



**MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE,  
DE LA JEUNESSE  
ET DES SPORTS**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport de jury**

**Concours : Agrégation interne et CAER**

**Section : Sciences industrielles de l'ingénieur**

**Options : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions**

**Session 2021**

Rapport de jury présenté par : Monsieur David HELARD, Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR), Président du jury

Le lycée Pierre Joël Bonté à Lyon a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2021 de l'agrégation interne section sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie des constructions, ainsi que les épreuves d'admission qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 13 au 15 avril 2021. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à madame la proviseure de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

## Table des matières

1. Avant-propos	4
2. Résultats statistiques	5
3. Épreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique	6
4. Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	32
5. Épreuve de dossier technique et pédagogique	51
6. Épreuve d'activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique	55

## 1. Avant-propos

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier les candidats capables d'enseigner les Sciences Industrielles de l'Ingénieur et notamment l'ingénierie des constructions à un haut niveau de compétences scientifiques, technologiques et pédagogiques. Les épreuves proposées aux candidats permettent de révéler leur potentiel d'adaptabilité, leur capacité à faire évoluer leurs pratiques pédagogiques et à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution.

Les épreuves du concours contrôlent la capacité des candidats à former des élèves et de futurs professionnels du domaine de l'ingénierie des constructions tout en garantissant une maîtrise satisfaisante de concepts scientifiques et technologiques plus transversaux. À ce titre, si le professeur agrégé doit être crédible lorsqu'il interagit dans un milieu professionnel de l'ingénierie des constructions, pour lui permettre de travailler en lien avec des techniciens, des ingénieurs et des chercheurs, il doit également s'attacher à explorer des domaines connexes à sa discipline et relevant des sciences industrielles de l'ingénieur. L'épreuve d'admissibilité d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique a pour but de valider cette appétence. Le jury encourage vivement l'ensemble des candidats à prendre en compte cette exigence dans le cadre de la préparation à ce concours.

Sur le plan professionnel, le jury recrute des enseignants en pleine maîtrise du vocabulaire technique courant de l'acte de construire. Les principales démarches de conception mais aussi de réalisation des ouvrages, et d'organisation de chantier, doivent être connues. Les principaux outils doivent être identifiés ainsi que leurs potentialités professionnelles et pédagogiques.

La maîtrise d'un logiciel ou appareil donné n'est pas demandée, mais il est fortement recommandé de s'entraîner à manipuler des outils variés du professionnel de l'ingénierie des constructions et des outils du professeur (modeleurs, simulateurs, appareils de mesures...).

Il est également absolument essentiel que les candidats prennent connaissance des programmes de formation dans lesquels ils peuvent être amenés à exercer.

Le jury attend des candidats, dans toutes les épreuves, une expression écrite et orale de qualité. L'agrégation interne est un concours de recrutement de professeurs qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue adaptée aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de la catégorie A de la fonction publique.

Le présent rapport participe à la préparation des candidats pour la session 2022 du concours. Les conseils prodigués constituent une aide précieuse et le jury encourage vivement les candidats à les prendre en compte dans le cadre d'une préparation soutenue et continue.

David Hélard  
Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche

## 2. Résultats statistiques de la session 2021

	Inscrits	Nombre de postes	Admissibles	Admis
Public	142	7	15	7
Privé	14	1	2	1

### **PUBLIC**

Admissibilité - Nombre de candidats présents à l'épreuve 1 (Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique)	95
Admissibilité - Nombre de candidats présents à l'épreuve 2 (Etude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation)	93
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	12,21 / 20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	8,77 / 20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	12,49 / 20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	8,57 / 20

### **PRIVE**

Admissibilité - Nombre de candidats présents à l'épreuve 1 (Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique)	10
Admissibilité - Nombre de candidats présents à l'épreuve 2 (Etude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation)	10
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	10,69 / 20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	10,24 / 20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le candidat admis	12,39 / 20

### 3. Epreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique (durée : 5 heures, coefficient : 2)

#### Présentation du sujet

---

L'étude proposée dans le cadre de l'épreuve porte sur l'amélioration de la qualité de l'air du bâtiment dans lequel se trouve le centre recherche et développement de l'entreprise CIAT, situé à Culoz (01). On s'intéresse aux dispositifs techniques permettant d'améliorer la qualité de l'air intérieur, ainsi qu'aux impacts de la mise en œuvre de ceux-ci sur les conditions d'exploitation du bâtiment.

Tout au long du questionnement scientifique (parties 1 à 4), des questions d'ordre pédagogique sont posées afin d'évaluer la capacité du candidat à adapter les parties scientifiques au niveau d'enseignement spécifié. La partie 5 est centrée sur une exploitation pédagogique du support, et une dernière partie visait à établir une conclusion générale sur la problématique étudiée.

Les poids relatifs des aspects scientifiques et pédagogiques du sujet correspondent au prorata du temps conseillé pour composer sur chacune d'elles, à savoir :

- Questions scientifiques : 60 %
- Questions pédagogiques : 40 %

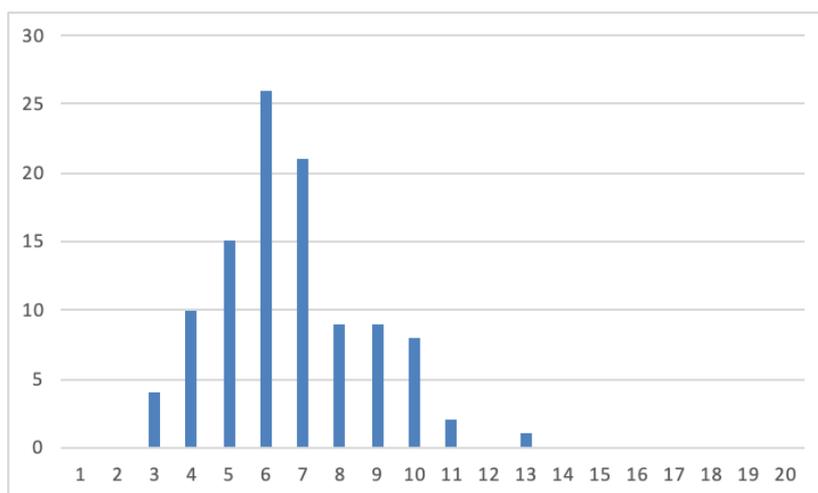
#### Analyse globale des résultats

---

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties sont néanmoins intégralement non traitées par certains candidats.

Le jury a noté une évolution favorable dans le traitement des parties pédagogiques, notamment lorsqu'elles sont distillées au fil du questionnement.

Distribution des notes / candidats



## **Commentaires sur chaque partie du sujet**

---

### **Partie 1 : Identification des contraintes réglementaires et des enjeux de santé publique**

Cette partie avait pour but d'appréhender la problématique liée à la qualité de l'air au travers d'une analyse qualitative des paramètres mis en jeu et des réglementations en vigueur. Elle a très largement été traitée par l'ensemble des candidats sans présenter de difficulté particulière.

### **Partie 2 : Caractérisation de la qualité de l'air**

L'objectif de cette partie était de caractériser la qualité de l'air dans un bâtiment par son taux de particules fines. Le but était d'identifier les capteurs adaptés aux grandeurs physiques à mesurer, aux contraintes d'implantation et aux protocoles de communication. Cette partie 2 a été traitée par 2/3 des candidats. Les questions 4 et 7 pouvaient être résolues en utilisant les formules de base d'électricité telles que la loi des mailles ou la loi des nœuds. On constate un manque de rigueur dans la démarche et dans la conversion des unités.

### **Partie 3 : Validation de la solution technique de traitement de l'air**

Cette partie avait pour objectif de valider la solution technique proposée par l'entreprise CIAT pour améliorer la qualité de l'air, et de mettre en place un modèle de comportement.

Cette partie a été peu abordée, en raison principalement des notions mathématiques associées aux questions (équations différentielles et transformée de Laplace).

### **Partie 4 : Caractérisation de l'impact de la mise en œuvre du dispositif sur le confort acoustique des usagers du bâtiment**

Cette partie avait pour objectif de vérifier l'exigence acoustique pour le local considéré suite à l'installation du système de traitement d'air. Pour cela, il s'agissait d'optimiser les caractéristiques des groupes moto-ventilateurs, du réseau et des unités terminales de soufflage en fonction des contraintes aérauliques et des spécifications acoustiques associées.

Cette partie a été bien traitée en majorité par les candidats (80% des candidats ont abordé la partie 4). Pour les questions 19, 20 et 21, on constate par ailleurs un manque de rigueur dans les notations, les calculs, l'homogénéité des expressions mêmes simples. De nombreux candidats ne maîtrisent pas les notions associées à la déformée et au calcul de la flèche d'une poutre.

Pour les questions de 23 à 29, la moitié des candidats a compris la démarche globale et est parvenue aux résultats souhaités en utilisant le memento acoustique fourni dans les documents techniques.

### **Partie 5 : Épreuve commune de contrôle continu**

Cette partie demandait aux candidats de proposer une stratégie pédagogique adossée aux nouveaux programmes STI2D, et en particulier l'exploitation du support au travers d'une proposition pédagogique de projet s'inscrivant dans l'enseignement de spécialité « innovation technologique » de première STI2D.

La définition du projet est généralement bien traitée dans son cadrage général (enjeu, problématique) mais reste encore trop souvent approximative lorsque l'identification et la répartition des tâches entre élèves sont décrites. Le traitement de cette partie requiert à la fois une réflexion pédagogique approfondie sur le fond et une capacité de synthèse sur la forme permettant de décrire la proposition pédagogique de manière claire et concise.

### **Partie 6 : Synthèse**

Cette partie avait pour objectif d'estimer les « coûts » énergétiques et acoustiques associés aux solutions d'amélioration de la qualité de l'air en comparant les différentes stratégies de pilotages.

Seule la moitié des candidats a abordé cette dernière partie de synthèse. Les quelques candidats ayant répondu correctement à ces questions ont produit une synthèse trop souvent peu argumentée et très éloignée de l'étude scientifique et technique attendue.

### **Recommandations**

Il est une nouvelle fois rappelé qu'une lecture attentive du sujet préalable à son traitement permet au candidat d'identifier le fil rouge amenant les différentes parties de l'étude, et facilite ainsi la compréhension de l'ensemble. Cette lecture doit également permettre aux candidats de repérer les parties susceptibles de leur permettre de démontrer leur potentiel.

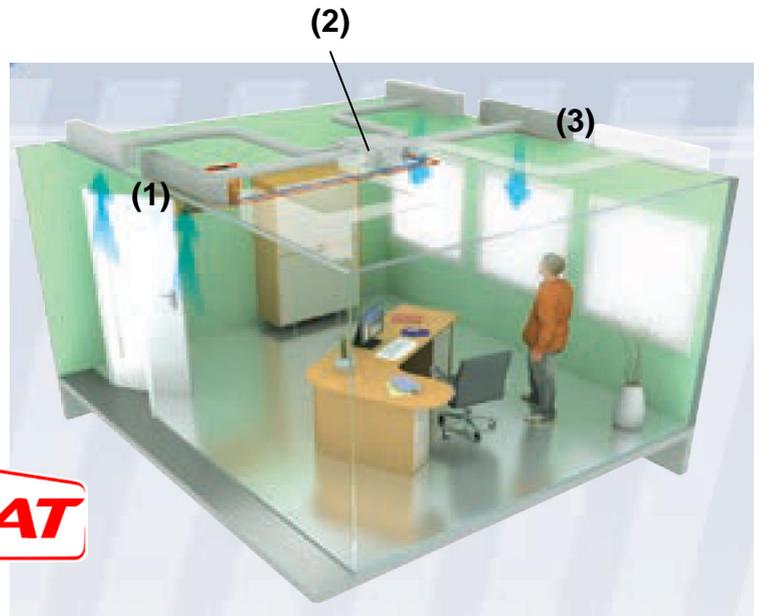
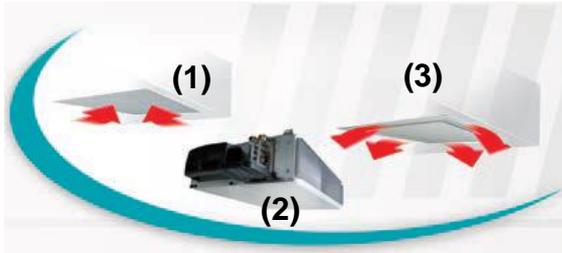
Il est également rappelé que le jury recherche avant tout des candidats capables de suivre une démarche de résolution de problème raisonnée, et par conséquent la justification des choix opérés doit être une préoccupation permanente. Il est également dans l'intérêt du candidat d'exposer la démarche suivie de façon claire et concise, sans se perdre dans de longs développements.

On rappelle que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication.

ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Coefficient 2 – Durée 5 heures

**Amélioration de la qualité de l'air intérieur**



Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

## ÉLÉMENTS DE CORRECTION

**Les questions des parties 1, 2 et 5 portant sur des aspects pédagogiques, les éléments de corrigé indiquent ce que les membres de jury ont cherché à évaluer. Ils ne constituent pas une réponse unique.**

### Partie 1. Identification des contraintes réglementaires et des enjeux de santé publique

Exigence	Critère	Effet prévu qualitativement			
		Dispositif 1 : Augmentation de l'étanchéité à l'air	Dispositif 2 : Renouvellement de l'air par apport d'air neuf	Dispositif 3 : Renouvellement de l'air par apport d'air neuf filtré	Dispositif 4 : Filtration de l'air intérieur :
Permettre une qualité de l'air intérieur non nocive pour la santé.	Taux de CO2	⊖ (CO2 vient de l'intérieur)	⊕	⊕	neutre
	Taux de particules fines	⊕ (particules fines viennent plutôt de l'extérieur)	⊖	⊕	⊕
	Taux de benzène	⊖⊕ (le benzène peut venir à la fois du tabac et des véhicules)	⊕	⊕	⊕
	Taux de formaldéhyde	⊖	⊕	⊕	⊕
Limiter la consommation d'énergie	Bbio	⊕	⊖	⊖	⊖ (dans une moindre mesure : pas besoin de chauffer ou rafraichir)
	Cep	⊕	⊖	⊖	⊖
Apporter un confort acoustique satisfaisant.	Niveau de pression acoustique	⊕ (protège des bruits extérieurs)	⊖	⊖	⊖

Question 1 : À partir des informations ci-dessus et du document **DT1**, compléter le tableau du document réponse **DR1**. Pour cela, **dégager** des critères, et **indiquer**, pour chacun des dispositifs, si l'effet sera plutôt favorable ou défavorable au respect de l'exigence concernée.

Question 2 : À l'aide du tableau du document réponse **DR1**, **analyser** les effets contradictoires de certains dispositifs et **conclure** quant à l'intérêt de combiner ces dispositifs.

Pour limiter la consommation d'énergie et notamment les besoins de chauffage ou de rafraîchissement, il faut isoler au maximum les bâtiments. Ceci peut avoir un effet négatif sur la qualité de l'air, notamment si les polluants proviennent de l'intérieur du bâtiment.

Une bonne qualité de l'air s'obtient à la fois par une filtration (pour les polluants venant de l'extérieur comme particules fines) et par une dilution (pour les polluants venant de l'intérieur d'autant plus si on ne sait pas les filtrer efficacement comme le CO<sub>2</sub>).

Mais ces 2 dispositifs ont un coût énergétique provenant :

- D'une part de la mise en route d'un système de ventilation et de pertes de charges générées par un filtre
- D'autre part par le besoin de réchauffer ou refroidir l'air échangé avec l'extérieur.

Les différents dispositifs doivent donc être combinés, en régissant leur fonctionnement d'après certaines conditions (présence de trafic, nombre de personnes présentes dans le bâtiment, énergie disponible...).

Question 3 : **Proposer** une description d'une séance de 2h en première STI2D, permettant de cibler la compétence CO1.3 du document **DP1** : « Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale ». La séance s'appuyant sur une démarche d'investigation, **préciser** les connaissances abordées, les indicateurs du niveau d'acquisition, les activités élèves, les interventions de l'enseignant, etc.(cf. documents **DP1** et **DP2**).

On attend du candidat qu'il propose une séance intégrée dans une séquence s'appuyant sur un contexte sociétal, en reprenant par exemple le thème du sujet. La séance proposée doit respecter les étapes essentielles d'une démarche d'investigation (appropriation du problème – formulation des hypothèses – expérimentation pour tester les hypothèses – analyse des résultats – conclusion) avec une mise en œuvre effective au travers du rythme, de la place de l'enseignant et d'une réelle mise en activité des élèves, notamment par l'intermédiaire d'expérimentations.

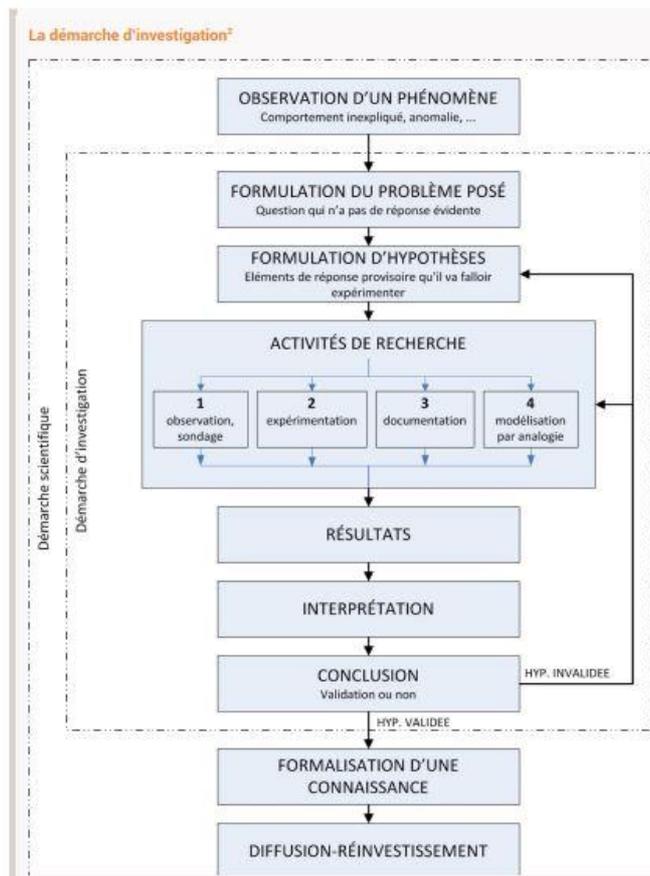


Figure 1- Source eduscol

## Partie 2. Caractérisation de la qualité de l'air

### 2.1 Validation et choix de capteurs adaptés à la mesure de microparticules

Question 4 : À l'aide du document **DT3**, **calculer** la part de la puissance électrique totale absorbée par le capteur, dédiée à la mise en mouvement des particules dans la chambre de détection.

$R_{h1}=100\Omega$  sous 5V (cf. schéma DT)

La part de la puissance électrique totale absorbée par le capteur (1W), dédiée à la

mise en mouvement des particules dans la chambre de détection : 
$$\frac{\frac{U_{rh1}^2}{R_{h1}}}{P_{abs\_capteur}} =$$

25%

### 2.2 Traitement de l'information

Question 5 : À partir du relevé de trames ci-dessous et à l'aide du document **DT5**, **déterminer** le taux de concentration de  $PM_{2.5}$ . **Conclure** quant au respect de l'exigence id 1.4 du **DT2**.

L'information du taux de particules est renfermée dans la trame esclave

Esclave						
ADRESSE	FONCTION	Nombre de données	Données 16 bits		Registre CR16C	
0x 0E	0x 04	0x01	0x00	0x11	0xDD	0x3D

0x11(base 16) correspond à 17 (base 10) soit  $17\mu g/m^3 > 10\mu g/m^3$  l'exigence id1.4 n'est pas respectée.

### 2.3 Exploitation pédagogique

Question 6 : **Identifier** puis **justifier** quelles compétences et connaissances associées (cf. **DP1** et **DP2**) pourraient être visées dans des séquences pédagogiques destinées aux enseignements de spécialité I2D et IT, exploitant la chaîne d'acquisition étudiée dans cette partie. **Expliciter** comment le lien entre les deux enseignements de spécialité pourrait prendre forme.

*La réponse à cette question n'est pas unique. Les éléments ci-dessous ne sont pas modélisant, mais montrent une méthode parmi d'autres pour répondre à la question.*

Dans cette question, il est attendu du candidat qu'il soit **capable de s'approprier le programme**, d'**établir une démarche pour identifier les compétences et connaissances mobilisables** et de **proposer des liens entre IT et I2D** notamment en s'appuyant sur des publications nationales.

**Voici un exemple de démarche pour identifier les compétences et connaissances mobilisables dans le cadre de l'exploitation de la partie 2 du sujet :**

#### 1 – Identifier le type d'activité possible

L'objectif de la partie 2 consiste à choisir et valider un capteur pour détecter les particules  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  et  $PM_1$ . Il devra être adapté aux :

- Grandeurs physiques (particules fines) ;
- Contraintes d'implantation ;
- Protocoles de communication.

## 2 – Identifier les compétences pouvant être mobilisées

Plusieurs compétences peuvent être mobilisées à partir de ce sujet. Voici une liste non exhaustive (les compétences liées à la communication ne sont pas évoquées, mais peuvent bien sûr être également mobilisées) :

O1	<b>CO1.1.</b> Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable.	Étude possible de la structure de la centrale de traitement d'air avec une approche développement durable.
	<b>CO1.3.</b> Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale.	Le capteur de détection de particules et une solution technologique de la centrale de traitement d'air.
O2	<b>CO3.1.</b> Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un produit ainsi que ses entrées/sorties.	Analyse de la fonction remplie par le capteur et des entrées/sorties.
	<b>CO3.4.</b> Identifier et caractériser des solutions techniques.	Identification et caractérisation du capteur.
O5	<b>CO5.2.</b> Identifier et justifier un problème technique à partir de l'analyse globale d'un produit (approche matière – énergie – information).	Analyse de la centrale de traitement d'air pour répondre à la problématique liée au traitement de l'air intérieur.
	<b>CO5.3.</b> Mettre en évidence les constituants d'un produit à partir des diagrammes pertinents.	Lecture des diagrammes SysML pour comprendre la constitution de la centrale de traitement d'air et identifier le capteur.
	<b>CO5.5.</b> Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue.	
O7	<b>CO7.2.</b> Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.	Mise en œuvre du capteur à l'aide d'une carte de type ESP32.

## 3 – Cibler des compétences

Il conviendra d'avoir d'abord une approche systémique, par exemple autour de la centrale de traitement d'air pour ensuite axer l'étude vers le constituant, vers la solution technologique.

Une séquence pédagogique pourrait se centrer sur CO1.3, CO3.4, CO5.2 et CO7.2.

Ce regroupement de compétences permet d'aborder les trois dimensions : socio-culturelle, scientifique et technique, ingénierie design.

À part la compétence CO1.3, qui concerne l'enseignement de spécialité I2D, les trois autres concernent les deux enseignements de spécialité I2D et IT.

## 4 – Identifier les connaissances mobilisables

À partir de ces quatre compétences, nous pouvons cibler des connaissances associées.

CO1.3	1-5 / 3-1 / 3-3 / 4-1 / 4-3 / 5
CO3.4	1-2 / 2 / 4-3 / 5 / 6-2
CO5.2	1 / 2-1 / 4-3
CO7.2	1-2 / 2-1 / 6-2 / 6-3

En IT, le contexte global et les enjeux de société peuvent être une entrée possible pour un projet et ainsi aborder les connaissances du chapitre 1 : Principes de conception des produits et développement durable.

Les connaissances liées au chapitre 2 : Approche fonctionnelle et structurelle des produits est également envisageable.

### Lien IT I2D

Les enseignements de spécialité IT et I2D sont intimement liés l'une à l'autre. L'étude des produits attendue en I2D combinée à la mise en évidence des problèmes que les concepteurs ont dû résoudre, doivent être approfondies par des activités d'expérimentation sur des supports didactiques, dédiés à la construction d'une culture des solutions constructives. Ces études initient les acquisitions et peuvent notamment prendre appui, pour faire sens, sur les projets proposés en IT. Cela permet d'approfondir et de réinvestir les acquisitions dans le cadre d'une pédagogie active et donne du sens aux apprentissages ; ce qui n'exclut pas de susciter le besoin d'apports de connaissances et une montée en compétences pour résoudre un problème rencontré au cours d'une activité de projet en IT.

Des stratégies pédagogiques, renvoyant aux activités menées en I2D, peuvent être mises en place en IT afin de « connecter » les enseignements et rendre davantage perceptibles les connaissances et compétences développées dans les deux enseignements de spécialité.



Figure 2- Source eduscol

**Quelle que soit la réponse du candidat, il est attendu qu'elle soit étayée par un documentaire précis.**

### 2.4 Contraintes et limites d'implantation des capteurs dans un bâtiment

Question 7 : **Montrer** que l'expression du courant  $I$  fonction de la position  $x$  et du temps  $t$  peut se mettre sous la forme :

$$\frac{\partial I(x, t)}{\partial x} = -C \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} - G \cdot V(x, t)$$

À l'aide de la loi des nœuds, on peut écrire,

$$I(x, t) = I(x + dx, t) + V(x + dx, t) \cdot G \cdot dx + C \cdot dx \cdot \frac{\partial V(x + dx, t)}{\partial t}$$

$$\begin{aligned} \lim_{dx \rightarrow 0} \left( \frac{I(x+dx, t) - I(x, t)}{dx} \right) &= \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} = \lim_{dx \rightarrow 0} \left( -C \cdot \frac{\partial V(x+dx, t)}{\partial t} - V(x+dx, t) \cdot G \right) \\ &= -C \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} - G \cdot V(x, t) = \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} \end{aligned}$$

Question 8 : En combinant les 2 équations précédentes, **montrer** alors que l'on obtient l'équation différentielle suivante :

$$\frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} + RG \cdot V(x, t)$$

En dérivant  $\frac{\partial V(x, t)}{\partial x}$  on obtient :

$$\frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} = -L \cdot \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial t \cdot \partial x} - R \cdot \frac{\partial I(x, t)}{\partial x}$$

Puis en remplaçant  $\frac{\partial I(x, t)}{\partial x}$  obtenue à la question 7 on obtient :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} &= -L \cdot \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial t \cdot \partial x} - R \cdot \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} = L \left( C \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} + G \cdot \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} \right) + R \left( C \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} + \right. \\ &\left. G \cdot V(x, t) \right) = LC \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} + RG \cdot V(x, t) \end{aligned}$$

Question 9 : **Déterminer** les longueurs des lignes référencées part1 et part2 (cf. document DT4) puis **vérifier** que l'exigence de longueur maximale de ligne pour la Norme MODBUS est respectée.

