dans les normes basses et ne nécessitent pas de surventiler.

Question 24. À partir des informations données dans le document **DTS6**, **compléter** le diagramme d'état du document **DRS4** en indiquant les transitions entre les différents états fournis et en utilisant les entrées suivantes :

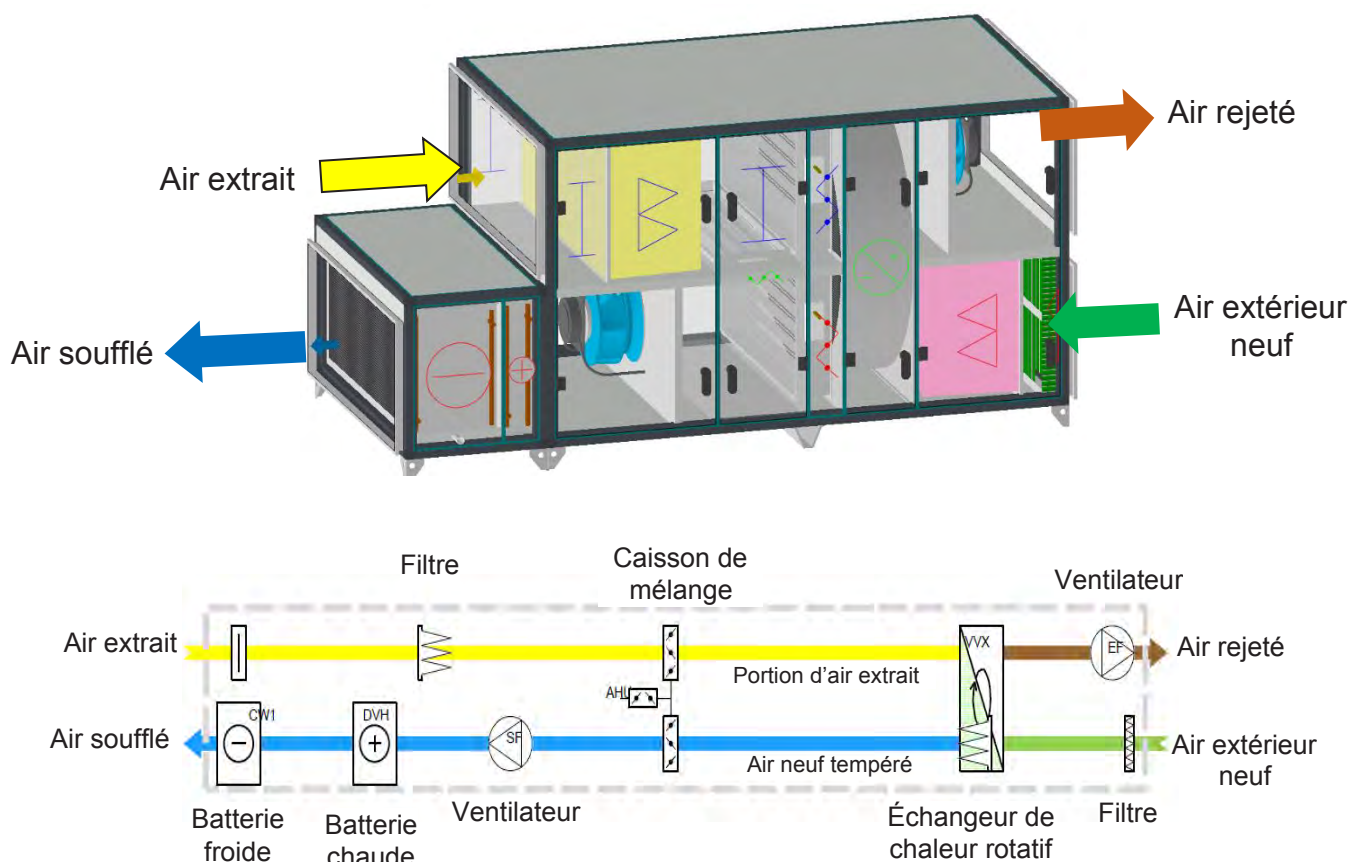
- Jour : horaire de jour (7h à minuit)
- Nuit : horaire de nuit (0h à 7h)
- Tcons : température de consigne
- Tmes : température mesurée dans l'amphithéâtre
- Text : température de l'air neuf extérieur

Partie D. Conclusion

Question 25. **Conclure** sur l'étude menée visant à comprendre comment la CTA ajuste ses débits d'air neuf et recyclé pour concilier confort des occupants, qualité d'air et performance énergétique.

Document technique spécifique DTS1 (1/2) – Centrale de Traitement d'Air (CTA)

La Centrale de Traitement d'Air (CTA) assure le renouvellement, la filtration, le chauffage, le refroidissement et la régulation de l'air dans l'amphithéâtre.



Fonctionnement général :

- Double flux avec récupération d'énergie via un échangeur de chaleur rotatif permettant de limiter les pertes thermiques.
- L'air extérieur neuf est filtré, tempéré (chauffé ou refroidi selon les besoins), puis soufflé dans les locaux.
- Une portion de l'air extrait traverse l'échangeur de chaleur avant d'être rejeté.