La vitesse dans les lignes vaut :  $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  avec  $C = 41,7 \text{ pF.m}^{-1}$  et  $L = 417. \text{ nH.m}^{-1}$

D'où :  $v = 240 * 10^6 \text{ m.s}^{-1}$

$$\text{longueur part1} = v * td_1 = 240 * 10^6 * 90.10^{-9} = 21.6 \text{ m}$$

$$\text{longueur part2} = v * td_2 = 240 * 10^6 * 450.10^{-9} = 108 \text{ m}$$

**En combinant les 2 longueurs, on obtient 129.6m, l'exigence d'une longueur maximale de 2500m est respectée.**

Question 10 : **Calculer** l'impédance caractéristique de la ligne puis **indiquer** l'origine de ce problème de transmission.

L'impédance caractéristique vaut  $Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} = 100 \Omega$  correspondant à l'impédance caractéristique du câble. Le problème de transmission vient de l'absence des résistances de terminaison. Cela provoque des ondes qui se réfléchissent (pour de grandes longueurs de câble) et se combinent avec le signal d'origine le long de la ligne de transmission.

Question 11 : **Indiquer** les précautions à respecter pour assurer une transmission correcte du signal (topologie, terminaison, longueur).

Pour assurer une transmission correcte, il faut des résistances de terminaison correspondantes à l'impédance caractéristique et une topologie série (pas étoile).

Question 12 : Pour s'assurer de la validité du signal reçu, **indiquer** la précaution logicielle à privilégier.

Pour s'assurer de la validité du signal, il faut vérifier grâce au CRC 16 que le signal n'a pas subi de perturbation en calculant le reste pour chaque trame reçue côté capteur comme coté maître.

Partie 3. **Validation de la solution technique de traitement de l'air**

Question 13 : À partir des équations ci-dessus, **écrire** l'équation différentielle liant le taux de particules fines  $t_{PM25}(t)$  et le débit massique de particules entrant dans la pièce  $q_{ext}(t)$

En remplaçant dans l'équation (2) :  $\frac{dm_{PM25}}{dt} = q_{ext}(t) - q_{PM25}(t)$

$$V \frac{dt_{PM25}}{dt} = q_{ext}(t) - e \cdot q_{air}(t) \cdot t_{PM25}(t)$$

La vitesse  $\omega$  est constante.

Soit :  $V \cdot \frac{dt_{PM25}(t)}{dt} + e \cdot K \cdot \omega \cdot t_{PM25}(t) = q_{ext}(t)$

On obtient donc une équation différentielle liant le taux de particules fines et le débit massique de particules.

Question 14 : Après avoir déterminé l'équation différentielle dans le domaine de Laplace, **établir** la fonction de transfert  $H(p) = \frac{T_{PM25}(p)}{Q_{ext}(p)}$ . **Montrer** qu'il s'agit d'une fonction de transfert d'ordre 1, puis **donner** l'expression de son gain  $K_1$  et de sa constante de temps  $\tau_1$  en fonction de  $e$ ,  $V$ ,  $K$  et  $\omega$ .

Dans le domaine de Laplace, CI nulles :

$$pVT_{PM25}(p) + eK\omega T_{PM25}(p) = Q_{ext}(p)$$

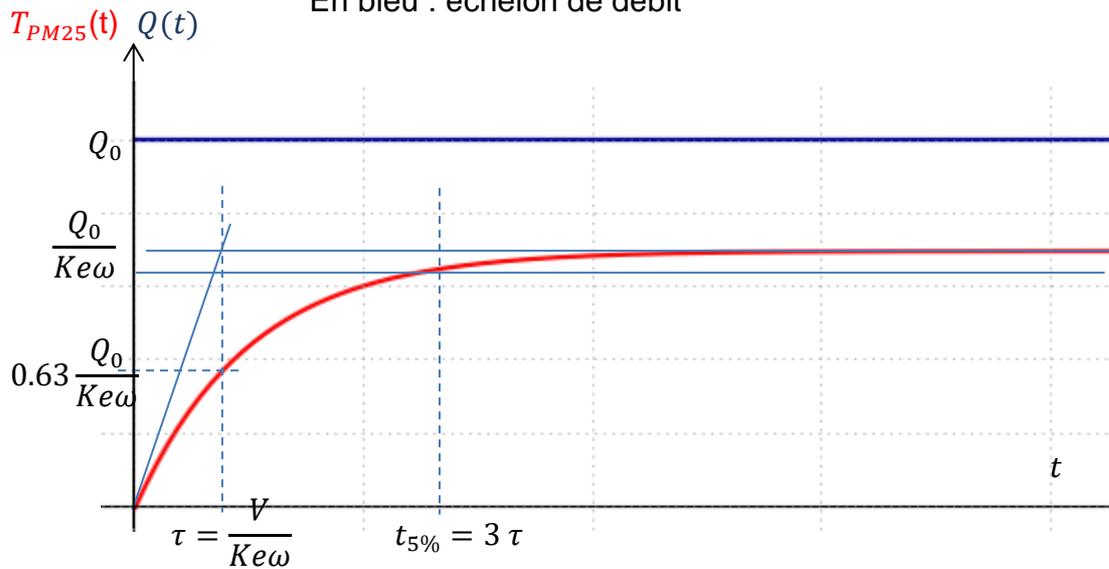
On obtient donc :  $H(p) = \frac{T_{PM25}(p)}{Q_{ext}(p)} = \frac{1}{1 + \frac{Vp}{eK\omega}}$

Fonction de transfert du premier ordre de la forme :  $H(p) = \frac{K_1}{1 + \tau_1 p}$

Par identification :  $K_1 = \frac{1}{eK\omega}$  ;  $\tau_1 = \frac{V}{eK\omega}$  ;

Question 15 : **Tracer** sur feuille de copie l'allure du taux de particules dans la pièce suite à une entrée de type débit constant (échelon de débit  $Q_0$ ). **Placer** les paramètres caractéristiques et notamment  $t_{5\%}$  (temps de réponse à 5%). Pour chacun des deux critères du cahier des charges, donné en début de partie, **indiquer** quels sont les paramètres influents et **proposer** des moyens d'actions possibles pour améliorer ces performances.

En rouge : évolution du taux de particules fines  
 En bleu : échelon de débit



- Pour améliorer l'efficacité et augmenter le débit que le système est capable de supporter pour maintenir le taux de particules en dessous de  $10 \mu\text{g/s}$ , il faut diminuer la valeur finale  $T_{PM25\infty}$ . Or,  $T_{PM25\infty} = K_1 Q_0 = \frac{1}{eK\omega} Q_0$ . Il faut donc diminuer le gain  $K_1$ . Pour cela il faut soit augmenter l'efficacité du filtre, soit augmenter la vitesse de rotation.
- Pour améliorer la rapidité et donc diminuer le temps de réponse à 5%, il faut diminuer  $\tau = \frac{V}{Ke\omega}$ . Pour cela il faut soit augmenter l'efficacité du filtre, soit augmenter la vitesse de rotation. On note que le volume de la pièce a aussi une incidence, donc il faut veiller à mettre suffisamment d'unités de confort dans le volume à traiter.

Question 16 : Par identification à partir du relevé expérimental, **déterminer** la constante de temps  $\tau$  et l'efficacité  $e$  du filtre (dans le cas du filtre amélioré).

On relève le temps mis pour avoir une diminution de 63% ( $\frac{63}{100} * 20 = 12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), soit le temps pour lequel la concentration est de  $7,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $\tau = 5,5 \text{min}$ .

On en déduit  $e = \frac{V}{K\tau\omega} = \frac{40}{20 \cdot 10^{-3} * 5,5 * 620 * 2 * \pi} = 0,93$

Question 17 : **Conclure** quant au respect du cahier des charges (temps de réponse à 5% et débit maximal) pour une vitesse de rotation de  $620 \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$  (réglage « vitesse moyenne »), puis pour une vitesse de  $770 \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$  (grande vitesse) dans ce local.

Volume à traiter par unité de confort :  $V = \frac{84 \cdot 2,7}{2} = 113,4 \text{m}^3$

**Critère de débit maximal** : D'après question 15 :  $T_{PM25\infty} = Q_0 / eK\omega$ , soit  $Q_0 = T_{PM25\infty} \cdot eK\omega$

**Critère de rapidité** (temps de réponse à 5%) :  $t_{5\%} = 3\tau = 3 \frac{V}{Ke\omega}$

On obtient :

	Pour $\omega = 620 \text{tr}/\text{min}$	Pour $\omega = 770 \text{tr}/\text{min}$
$Q_0$	$1,2 \mu\text{g}/\text{s}$	$1,5 \mu\text{g}/\text{s}$

$t_{5\%}$	47 min	38 min
-----------	--------	--------

### Conclusion

Le cahier des charges est respecté concernant le temps de réponse à 5% (<75 minutes). Pour le débit max, il faut absolument se placer à grande vitesse (car en petite vitesse le débit n'est pas suffisant :  $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3 < 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Partie 4. **Caractérisation de l'impact de la mise en œuvre du dispositif sur le confort acoustique des usagers du bâtiment.**

**4.1 Analyse des sources du bruit**

Question 18 : **Déterminer** l'expression de  $Y_B$  et  $Z_B$  en fonction de la masse du balourd  $m$ , de l'angle  $\theta$ , de la vitesse  $\omega$  et des dimensions du système. **Montrer** que ces composantes sont périodiques de pulsation  $\omega$ .

On isole la roue à aubes (1) + balourd

**Torseurs dynamiques**

**Les torseurs sont exprimés en B (point fixe par rapport au référentiel galiléen 2)**

$$\{D_{m/2}\} = \begin{Bmatrix} m\Gamma(G/R\vec{O}) \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} -me\omega^2\vec{y}_1 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$$

$$\{D_{1/2}\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C\ddot{\theta}\vec{x} \end{Bmatrix}_B$$

**Bilan des actions mécaniques extérieures :**

- Liaison pivot en B (pb plan) :  $\{T_{2 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} Y_B\vec{y}_0 + Z_B\vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_0$
- Action du moteur (couple)

**Écriture du PFD (équations de résultantes en projection sur  $\vec{y}_0$  et  $\vec{z}_0$ )**

$$\begin{cases} -me\omega^2 \cos\theta = Y_B \\ -me\omega^2 \sin\theta = Z_B \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} Y_B = -me\omega^2 \cos(\theta) \\ Z_B = -me\omega^2 \sin(\theta) \end{cases}$$

Les composantes sont bien périodiques de pulsation  $\omega$ .

Question 19 : **Déterminer** le torseur de cohésion de la poutre en fonction de  $M_A$ ,  $N_A$  et  $F$ . Puis, **établir** l'expression de la flèche maximale  $y_M$  (valeur maximale prise par  $y(x)$ ). **Justifier** votre réponse.

**Résolution du problème de statique :**

Problème hyperstatique ( $h=3$ ),  $M_A$ ,  $N_A$  indéterminé ;

$$F + 2T_A = 0 \quad \boxed{T_A = -\frac{F}{2}}$$

**Torseur de cohésion :**

Pour  $x \in [0, b[$  :

$$\begin{cases} N = -N_A \\ T = -T_A = \frac{F}{2} \\ M_{fz} = -(M_A - xT_A) \end{cases}$$

Pour  $x \in [b, 2b[$  :

$$\begin{cases} N = -N_A \\ T = -T_A - F = -\frac{F}{2} \\ M_{fz} = -(M_A - xT_A - (x-b)F) \end{cases}$$

$$\{T_{II \rightarrow I}\} = \begin{Bmatrix} -N_A \vec{x}_0 + \frac{F}{2} \vec{y}_0 \\ (-M_A - x \frac{F}{2}) \vec{z}_0 \end{Bmatrix}_A \quad \{T_{II \rightarrow I}\} = \begin{Bmatrix} -(N_A) \vec{x}_0 - \frac{F}{2} \vec{y}_0 \\ [-M_A + \frac{F}{2}(x - 2b)] \vec{z}_0 \end{Bmatrix}_A$$

### Poutre soumise à flexion

Pour  $x \in [0, b[$  :

$$y''(x).EI_{GZ} = Mf = -M_A - x \frac{F}{2}$$

$$y'(x).EI_{GZ} = -M_A x - \frac{F}{4} x^2 + A$$

$$y(x).EI_{GZ} = -M_A \frac{x^2}{2} - \frac{F}{4} \frac{x^3}{3} + B$$

condition aux limites :  $y'(0) = 0$  d'où  $A=0$

condition aux limites :  $y(0) = 0$  d'où  $B=0$

$$y(x).EI_{GZ} = -M_A \frac{x^2}{2} - \frac{F}{4} \frac{x^3}{3}$$

De plus, la déformée admet une tangente horizontale en C :  $y'(b) = 0$  :

$$y'(b).EI_{GZ} = -M_A b - \frac{F}{4} b^2 = 0$$

Cette condition permet de lever l'hyperstatisme :  $M_A = -\frac{F}{4} b$

On obtient ainsi :  $y(b) = \frac{1}{EI_{GZ}} \left( \frac{F}{4} b \frac{b^2}{2} - \frac{F}{4} \frac{b^3}{3} \right) = \frac{b^3 F}{EI_{GZ}} \left( \frac{1}{8} - \frac{1}{12} \right)$

La flèche maxi est obtenue pour  $x = b$  :  $y_M = y(b) = \frac{b^3 F}{EI_{GZ}} \frac{1}{24}$

Question 20 : **Montrer** que l'on peut établir une relation du type  $F = k y_M$ , où  $k$  dépend des caractéristiques géométriques et du module de Young  $E$ . **Donner** l'expression de  $k$ , puis **calculer** sa valeur numérique.

$$k = \frac{F}{y_M} = \frac{24EI_{GZ}}{b^3} = 7680 \text{ N.m}^{-1}$$

Question 21 : **Indiquer** s'il y a risque de résonance et pour quelle pulsation approximative (en  $\text{rad.s}^{-1}$ ). À partir de la documentation technique **DT7**, **relever** la plage de vitesse d'utilisation du ventilateur sachant que seules les vitesses  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  sont utilisées. **Conclure**.