Traitement de l'air :

- Système de filtration double étage pour assurer la qualité de l'air soufflé et extrait.
- Batterie chaude (eau chaude provenant du réseau de chaleur urbain) et batterie froide (eau glacée) pour le traitement thermique de l'air.
- Le réglage du taux d'air neuf (Ran) dans l'air soufflé est automatiquement ajusté en fonction de la concentration en CO₂ grâce à un registre du caisson de mélange permettant de moduler le débit d'air extérieur de 2700 m³·h⁻¹ (recyclage maximal) jusqu'à 9000 m³·h⁻¹ (100 % d'air extérieur neuf, sans recyclage).

Régulation :

- Automate intégré avec interface tactile pour les réglages et la supervision.
- Programmation horaire, modulation en fonction de la température ou de l'humidité.
- Plusieurs niveaux d'accès et de sécurité pour l'exploitation et la maintenance.

Caractéristiques nominales

	Soufflage	Extraction
Débit d'air ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	9000	9000
Vitesse frontale ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	2,10	2,10
Pertes de charge externes (Pa)	392	624
Vitesse du ventilateur ($\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$)	2116	1998
Moteur (kW ; V ; A)	3,40 ; 3×400 ; 5,40	2,50 ; 3×400 ; 4,00
Débit d'air neuf ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	modulable 2700 - 9000	
Son rayonné (dB(A))	64	
Alimentation électrique (V ; Hz)	L1 + L2 + L3 + N + PE 3x400 ; 50	
Intensité consommée par phase (A)	12,4	
Chauffage (kW) ; ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$)	33,5 ; 18,6/30,0	
Eau chaude ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$; kPa ; $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$)	70/50 ; 5,1 ; 0,41	
Refroidissement (kW) ; ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$)	23,7 ; 25,4/18,0	
Eau glacée ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$; kPa ; $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$)	7/12 ; 28,3 ; 1,14	

Caisson de mélange : il est constitué de trois registres et permet le dosage des débits d'air neuf, d'air rejeté et d'air recyclé.



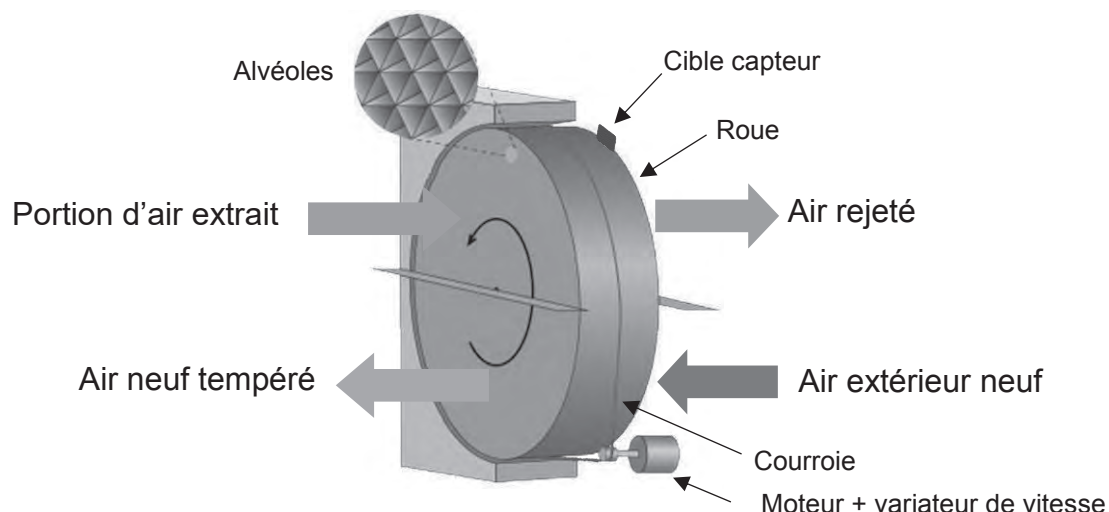
Leurs ouvertures et leurs fermetures sont couplées au fonctionnement des ventilateurs par la CTA. Ces registres sont pilotés par des servomoteurs (rotatifs ou linéaires).