### Évaluation du risque de résonance

$$z = \frac{f}{2\sqrt{km}} = 0.012 \text{ donc } z < 0.7 \text{ il y a résonance pour } \omega \approx \omega_0 \text{ (car } z \text{ très faible)}$$

### Vitesse de rotation menant au phénomène de résonance (vitesse à éviter)

$$\omega_0 = 83,7 \text{ rad.s}^{-1}$$

D'où la vitesse de rotation à éviter est de  $83,7 \text{ rad.s}^{-1}$  soit environ  $800 \text{ tr.min}^{-1}$ .

### Conclusion

La plage de vitesse de rotation utilisée est  $570 \text{ tr.min}^{-1}$  à  $900 \text{ tr.min}^{-1}$  ( $60 \text{ rad/s}$  à  $94 \text{ rad/s}$ ). En vitesse 3 on atteint déjà  $900 \text{ tr.min}^{-1}$  : ceci est problématique.

Question 22 : **Justifier** le choix du modèle de chargement présenté sur le **DT8**. **Conclure** quant au risque d'entrer en résonance dans la plage d'utilisation du moteur.

**Indiquer** le déplacement qu'il convient d'imposer lors de la phase de précharge au montage, et **proposer** un protocole de montage.

Le montage du moteur dans son berceau est réalisé par deux guidages aux deux

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	$L_{wglobal}$
$L_w$ (dB) Aspiration + rayonnement	48	49	48	43	37	27	53.64
$L_w$ (dB) Soufflage	44	46	45	41	37	25	50.59
Pondération A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1	
$L_w$ (dB(A)) Aspiration + rayonnement	31.9	40.4	44.8	42	38.2	28	48.44
$L_w$ (dB(A)) Soufflage	27.9	37.4	41.8	41	38.2	26	46.11

extrémités du berceau. L'effort généré par les effets dynamiques dus au balourd de la roue à pale se situe en porte à faux par rapport à ces guidages. On modélise l'action de contact entre le berceau et la plaque, par deux chargements surfaciques de directions opposées.

La pulsation de résonance la plus faible est autour de 473 rad/s soit 75 Hz, soit 4500 tr/min.

On sera donc très loin de la fréquence de résonance en fonctionnement (même en V3 : 900tr/min)

On peut donc utiliser le résultat de l'étude statique pour estimer les déplacements, et vérifier qu'il n'y aura pas de perte de contact avec le déflecteur. Dans la zone de contact, on obtient un déplacement max de  $3 \mu m$ . Il suffira d'apporter une précontrainte conduisant à au moins ce déplacement.

#### 4.2 Propagation acoustique au sein de l'installation

Question 23 : **Déterminer** le niveau de puissance acoustique global  $L_{wglobal}$  [dB] à l'aspiration + rayonnement ainsi qu'au soufflage et **compléter** le document réponse **DR2**.

$$L_{wglobal Asp+Ray} [dB] = 10 \log(10^{\frac{48}{10}} + 10^{\frac{49}{10}} + 10^{\frac{48}{10}} + 10^{\frac{43}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{27}{10}}) = 53.64 \text{ dB}$$

$$L_{wglobal Soufflage} [dB] = 10 \log(10^{\frac{44}{10}} + 10^{\frac{46}{10}} + 10^{\frac{45}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{25}{10}}) = 50.59 \text{ dB}$$

Question 24 : **Déterminer** le niveau de puissance  $L_w$  [dB(A)] à l'aspiration + rayonnement ainsi qu'au soufflage, par bande d'octaves et **renseigner** le tableau du document réponse **DR2**. **Vérifier** que  $L_{wglobal}$  [dB(A)] dû au soufflage et l'aspiration est de 51 dB(A) (arrondi au dB supérieur).

$$L_{wglobal Asp+Ray} [dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{31.9}{10}} + 10^{\frac{40.4}{10}} + 10^{\frac{44.8}{10}} + 10^{\frac{42}{10}} + 10^{\frac{38.2}{10}} + 10^{\frac{28}{10}}) = 48.44 \text{ dB(A)}$$

$$L_{wglobal Soufflage} [dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{27.9}{10}} + 10^{\frac{37.4}{10}} + 10^{\frac{41.8}{10}} + 10^{\frac{38.2}{10}} + 10^{\frac{26}{10}} + 10^{\frac{27}{10}}) = 46.11 \text{ dB(A)}$$

$$L_{wglobal Soufflage+Asp} [dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{48.44}{10}} + 10^{\frac{46.11}{10}}) = 50.44 \text{ dB(A)} \approx 51 \text{ dB(A)}$$

Question 25 : En utilisant le principe de conservation de la puissance acoustique, **déterminer** le niveau de puissance  $L_{wA}$  [dB(A)] à l'entrée des trois gaines en A, B et C en considérant qu'ils sont égaux.

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	$L_{wglobal}$
$L_w$ (dB) Aspiration + rayonnement	48	49	48	43	37	27	53.64
$L_w$ (dB) Soufflage	44	46	45	41	37	25	50.59
Pondération A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1	
$L_w$ (dB(A)) Aspiration + rayonnement	31.9	40.4	44.8	42	38.2	28	48.44
$L_w$ (dB(A)) Soufflage	27.9	37.4	41.8	41	38.2	26	46.11

$$P_{CTA} = P_A + P_B + P_C$$

On considère que les trois niveaux de sortie en A, B et C sont égaux  $L_{wA} = L_{wB} = L_{wC}$

$$L_{wglobal} = 51 = 10 * \log(3 * 10^{\frac{L_{wA}}{10}})$$

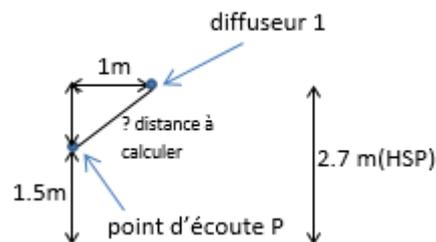
$$D'où L_{wA} = 10 * \log\left(\frac{10^{\frac{51}{10}}}{3}\right) = 46.23 \text{ dB(A)}$$

Question 26 : **Calculer** le niveau de puissance  $L_{w1}$  [dB(A)] à la sortie des bouches de soufflage numérotées 1, 2 et 3 en tenant compte de l'atténuation acoustique dans les gaines.

En tenant compte de l'atténuation des gaines (- 4 dB/mètre), on obtient  $L_{w1} = L_{wA} - 4 * 2 = 38.23 \text{ dB(A)}$

Question 27 : À partir du document **DT11**, **justifier** de manière qualitative que l'étude acoustique pour l'auditeur situé au point P se limite au diffuseur 1 et **déterminer** le niveau de pression acoustique  $L_{pdirect}$  au point P.

L'auditeur est très proche en distance du diffuseur 1 par rapport aux autres diffuseurs. On pourra considérer que la source prépondérante est donc le diffuseur 1. Calcul de la distance entre l'auditeur et le point 1 :



$$r = \sqrt{1.2^2 + 1^2} = 1.56 \text{ m}$$

Avec un facteur de directivité de 2 et une distance de 1,56 m, on obtient :

$$L_{pdirect} = L_{w1} + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) = 38.23 + 10 \log\left(\frac{2}{4 * \pi * 1.56^2}\right) = 26.38 \text{ dB(A)}$$

Question 28 : D'après la formule de Sabine, **déterminer** l'aire d'absorption A du local. En déduire la constante d'absorption R du local ainsi que le niveau de pression  $L_{p\text{réverbéré}}$  [dB(A)].

$$A = 0.16 \frac{V}{T} = 0.16 \frac{2.7 * 7 * 12}{0.5} = 72.6 \text{ m}^2$$

Avec V = volume de la pièce =  $2.7 * 7 * 12 = 226.8 \text{ m}^3$

Calcul de la surface des parois de la pièce  $S = 2 * 12 * 7 + 2 * 2.7 * 12 + 2 * 2.7 * 7 = 270.6 \text{ m}^2$

$$R = \frac{AS}{S - A} = \frac{72.6 * 270.6}{270.6 - 72.6} = 99.22 \text{ m}^2$$

D'où  $L_{p\text{réverbéré}} = L_w + 10 \log \left( \frac{4}{R} \right) = 38.23 + 10 \log \left( \frac{4}{99.22} \right) = 24.28 \text{ dB(A)}$

Question 29 : **Conclure** quant au respect de la norme acoustique dans l'open-space du plateau 1 en considérant à la fois le champ direct et réverbéré.

$$L_p = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{p\text{direct}}}{10}} + 10^{\frac{L_{p\text{réverbéré}}}{10}} \right) = 10 \log \left( 10^{\frac{26.38}{10}} + 10^{\frac{24.38}{10}} \right) = 28.50 \text{ dB(A)}$$

$$< 30 \text{ dB(A)}$$

Le respect de la norme est assuré.

## Partie 5. **Épreuve commune**

Question 30 : En complétant la fiche de description du projet (cf. document **DP3**) **proposer** un projet permettant la mise en place de l'épreuve commune de contrôle continu en fin de première en STI2D.

Épreuve commune.

Il est attendu ici que le candidat soit capable de réinvestir des documents et des ressources techniques et scientifiques dans le cadre d'une exploitation pédagogique, en particulier pour le projet de fin de première.

Plusieurs réponses sont possibles, mais l'observation portera sur l'appropriation du document de cadrage, l'adaptation des documents techniques pour le niveau demandé, la démarche de projet proposée incluant la définition et la répartition des tâches dans le temps imparti.

### **Exemple de réponse possible :**

*Intitulé du projet :* Qualité de l'air intérieur.

*Le besoin initial :* Les enjeux sanitaires et économiques liés à la qualité de l'air intérieur sont importants. Les polluants atmosphériques causent chaque année 48 000 morts prématurées en France et la pollution de l'air est classée 10ème facteur de risque de décès dans le monde.

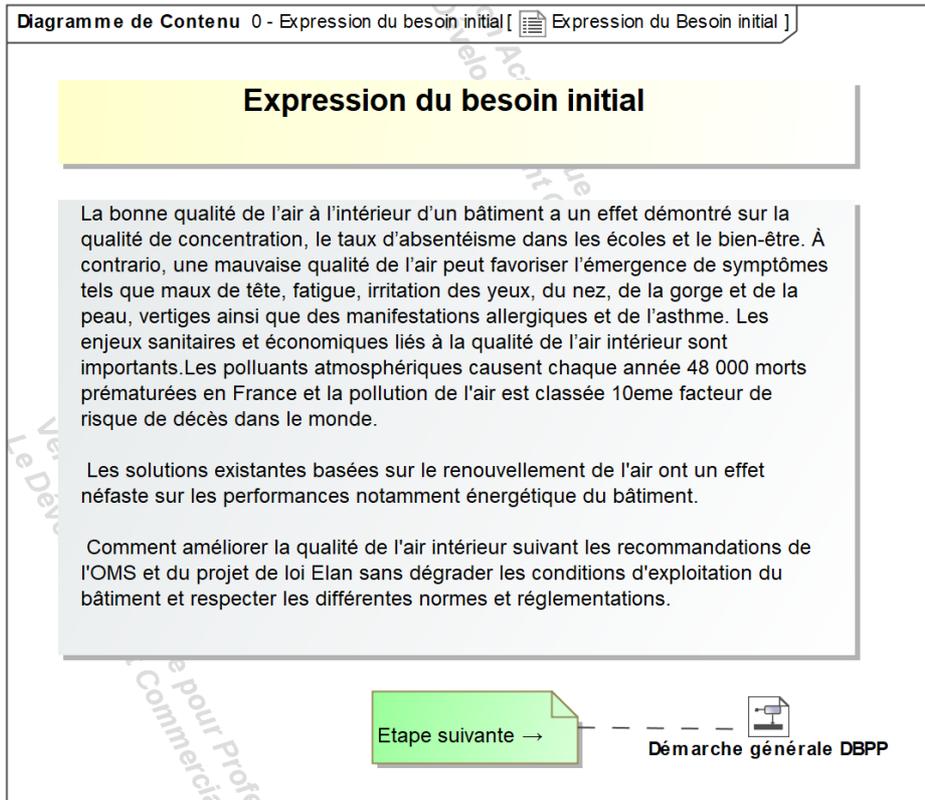
*La finalité du produit :* Améliorer la qualité de l'air intérieur.

*Le problème technique à résoudre :* Comment améliorer la qualité de l'air intérieur sans détériorer la consommation énergétique du bâtiment ?

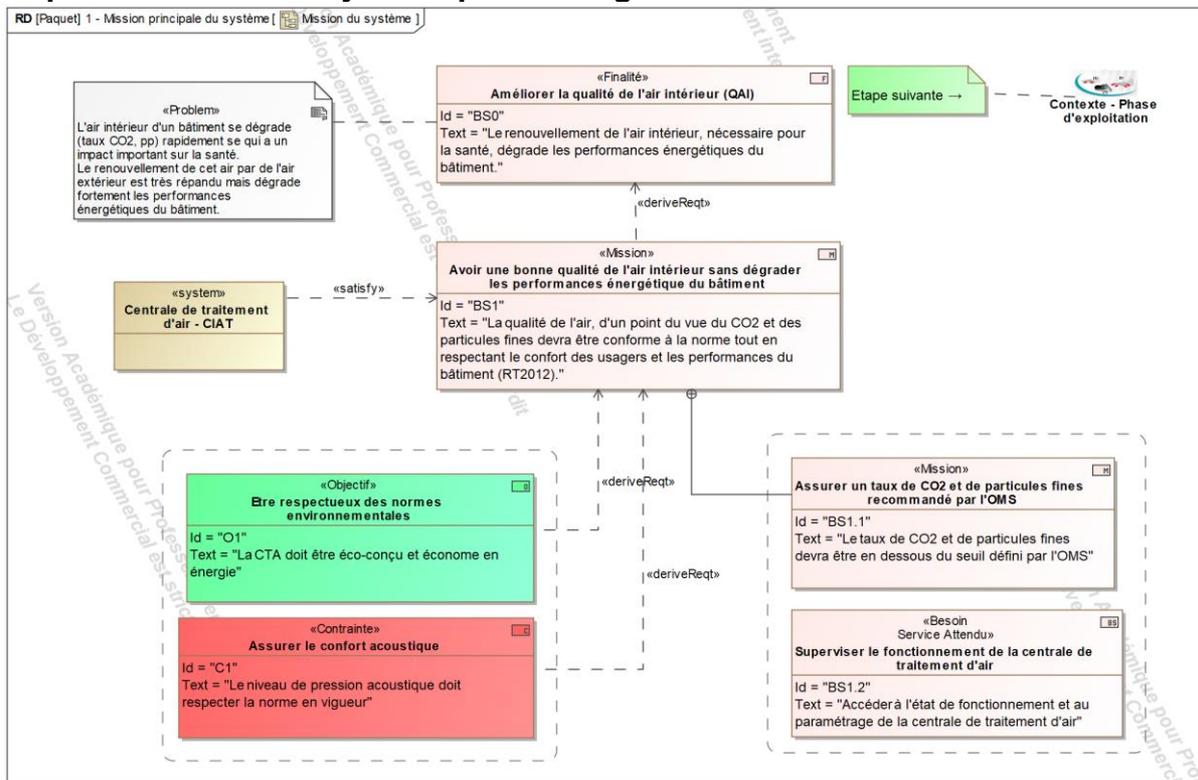
*La production finale attendue :* Prototype d'un système validant les fonctions définies dans le cahier des charges.

**Les quatre éléments précédents s'appuient sur la mise en situation du sujet.**

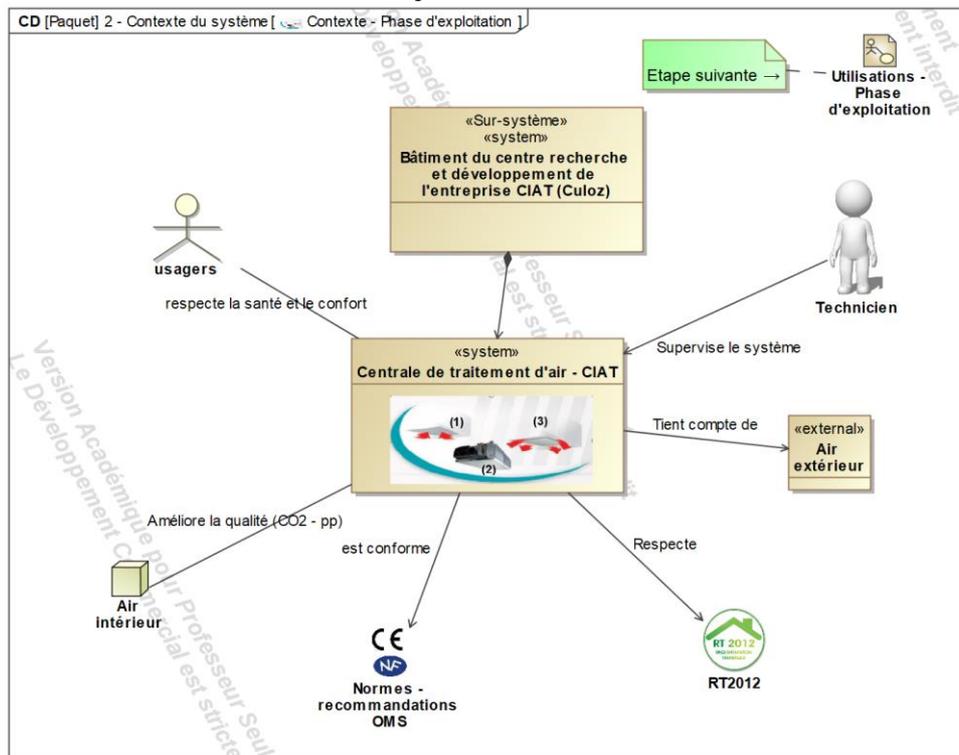
1- Le diagramme de contenu (l'expression du besoin) :  
**Reprend la mise en situation du sujet**



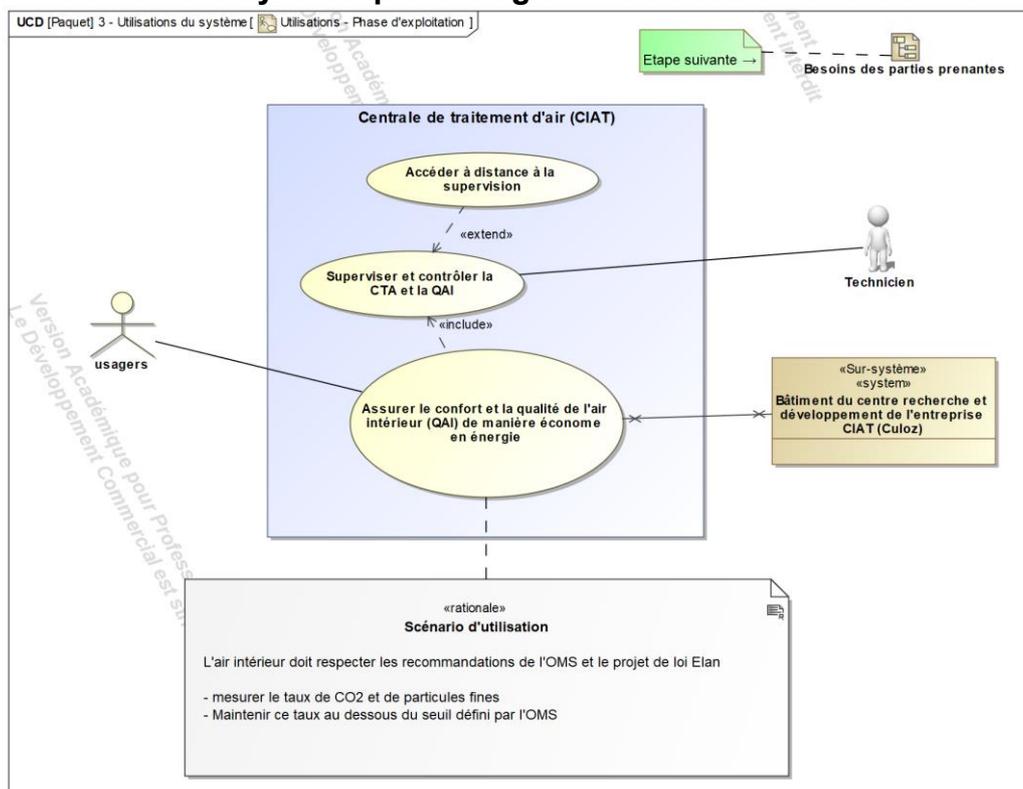
2- Le diagramme d'exigences (mission du système) :  
**Reprend de manière synthétique les diagrammes du DT2**



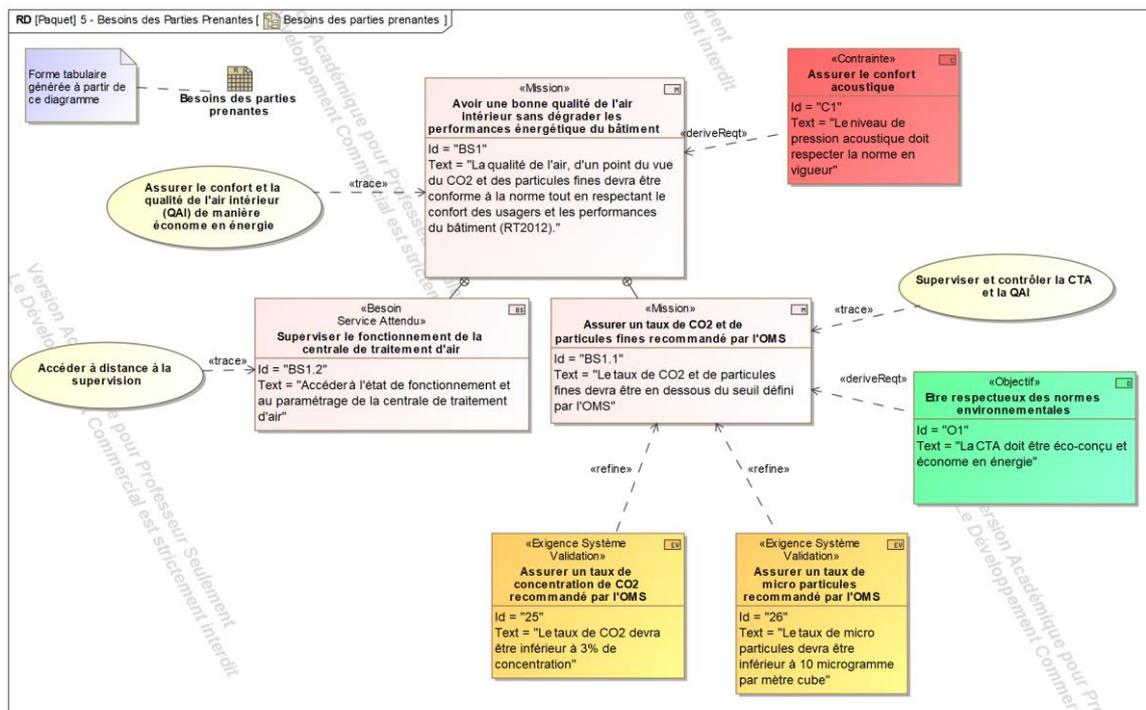
3- Le diagramme de contexte (contexte du système) :  
**Reprend le contexte d'étude du sujet**



4- Le diagramme de cas d'utilisation (utilisation du système) :  
**Reprend de manière synthétique le diagramme de cas d'utilisation du DT2**



## 5- Le diagramme d'exigences (besoins des parties prenantes) :

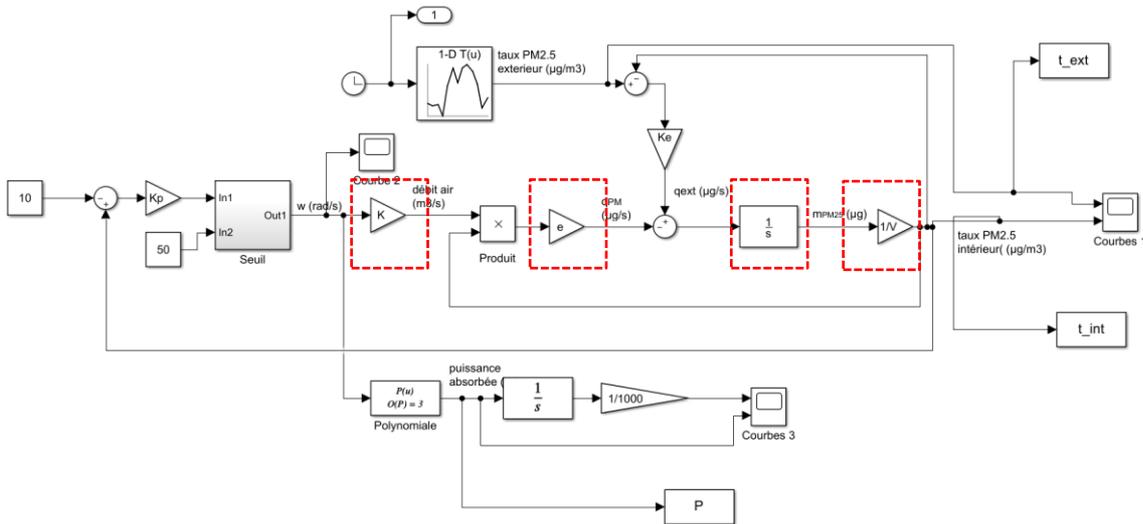


La définition des tâches « élèves » doit être en lien avec les indicateurs de performance de la grille d'évaluation. Certaines tâches seront communes au groupe tandis que d'autres seront individuelles.

Partie 6. Synthèse

6.1 Stratégie de pilotage proportionnelle

Question 31 : À partir des équations (1), (2), (3), et (4) de la **partie 3**, finaliser ce modèle en complétant les zones dans les cadres en pointillés du document réponse **DR3**. **Indiquer** aussi dans le cadre prévu le rôle du bloc entouré sur le document réponse.



Le bloc K2 sert à modéliser un débit de particule entrant dans le bâtiment proportionnel à l'écart entre le taux de particules intérieur et extérieur.