*Servomoteur
rotatif*



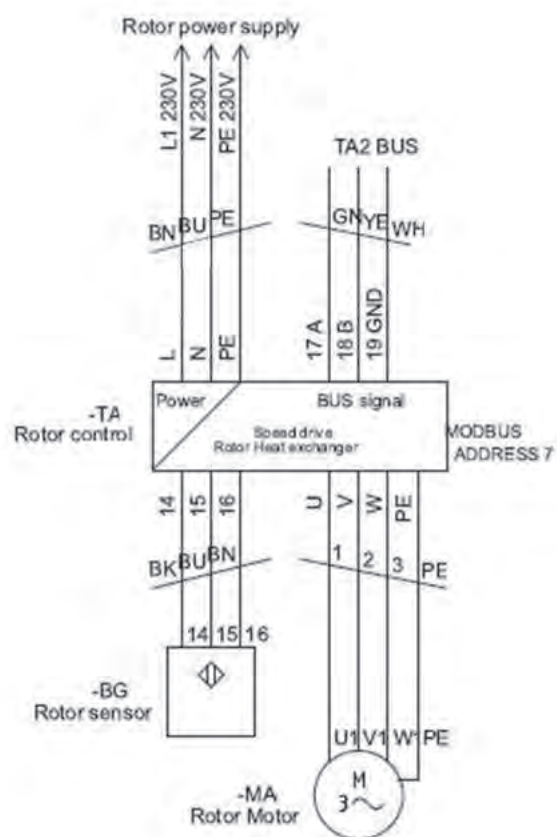
*Servo moteur
linéaire*



Données au point de fonctionnement à $2700 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, correspondant au débit minimal d'air extérieur requis réglementairement pour l'amphithéâtre.

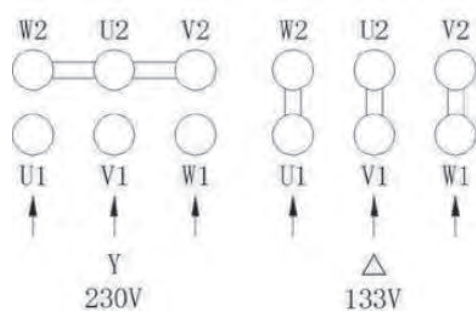
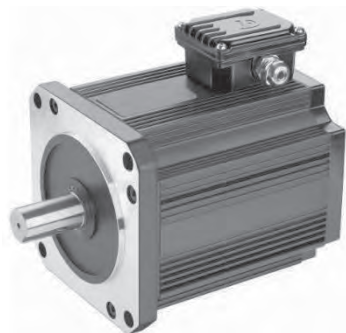
	Soufflage	Extraction
Débit d'air (m³·h ⁻¹) ·	2700	2700
Perte de charge (Pa)	64	64
Hiver		
Température air (°C)	-11,0 / 15,4	18,6 / -6,4
Humidité relative (%)	90 / 68	60 / 99
Puissance thermique (kW)	37,30	
Rendement thermique (%)	85,3	
Été		
Température air (°C)	34,0 / 26,3	25,4 / 32,7
Humidité relative (%)	40 / 64	50 / 31
Puissance thermique (kW)	7,50	
Rendement thermique (%)	85,3	
Type échangeur	ST- condensation (température)	
Diamètre échangeur (mm)	Ø1480	
Alimentation électrique (V, Hz)	L1 + N + PE 1×230, 50	
Puissance électrique absorbée (W)	85	
Intensité consommée (A)	0,4	
Moteur	90TYD-S214M	
Variateur de fréquence	NOVA 370 (U/f constant)	

Document technique spécifique DTS3 – Schéma électrique de l'alimentation électrique du moteur de l'échangeur rotatif