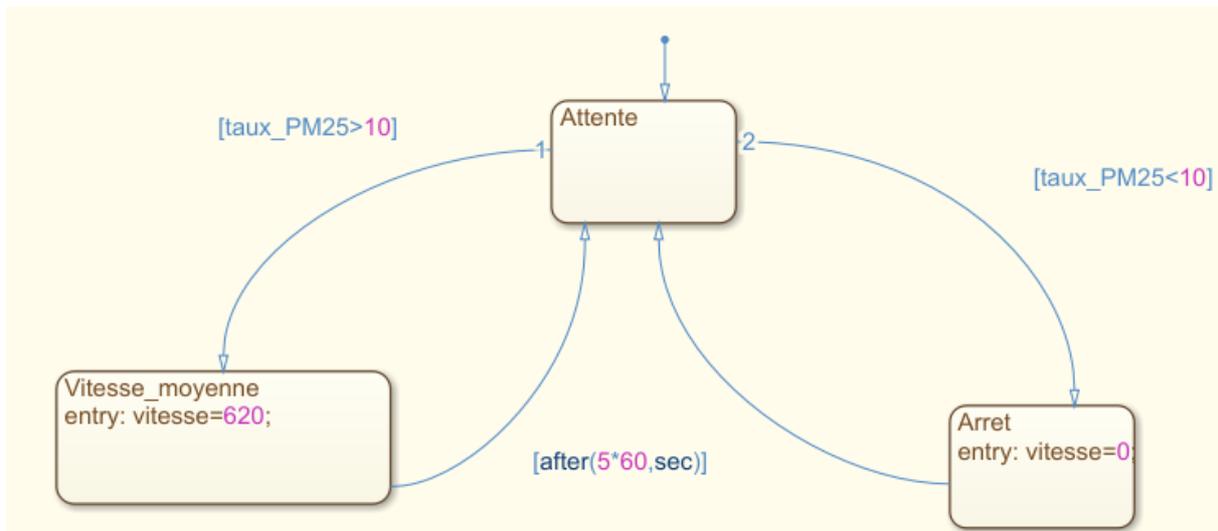
Question 32 : **Indiquer** pourquoi le taux de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n'est pas toujours atteint. **Prévoir** l'effet du gain  $Kp$  sur la consommation énergétique. Par analyse de la courbe de vitesse (courbe 2 – DT12), **indiquer** pourquoi cette stratégie a un effet négatif sur le confort de l'utilisateur.

Le fait d'avoir une vitesse seuil de 50 rad/s fait que tant que l'écart n'est pas supérieur à  $50/Kp$  le système ne démarre pas, ce qui explique les dépassements du taux autorisé (notamment pour des faibles valeurs de  $Kp$ )

L'augmentation de  $Kp$  permet de limiter ces dépassements, mais risque d'augmenter la consommation en énergie car le moteur fonctionnera toujours dans des plages de vitesses élevées, mais sera sujet à des arrêts et redémarrages très fréquents (parfois même si rapides que le moteur n'aura pas le temps d'atteindre sa vitesse de consigne).

Ce fonctionnement conduit à des arrêts et redémarrage fréquents du moteur ce qui va faire un bruit variable dans la pièce et sera pénible pour les usagers.

Question 33 : **Compléter** le graphe d'état de la seconde page du document réponse **DR3**.  
*Le respect de la syntaxe ne sera pas évalué.*



Question 34 : À partir de l'analyse des courbes obtenues par simulation (simulation 2 du document **DT12 page 2**), **déterminer** la consommation énergétique en kWh sur une journée de travail (7h-19h). **Valider** le respect des exigences 1.1.1 et 1.4 dans le cadre de l'étude.

D'après le document DR3, les courbes 3 du DT2/2 sont d'une part la puissance consommée (en W) et d'autre part l'énergie (en kJ) (intégration de la puissance).

On lit sur la courbe donnant l'énergie dépensée, qu'au bout de 12h l'énergie dépensée est de 28kW.s (kJ), soit 7,8W.h.

La simulation a été faite dans une pièce de 42 m<sup>2</sup> (1 seule unité de confort).

On obtient donc : 0.18W.h/m<sup>2</sup>/jour; soit 68W.h/m<sup>2</sup>/an

On est donc bien en dessous des 1500W.h/m<sup>2</sup>/an du cahier des charges.

La courbe 1 donne le taux de particules fines obtenu : on est en dessous du seuil imposé de 10µg/m<sup>3</sup>. L'exigence 1.4 est donc validée.

Question 35 : **Calculer** le gain énergétique pour l'ensemble du plateau 1 de la stratégie « Smart CIATControl » sur une journée (7h-19h) par rapport à une stratégie où le système serait mis en route en permanence à vitesse moyenne. **Indiquer** qualitativement le bénéfice acoustique.

Sur 12h en vitesse moyenne : puissance de 9W d'où 114W.h. Gain de 106W.h. Le système fonctionne bien moins longtemps d'où bénéfice acoustique.

Question 36 : **Analyser** l'ensemble des 6 parties du sujet et **conclure** sur l'intérêt du système au regard des contraintes de qualité de l'air.

Le sujet évoque les enjeux en lien avec la santé et la contradiction entre le fait de vouloir rendre « étanche » une habitation pour diminuer sa consommation énergétique et le renouvellement de l'air intérieur. La première partie consiste à comparer différents dispositifs pour mettre en évidence l'impact sur la qualité de l'air intérieur ou la consommation énergétique. L'élément le plus nocif étant le taux de particules fines, les parties 2, 3 et 4 permettent de caractériser la qualité de l'air à partir de ce taux puis de valider la solution proposée par l'entreprise au regard de la qualité de l'air, mais également de l'impact acoustique.

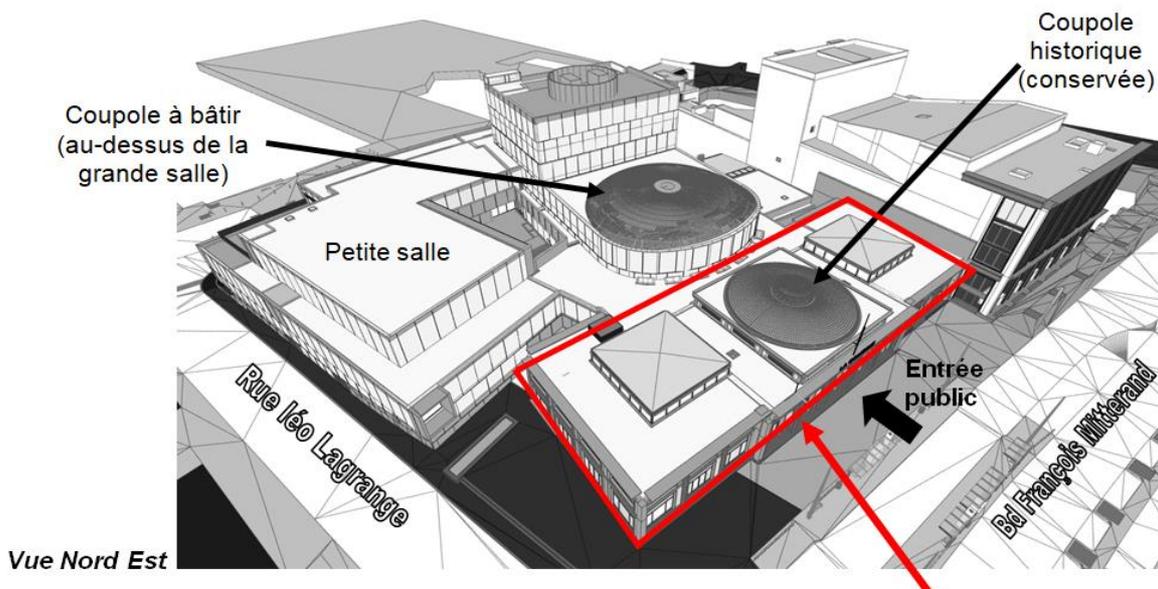
Pour conclure, au vu des contradictions évoquées, le système proposé apporte une partie de la réponse en permettant le traitement de l'air intérieur sans apport d'air extérieur et donc sans perte énergétique due à une entrée d'air extérieur, mais le système a besoin tout de même d'une énergie pour fonctionner. Une gestion globale (étanchéité, flux d'air extérieur, flux d'air intérieur) est à envisager avec une priorité sur la qualité de l'air, car c'est un élément lié à la santé, accompagnée d'une optimisation pour dépenser le moins possible d'énergie.

#### 4. Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation (durée : 4 heures, coefficient : 1)

##### Présentation du sujet

---

Le sujet porte sur la réalisation de la scène nationale de Clermont-Ferrand. Le projet est situé au niveau de l'ancienne gare routière de la ville qui fera l'objet d'une rénovation, avec une extension en arrière de bâtiments neufs.



Le sujet se décompose en quatre parties permettant d'évaluer des compétences dans les domaines de la structure et de l'énergie :

- L'étude 1 porte sur le dimensionnement du système de rétention et restitution des eaux pluviales en site urbain
- L'étude 2 s'intéresse à la réhabilitation de l'ancienne gare en proposant de vérifier la partie structurale du bâtiment en vue de sa future utilisation ;
- L'étude 3 propose d'étudier la coupole à bâtir au niveau de la grande salle tant de point de vue structurel, qu'acoustique et thermique ;
- L'étude 4 porte sur le traitement de l'air de cette grande salle.

Progressif dans le questionnement, ce sujet donne l'occasion aux candidats de démontrer leurs capacités d'analyse et d'argumentations dans un contexte scientifique et technologique du niveau de l'agrégation.

##### **Analyse globale des résultats**

---

Peu de candidats obtiennent la moyenne à cette épreuve alors qu'il s'agit d'une épreuve de spécialité. De trop nombreux candidats montrent de réelles difficultés à appréhender les questionnements évaluant des compétences scientifiques. La moyenne obtenue à l'épreuve reste faible. Le jury regrette que de trop nombreux candidats choisissent de n'aborder que les parties correspondant à leur spécialité : structure et ouvrages ou thermique et énergétique. Dans chaque étude, le questionnement est de difficulté graduelle, et chaque candidat à l'agrégation option IC,

qu'il soit spécialisé ou non, doit pouvoir appréhender la problématique de chaque étude et traiter au moins une partie du questionnement. Le jury invite donc les candidats les plus spécialisés à s'ouvrir plus aux domaines connexes de l'ingénierie des constructions et à compléter leurs connaissances sur ces thèmes.

Pour la majorité des questions, en complément des résultats de calculs proprement dits, il était demandé de justifier les choix effectués, les calculs réalisés et d'analyser et commenter les résultats obtenus. De trop nombreuses copies sont mal rédigées, que ce soit sur la forme (graphisme, qualité des schémas : proportions, cotation, clarté), ou pour ce qui est de la rigueur des calculs menés (exactitude, cohérence des unités, analyse des ordres de grandeur), ce qui semble refléter un manque de prise de recul et de hauteur dans les démarches engagées.

Enfin la syntaxe et l'orthographe sont trop souvent très perfectibles, eu égard aux attendus d'un concours de recrutement de futurs professeurs agrégés. Pour répondre aux questions « ouvertes », les candidats doivent impérativement faire preuve d'esprit de synthèse, en hiérarchisant les éléments essentiels vis-à-vis des éléments « accessoires », et en exprimant clairement leur argumentation.

Le jury rappelle que le concours de l'agrégation nécessite une préparation soutenue aux épreuves.



Moyenne à l'épreuve : 7,5/20

## Commentaires sur chaque partie du sujet

---

### Étude 1 :

Cette partie pouvait être traitée facilement car il s'agissait avant tout d'analyser les documents techniques et les informations fournies. L'étude consistait à dimensionner le volume nécessaire et à valider la solution technique retenue d'un bassin de rétention enterré. Un certain nombre de candidats a su tirer profit de cette partie. Seulement 9 % des candidats n'ont pas du tout abordé cette partie. La correction a par ailleurs mis en évidence qu'une proportion significative des candidats n'était pas à l'aise avec des compétences de base, telles que les calculs élémentaires de volume et de côtes. Néanmoins, 42% des candidats ont obtenu au moins la moitié des points.

## Étude 2 :

Après une étude de la charge à reprendre par la structure béton armé existante, le candidat devait vérifier que la poutre en béton armé en place ne permettait pas de reprendre les nouvelles charges et devait proposer des solutions permettant de renforcer cette poutre vis-à-vis de la résistance mécanique et vis-à-vis du risque incendie. Les calculs demandés n'étaient pas compliqués mais nécessitaient un minimum de connaissance du dimensionnement du béton armé en flexion simple et de connaissances techniques sur la reprise des charges en flexion. 27% des candidats n'ont pas traité cette étude et seuls 5% des candidats ont obtenu la moitié des points, révélant une méconnaissance des notions de base de béton armé.

## Étude 3 :

Cette étude s'intéressait dans un premier temps à l'analyse structurale de la modélisation retenue pour la coupole, à la vérification de sa flèche globale et à la vérification en contrainte normale de la poutre métallique en flexion déviée. Dans un second temps, une analyse acoustique permettait de justifier la forme de la coupole. La troisième partie de cette étude consistait ensuite de justifier les choix de l'isolation thermique de la coupole et de la sur-ventilation nocturne de la salle après une analyse thermique de la salle. 15% des candidats n'ont pas traité cette étude et seuls 16% des candidats ont obtenu la moitié des points.

## Étude 4 :

L'étude était axée sur l'étude du traitement de l'air de la grande salle tant d'un point de vue technique (justification des choix techniques) que sur les calculs scientifiques de la puissance des batteries ou le débit de soufflage. 35% des candidats n'ont pas traité cette partie et seuls 21% des candidats ont obtenu la moitié des points.

## Éléments de correction de l'épreuve

---

### ÉTUDE 1 : bassin de rétention des eaux pluviales

**Question 1 - Citer d'autres moyens de rétention des eaux en analysant leurs avantages et leurs inconvénients. Justifier dans le cas de la grande scène le choix de la solution enterrée.**

1 – Zone de stockage sur toiture :

- possible dans le cas de toiture terrasse, seule une partie de l'ouvrage pourrait être concernée.
- Surcharge plus ou moins importante selon l'ouvrage.

2 – Bassin ouvert extérieur :

- Impossible dans notre cas par manque de surface au sol (solution à éviter dans les zones très urbanisées).
- Coût moins élevé que les autres solutions.

*La solution des bassins enterrés limite l'impact sur la structure et l'emprise au sol dans notre cas.*

**Question 2 - À partir des cotes indiquées sur le DT01, estimer la surface globale de l'impluvium (surface recevant les eaux de pluie).**

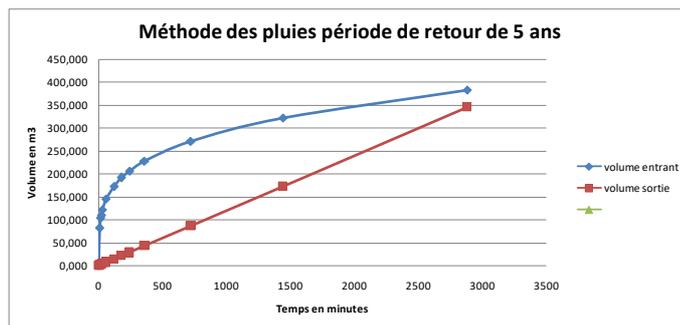
Surface approximative de l'impluvium :  $(70,770 + 103,510)/2 * (91,670 + 91,140)/2 = 7965 \text{ m}^2$

**Question 3 - Par une première approche, on considérera un coefficient de ruissellement de 0,9 pour l'ensemble des surfaces de l'impluvium. Que pensez-vous de cette valeur et quelles pourraient-être les corrections à apporter de manière à obtenir un calcul plus précis ?**

*Le coefficient de ruissellement moyen à prendre en compte correspond à des surfaces étanchées. C'est le cas pour une grande partie des surfaces du projet concernées par la récupération des eaux (valeur cohérente pour une première approche).*

*Pour un calcul plus précis, il serait nécessaire de différencier toutes les surfaces par type (toiture terrasse, terrasse végétale, espace vert, stabilisé...)*

**Question 4 - Afin de calculer le volume du dispositif de retenue/restitution des eaux, on utilisera la méthode de Montana dont les coefficients pour la ville de Clermont-Ferrand et pour une période de retour de 5 ans sont  $a = 7.3$  et  $b = 0,75$ . Après avoir justifié les calculs dans un tableau, tracer les courbes représentant (en fonction du temps) : les volumes entrants, les volumes sortants.**



*Courbes tracées à partir du tableau suivant :*

	C	Surface Ha	Surface active
Surface imperméable	0,9	0,7965	0,71685
Surface totale		0,7965	0,71685 ha 7168,5 m <sup>2</sup>

Coefficient moyen 0,9  
Débit de fuite autorisé 2 l/s  
0,002 m<sup>3</sup>/s  
qs 0,0167 mm/min

Période de retour de 5 ans	a	b
Coefficients de montana	7,3	0,75

Période de retour 5 ans			
Temps	volume entrant	volume sortie	différence V
min	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
0	0,000	0,000	0,000
6	81,901	0,720	81,181
15	102,985	1,800	101,185
20	110,665	2,400	108,265
30	122,470	3,600	118,870
60	145,643	7,200	138,443
120	173,199	14,400	158,799
180	191,677	21,600	170,077
240	205,970	28,800	177,170
360	227,943	43,200	<b>184,743</b>
720	271,072	86,400	184,672
1440	322,360	172,800	149,560
2880	383,353	345,600	37,753

maximum 184,743  
coefficient sécurité 1,2  
Volume bassin 221,692 [m<sup>3</sup>]

**Question 5 - Par une méthode au choix, donner la valeur de tc qui correspond au remplissage maximum du bassin. En prenant un coefficient de sécurité de 20 %, déterminer le volume utile du bassin.**

A 360 min, on obtient un volume de 184.743 m<sup>3</sup> (Cf tableau question 4 ci-dessus)

Finalement, avec le coefficient de sécurité : 1.2 \* 184.743 = 221.692 m<sup>3</sup>

**Question 6 - Le C.C.T.P. demande un volume utile de 250 m<sup>3</sup>. Commenter l'écart trouvé avec la réponse à la question 5.**

Coefficient de ruissellement à affiner.

Temps de retour de 10 ans voire plus à envisager.

**Question 7 - On prévoit de positionner les matériels type Q-BIC Wavin sous la cours de service (voir DT02 et DT03). Étudier la possibilité de réaliser ce bassin dans l'espace donné en complétant la vue en plan schématique et la coupe A-A schématique du DR01.**

Nombre d'éléments pour 250 m<sup>3</sup> :

250 m<sup>3</sup> / 0.416 m<sup>3</sup> utile = 601 éléments

Surface nécessaire (réflexion) :

1- Hypothèse, pour 1 élément en hauteur : 600 \* 1.200 \* 0.600 = 432 m<sup>2</sup>  
soit (25 élé 0.600 \* 25 élé 1.200), (15.000 m \* 30.000 m), 625 éléments (Cela ne passe pas en emprise)

2- Hypothèse, pour 2 éléments en hauteur : 600 \* 1.200 \* 0.600 / 2 = 216 m<sup>2</sup>  
soit (20 élé 0.600 \* 15 élé 1.200), (12.000 m \* 18.000 m) = 216 m<sup>2</sup> (Solution trop juste par rapport au bâtiment et aux fondations sous-jacentes)

3- Hypothèse, pour 3 éléments en hauteur :  $600 * 1.200 * 0.600 / 3 = 144 \text{ m}^2$   
soit (16 élé 0.600 \* 13 élé 1.200), (9.600 m \* 15.600 m) = 150 m<sup>2</sup> (Solution tracée sur le document réponse)

Hauteur de la structure 3 éléments \* 0.600 m de hauteur effective = 1.800 m.

Hauteur de remblai minimum sur les éléments : 0.800 m (zone de déchargement des camions).

Après tracé, le niveau inférieur du bassin est à 377.08 m au minimum.

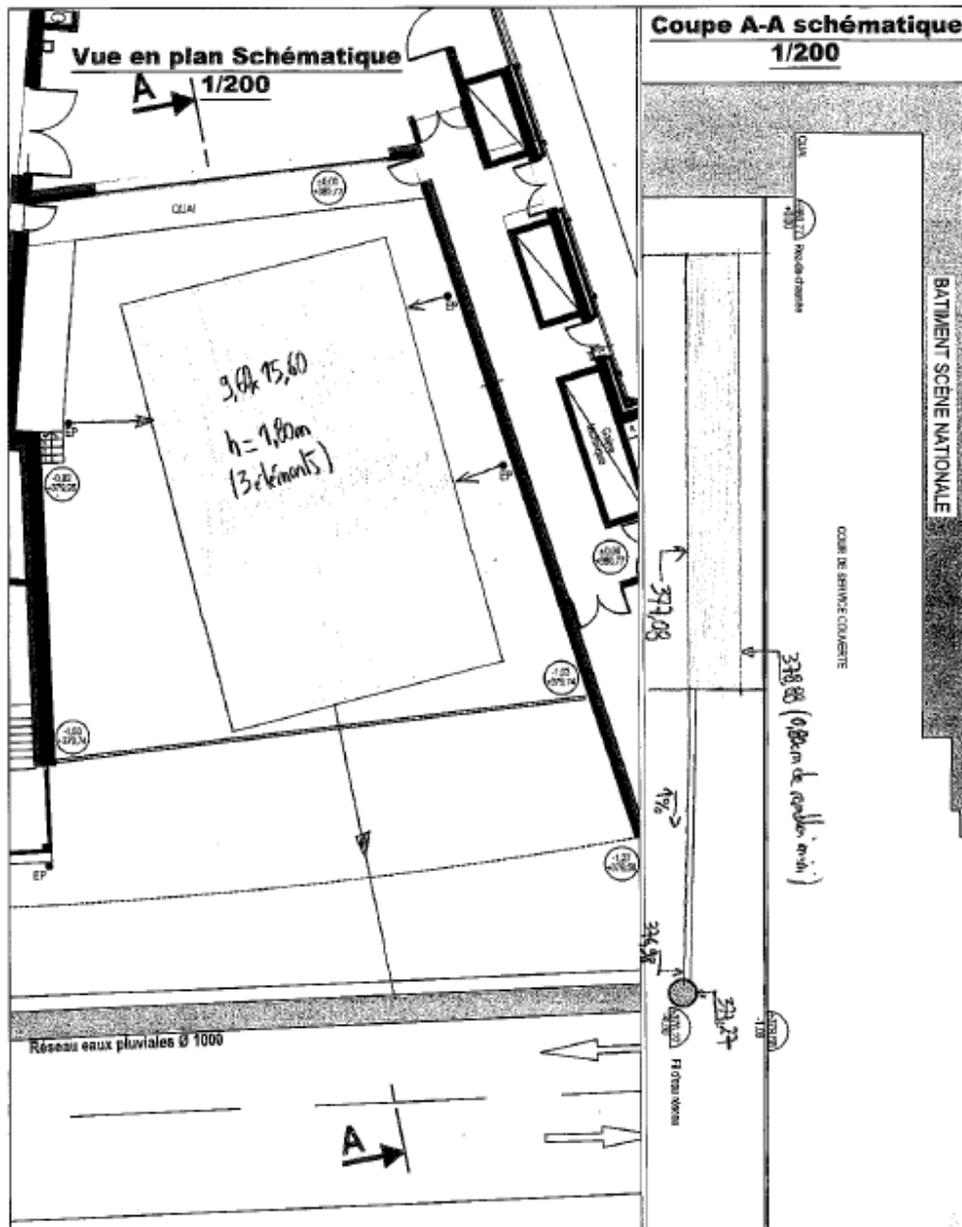
Le niveau supérieur du réseau est à 377.27 m.

Nous aurons donc impossibilité de connecter correctement le bassin dans la partie supérieure du réseau.

Au mieux en considérant une pente de 1%, la connexion peut se faire à 376.98 m.

Il y a risque de refoulement dans notre bassin.

Cette solution ne donne donc pas de marge de réalisation.



**Question 8 - En définitive, le bureau d'études préconise de positionner deux bassins (150 m<sup>3</sup> dans la cour de service et 100 m<sup>3</sup> sous la terrasse de la brasserie). Commenter ce choix.**

*Cette solution permet notamment de limiter la distribution des réseaux d'eaux pluviales à l'intérieur de l'ouvrage (réseau plus court et moins coûteux). Ceci ne changeant pas le débit impactant le réseau de la ville.*

## ÉTUDE 2 : analyse de la structure existante en béton armé

**Question 9 - Déterminer la charge permanente g linéique que doit reprendre la poutre (les impacts des niveaux supérieurs s'appliquent uniquement sur les porteurs verticaux). Utiliser pour cela les DT04 et DT05**

On précise :

- Béton armé C25/30 :  $f_{ck} = 25$   
MPa
- Poids volumique du béton :  $\gamma_{B.A.} = 25$   
 $kN/m^3$
- Poids volumique de la chape :  $\gamma_{Chape} = 22$   
 $kN/m^3$
- Charges permanentes supplémentaires à prendre en compte :  $0,5 kN/m^2$

Long. Dalle file D-C =  $(5,800 - 0,300/2 - 0,300/2)/2$       2,600      m  
 Long. Dalle file C-B' =  $(5,200 - 0,300/2 - 0,200/2)/2$       2,350      m  
 Larg. Poutre      0,300      m

Surface appliquée de dalle pour 1 m de longueur de poutre      5,25       $m^2$

Ration de nervure par m de longueur de poutre      1,000      0,890      1,124

Charges permanentes appliquées par ml de poutre	Surf. L.	L. l.	Ép. H.	Coeff.	Charg.	Tot.
Chappe existante conservée	5,25	1	0,080		22	9,240
Dalle existante	5,25	1	0,070		25	9,188
Nervure (simplification des charges ponctuelles)	4,950	0,105	0,160	1,124	25	2,336
Retombée de poutre	0,300	1	0,380		25	2,850
Charges permanentes supplémentaires	5,25	1			0,5	2,625
					<b>TOTAL</b>	<b>26,238</b> <i>kN/m</i>

**Question 10 - À partir du DT08, déterminer les moments maximum dus aux charges permanentes dans chacune des travées ainsi que leurs positions.**

Travée T.01 :

Moment maximum sur le cas n°1 :  $3.470 kN.m$  (pour  $1 kN/m$ ) \*  $26.238 = 91.05 kN.m$

Position par rapport à l'axe de V0 (calcul vrai pour n'importe quelle charge) :  $S2 * 3.470 / 1 = 2.634 m$

Travée T.02 :

Moment maximum sur le cas n°1 :  $0.729 kN.m$  (pour  $1 kN/m$ ) \*  $26.238 = 19.13 kN.m$

Position par rapport à l'axe de P1 (calcul vrai pour n'importe quelle charge) :  $S2 * (0.729 + 4.120) / 1 = 3.114 m$

Travée T.03 :

Moment maximum sur le cas n°1 :  $2.625 kN.m$  (pour  $1 kN/m$ ) \*  $26.238 = 68.87 kN.m$

Position par rapport à l'axe de P2 (calcul vrai pour n'importe quelle charge) :  $5.69 - S2 * 2.625 / 1 = 3.399 m$

**Question 11 - À partir des diagrammes des déformations et contraintes rappelés ci-dessous, écrire les équations d'équilibre afin de déterminer de manière littérale :**

- $y_u$ ,
- $M_u$  (moment réglementaire à l'état limite ultime que peut reprendre cette poutre).