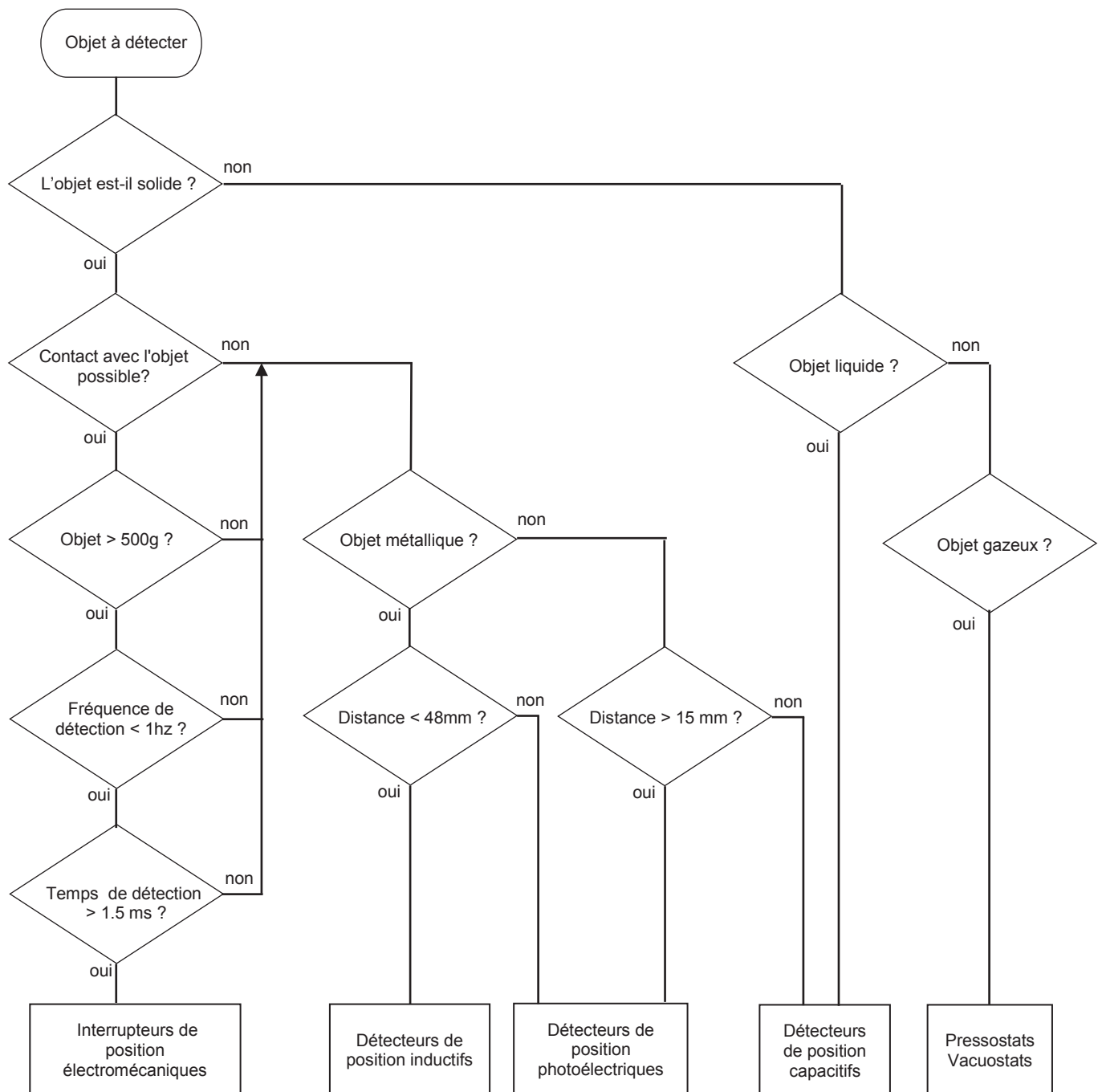


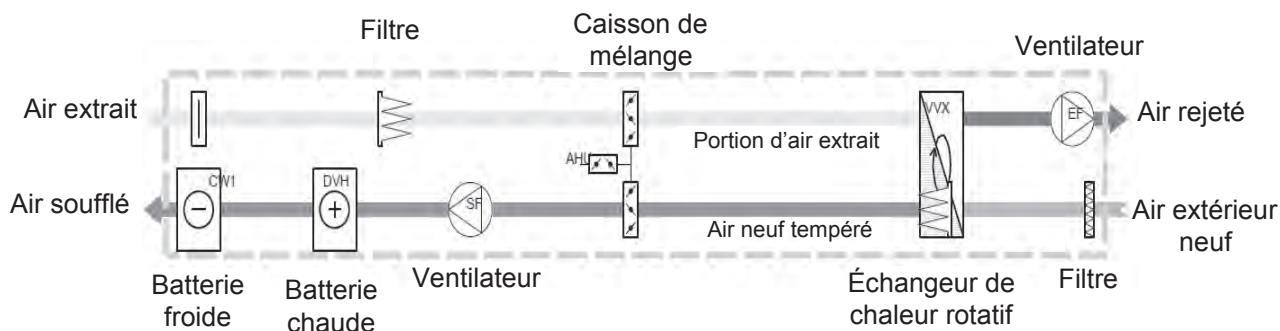
Le variateur fournit au moteur un réseau triphasé dont la tension composée nominale est de 230 V à 50 Hz.

Document technique spécifique DTS4 – Moteur 90TYD-S214M



Type de moteur	Moteur synchrone basse vitesse sans réducteur
Phases	3
Tension d'alimentation	133 / 230 V ±10%
Fréquence nominale	50 Hz
Vitesse par fréquence	4,286 tr·min ⁻¹ ·Hz ⁻¹
Courant	0,79 / 0,46 A
Paires de pôles	14
Vitesse nominale	214,3 tr·min ⁻¹
Plage de vitesse	0 – 214 tr·min ⁻¹
Couple nominal	2,8 N·m
Couple max	3 N·m





Mode stand-by : les batteries chaudes et froides sont arrêtées, la régulation du taux d'air neuf est active.

Mode chauffage : C'est le réseau de chaleur urbain qui alimente via une vanne 3 voies (V3V) la batterie chaude.

Mode refroidissement : en période estivale, les laboratoires, les amphithéâtres, **dont celui de cette étude**, le FabLab, l'atelier soudure, la salle BIM ainsi que les locaux serveurs sont climatisés à l'aide d'un groupe froid installé au sous-sol. Les autres locaux sont traités grâce à un module de rafraîchissement adiabatique installé sur les CTA qui sert donc de batterie froide. Mode activé si la température extérieure est trop grande et si la température mesurée est supérieure à celle souhaitée.

Mode free cooling : Le free cooling consiste à utiliser l'air extérieur (air neuf) pour rafraîchir un local sans utilisation de la batterie froide en journée. Pour cela, la température extérieure doit être inférieure à la température intérieure souhaitée. La consommation de la Centrale de Traitement d'Air (CTA) en free cooling se limite à celle du ventilateur. La batterie froide permettant habituellement la climatisation est mise à l'arrêt. Le taux d'air neuf est alors de 100 %.

Mode night cooling : même principe que le free cooling mais la nuit (programmation de 0h à 7h) lorsque les températures extérieures sont les plus faibles et donc quand le bâtiment est inoccupé. Le taux d'air neuf est de 100 %.

Programmation thermique :

Ces différents modes de fonctionnement thermique sont préprogrammés en fonction des horaires (mode réduit les week-ends et jours fériés) et des températures relevées à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.

Programmation de débit d'air soufflé :

D'autre part, la CTA impose une régulation de débit d'air soufflé en fonction des températures mais également en fonction du taux de CO₂ relevé par les sondes installées dans les salles. Toutes les consignes de température souhaitées sont également programmées dans la CTA.

La qualité de l'air et en particulier le CO₂ a un impact sur l'humain, dans un premier temps lié au confort puis à la sécurité. Un taux CO₂ trop important peut entraîner une mort rapide. Les différentes expérimentations réalisées ont permis de définir un certain nombre de paliers à respecter. Le premier symptôme d'un taux de CO₂ élevé est une impression de fatigue intellectuelle.

Voici un tableau rassemblant les différents paliers connus et utilisés à ce jour (ppm : parties par million) :

Concentration	Effets sur l'homme - Seuils
380 - 480 ppm	Taux normal de l'atmosphère
600 - 800 ppm	Taux correct en lieux fermés
1000 - 1100 ppm	Taux tolérable en lieux fermés
1100 - 1400 ppm	Il faut aérer pour assurer une bonne qualité de l'air, si possible. Limite haute pour 8h exposition
5000 ppm	Augmentation fréquence respiratoire et cardiaque puis
6000 - 30000 ppm	Nausée, vomissement, puis évanouissement, et décès si exposition prolongée.

Le CO₂ est un gaz inodore, incolore et ininflammable. Le CO₂ a pour particularité d'absorber certaines fréquences infrarouges. Les nouveaux modèles de capteur utilisent donc des cellules infrarouges pour la mesure du taux de CO₂. L'utilisation de capteur infrarouge non dispersif (NDIR) est aujourd'hui la plus répandue et la plus fiable des techniques.

Scénario d'utilisation :

Afin de limiter des pertes énergétiques, le taux d'air neuf Ran est par défaut de 30 % qui se mélange avec 70 % d'air repris.

Si le taux CO₂ dépasse 800 ppm, on passe à 60 % d'air neuf et si le taux redescend à moins de 600 ppm, on revient au taux par défaut.

Si le taux CO₂ dépasse 1400 ppm, on passe à 100 % d'air neuf et si le taux redescend à moins de 800 ppm, on revient au taux de 60 %.

Rappel :

- le terme do / action : l'action a lieu temps que l'état est actif
- le terme entry / action : l'action a lieu uniquement au moment où l'état devient actif
- le terme exit / action : l'action a lieu uniquement au moment où l'état devient inactif

Diagramme d'état du réglage du taux d'air neuf :

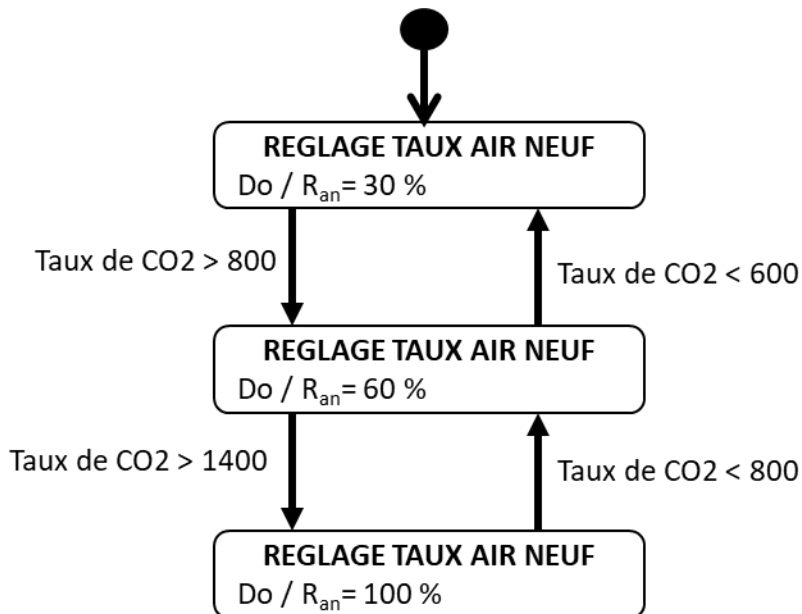
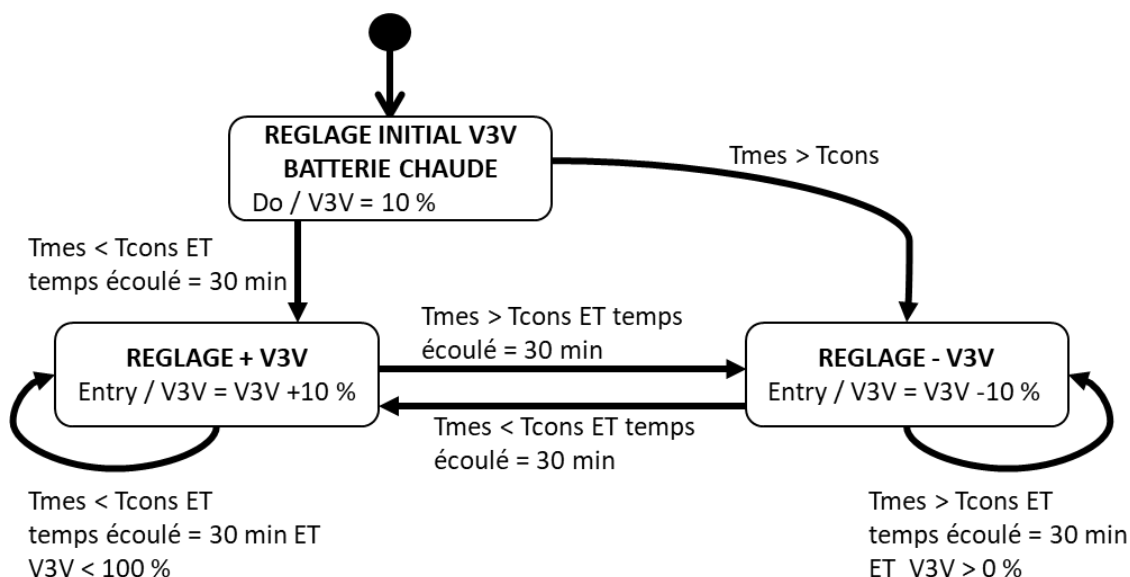
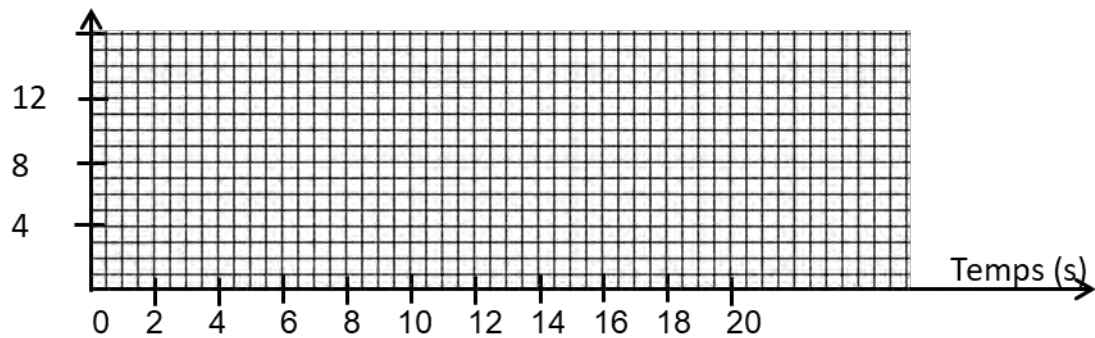


Diagramme d'état du pilotage de la vanne 3 voies de la batterie chaude :

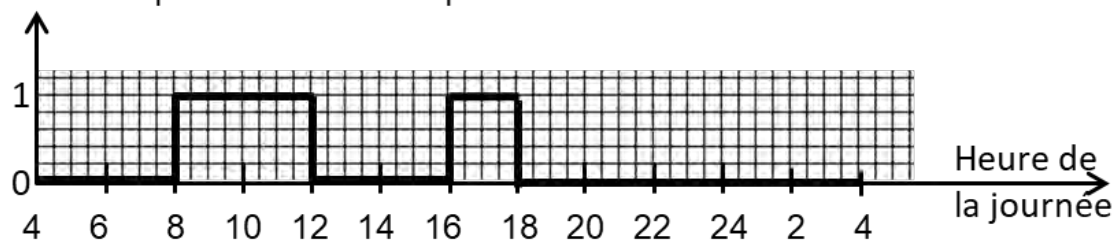


Tension issue du capteur de la roue de l'échangeur (V)

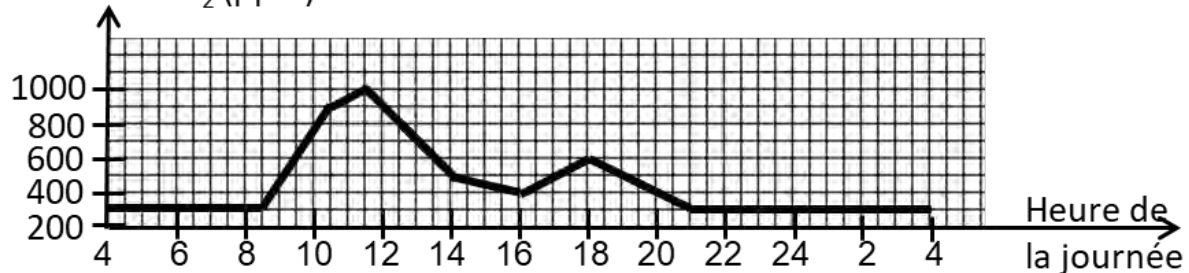


Document réponse spécifique DRS2 – Chronogrammes du taux d'air neuf

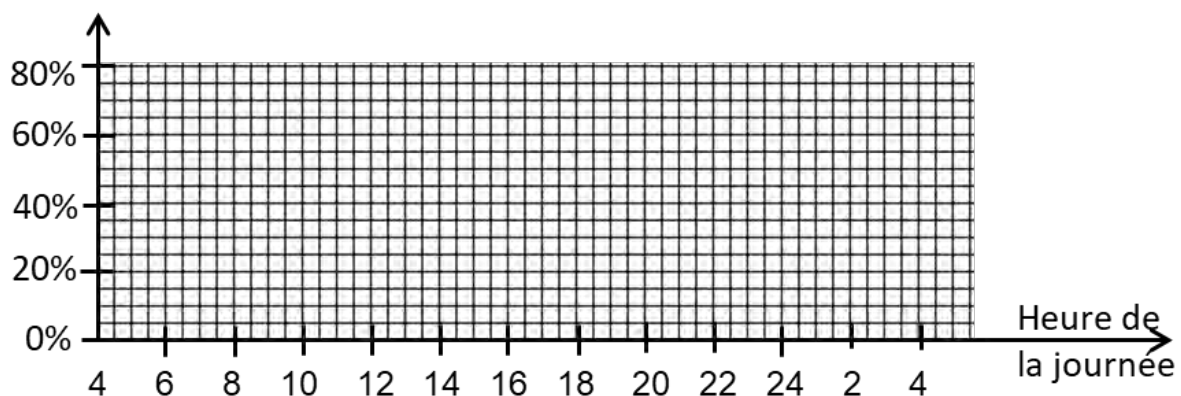
Présence de personnes dans la pièce



Taux de CO₂ (ppm)



Taux d'air neuf en %



NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

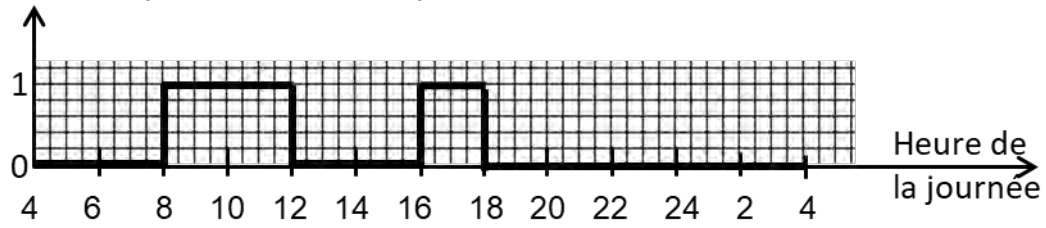
N° d'inscription :



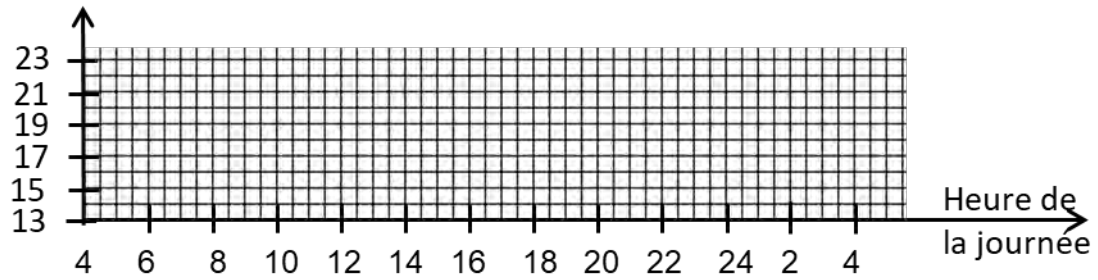
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

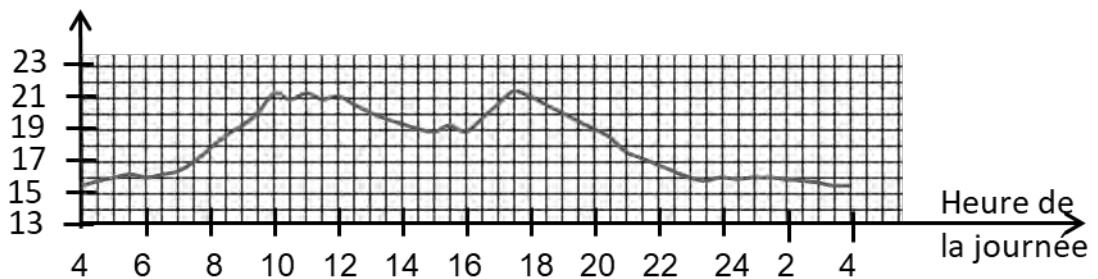
Présence de personnes dans la pièce



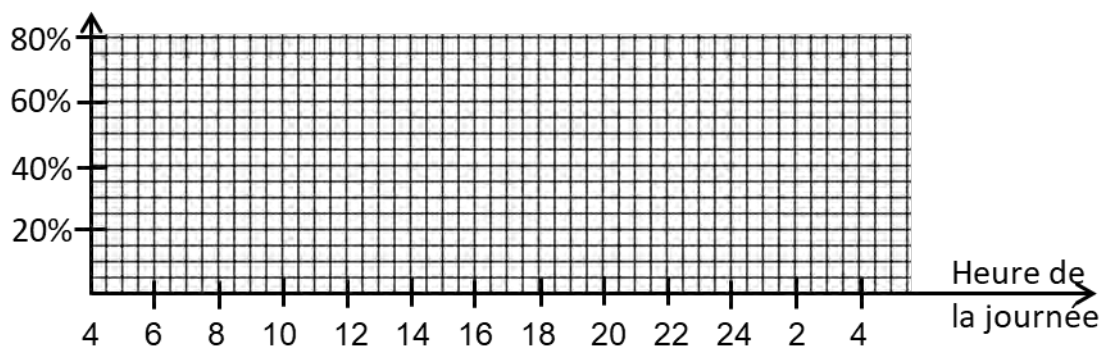
Tcons température de consigne (°C)

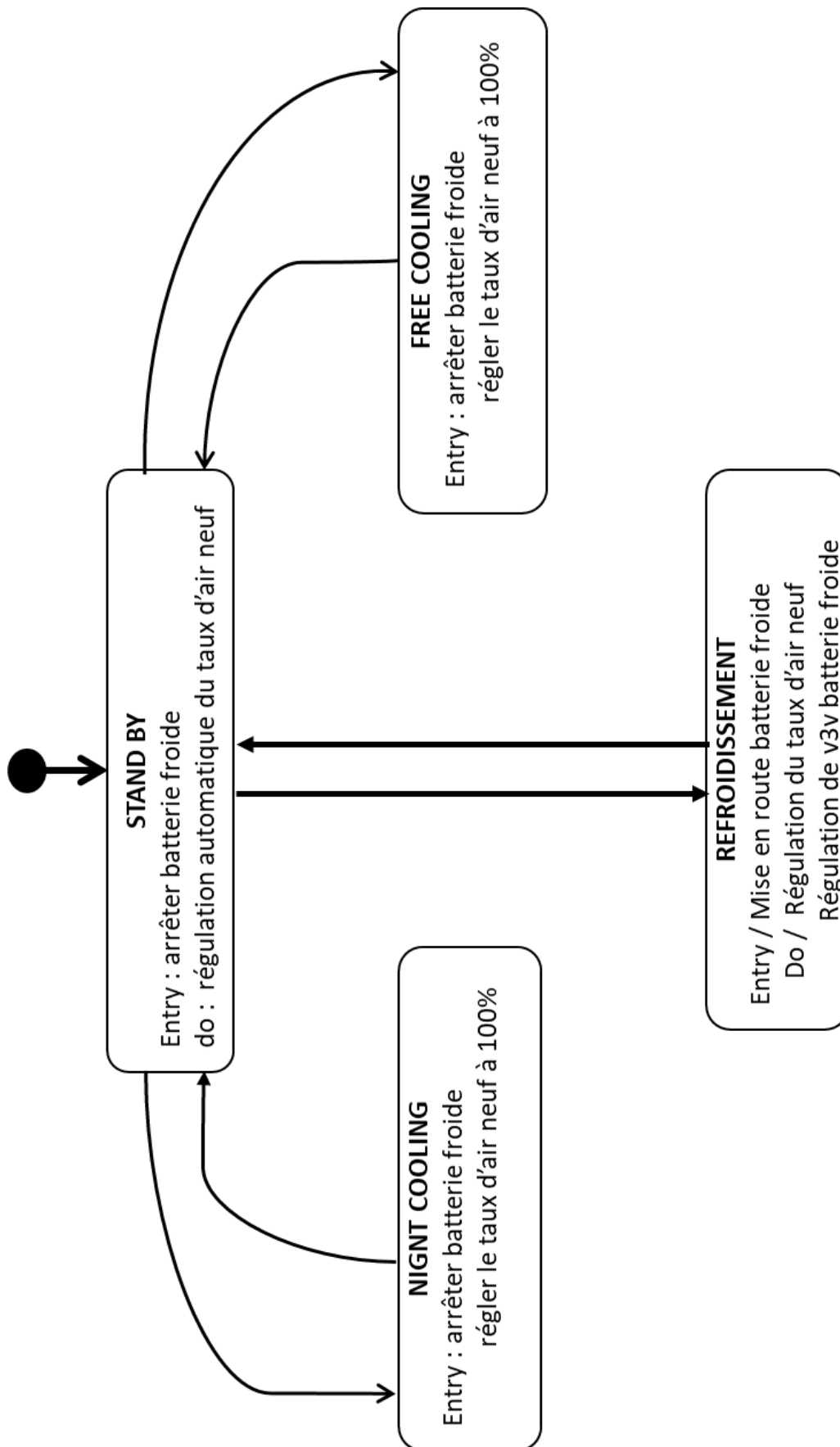


Tmes température mesurée (°C)



Ouverture V3V en % du maximum





NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOWN
(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.)