Diagramme de répartition des déformations

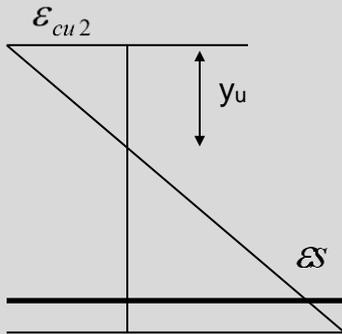
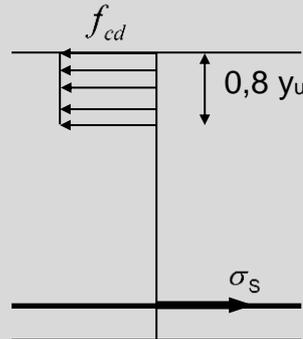


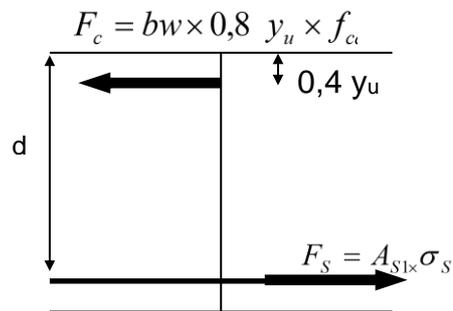
Diagramme de répartition des contraintes



- les aciers travaillent en zone plastique donc  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$  avec  $\gamma_s = 1,15$
- la contrainte dans le béton est égale à  $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$  avec  $\gamma_c = 1,5$

Efforts sur le béton  $F_c = b_w \times 0,8 y_u \times f_{cd}$

Efforts sur les aciers  $F_s = A_{s1} \times \sigma_s$



Équation de détermination de  $y_u$

Dans la section, les efforts dans le béton et les aciers doivent s'équilibrer : on doit donc avoir  $F_c = F_s$

$$b_w \times 0,8 y_u \times f_{cd} = A_{s1} \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad \text{-----} \quad y_u = \frac{A_{s1} \times f_{yk}}{0,8 \times b_w \times f_{cd}} \quad \text{-----} \quad \boxed{y_u = \frac{A_{s1} \times f_{yk}}{0,8 \times \gamma_s \times b_w \times f_{cd}}}$$

On a donc

Équation de détermination du moment ultime :

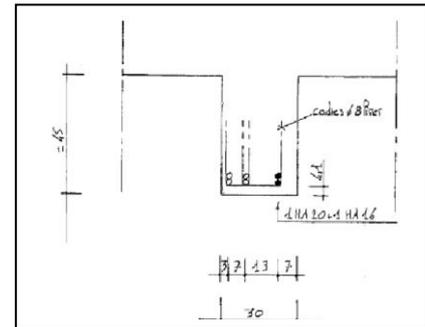
$$M_u = F_c \times (d - 0,4 y_u)$$

$$\boxed{M_u = A_{s1} \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times (d - 0,4 y_u)}$$

**Question 12 - En se limitant à l'étude des moments en travée, calculer la valeur du maximal à l'ELU  $M_{max}$  que peut reprendre cette poutre.**

A partir du diagnostic structurel, on constate les éléments suivants :

- 3HA20 en 1er lit + 3HA16 en 2ième lit ( $A_t = 15,45 \text{ cm}^2$ ).
- un béton de classe C25/30
- des aciers HA Fe E400 (aciers longitudinaux),
- des aciers lisses Fe E235 (aciers transversaux).



Calcul de la valeur de  $y_u$

$$y_u = (15.45 \cdot 10^{-4} \cdot 400) / (0.8 \cdot 1.15 \cdot 0.300 \cdot 25 / 1.5)$$

$$y_u = 0.134 \text{ m}$$

Calcul du moment ultime :

$$\text{Calcul : } d = 0.450 - 0.041 - (\text{env} 0.018) = 0.391 \text{ m}$$

On ne tient pas compte des problèmes d'enrobage pour effectuer cette évaluation.

$$M_u = 15.45 \cdot 10^{-4} \cdot 400 / 1.15 \cdot (0.391 - 0.4 \cdot 0.134) \text{ donc } M_u = 0.181 \text{ MN.m}$$

**Question 13 - À partir du DT08, d'une réflexion graphique et des résultats précédemment obtenus, évaluer les moments maximums possibles dus aux charges d'exploitations que peut reprendre cette poutre (on rappelle que le calcul sera mené à l'ELU,  $M_u = 1,35M_g + 1,5M_q$ ). (On peut donner une valeur numérique pour le moment ultime à prendre en compte pour la suite des questions)**

$$M_u = 1,35M_g + 1,5M_q \text{ soit } M_q = (M_u - 1,35M_g) / 1,5$$

$$M_{qmax} = (181 - 1,35 \cdot 91,05) / 1,5 \text{ donc } M_{qmax} = 38,72 \text{ kN.m}$$

**Question 14 - Quelle est l'imprécision de cette méthode. Commenter.**

On applique ici le principe de superposition des chargements. Les résultats restent approximatifs, car les abscisses des moments maximum (par exemple cas 1 et 4) ne sont pas les mêmes. On peut adopter néanmoins cette méthode pour une première évaluation.

On raisonne sur un comportement élastique alors que le béton peut-être déjà bien fissuré.

Nous ne sommes pas sûr de la limite élastique de l'acier.

**Question 15 - Évaluer maintenant la charge d'exploitation possible linéique, puis surfacique.**

**Les Eurocodes imposent pour cette structure une charge d'exploitation de 250 daN/m<sup>2</sup>. Conclusion.**

$M_{qmax} = 38,72 \text{ kN.m}$  dans la travée T.01, c'est la plus sollicitée au regard des courbes fournis.

On applique le même principe que pour la question 10.

Travée T.01 :

Charges d'exploitation maximale à partir du cas n°1 au mètre de longueur de poutre :  $38,72 \text{ kN.m} / 4,162 \text{ kN.m}$  (équivalent unitaire) =  $9,30 \text{ kN.m}$

Charges d'exploitation maximale :  $9,30 / 5,25 \text{ m}^2 = 1,77 \text{ kN.m}$

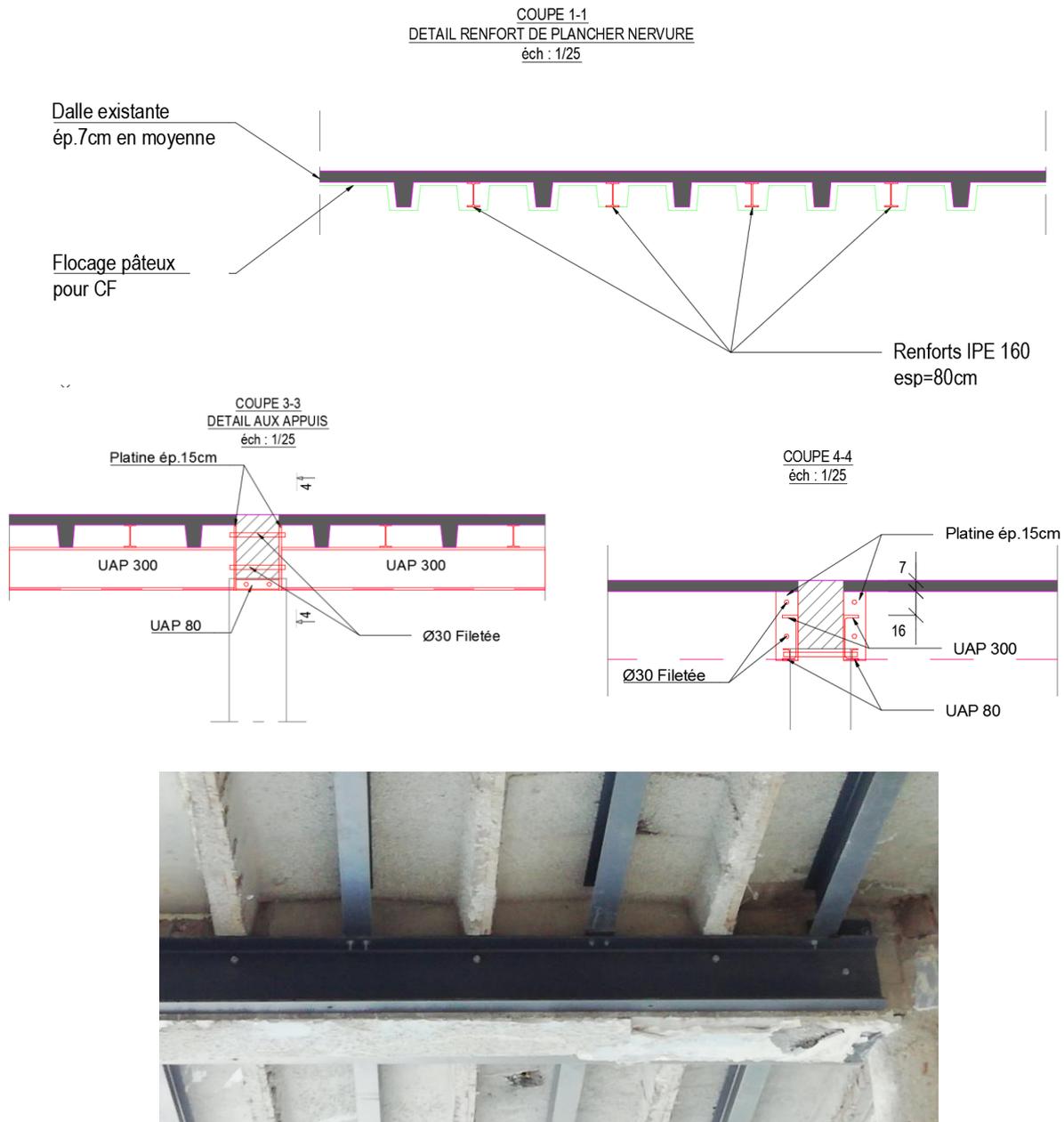
Conclusion, la charge d'exploitation de 250 daN/m<sup>2</sup> de pourra pas être reprise (maximum : 177 daN/m<sup>2</sup>).

*De plus ce calcul ne tient pas compte des contraintes d'enrobage, qui ne sont pas toujours respectées et des contraintes dues à la résistance au feu.  
Il est donc impératif de proposer des solutions pour renforcer la structure.*

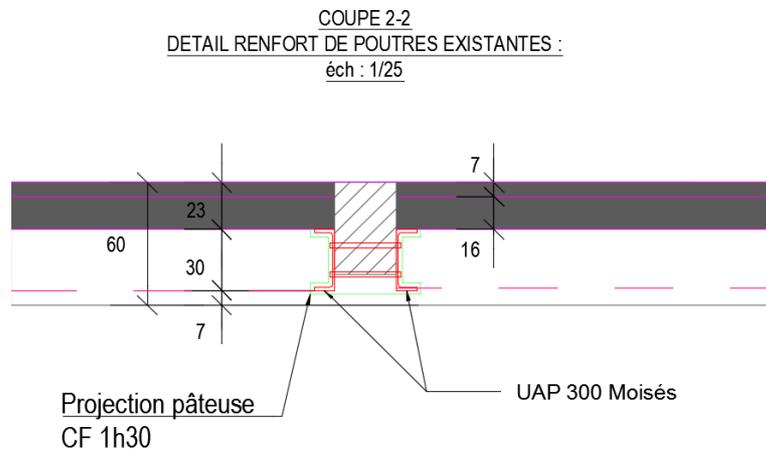
**Question 16 - En revenant sur l'analyse globale de la poutre en travée et sur appuis, il s'avère que cette dernière n'a pas la résistance souhaitée. Proposer par des croquis détaillés, des solutions en travée et sur appui permettant de palier le problème.**

*Solution 1 : Renforts en carbone sur une grande partie de la structure.*

*Solution 2 : Doublage de la structure béton par une en acier.*



**Question 17 - Le diagnostic structurel met en évidence des enrobages insuffisants vis-à-vis des nouvelles normes de construction et notamment de la protection incendie. Proposer des solutions réparatrices.**



### ÉTUDE 3 : étude de la coupole et du proscenium

#### 3-1 Analyse structurelle de la coupole

**Question 18 - Quels sont les avantages et inconvénients des liaisons choisies par le bureau d'études vis-à-vis :**

	Influence sur ...	
Solution	Voiles BA sous jacents	Charpente métallique
Articulation (solution retenue)	Pas de transfert de moment de flexion en tête (armatures simplifiées dans le voile)	Sollicitations plus importantes dans la partie centrale Flèche plus importante 8.44 cm
Encastrement (solution abandonnée)	Transfert de moment en tête (armatures en conséquence). Le voile travaille en flexion composée	Moins de sollicitations en partie centrale. Flèche moins importante 5.18 cm

**Question 19 - La flèche globale sur la structure est limitée à L/300. À partir du plan béton fourni DT09 évaluer cette flèche limite. Conclure quant à la validité des flèches obtenues sur le modèle du bureau d'études.**

Flèche admissible :  $2292 \text{ cm} / 300 = 7.64 \text{ cm}$  (ou moins)

Flèche maxi lue sur le modèle : 8.44 cm

La solution retenue par le bureau d'étude n'est pas satisfaisante à ce moment de la pré-étude. Il faudra certainement modifier les profilés métalliques choisis.

#### 3-2 Vérification de la poutre 76 en HEA 280 en S275

**Question 20 - Vérifier le profilé vis-à-vis des contraintes normales dans la section la plus sollicitée. Dans le domaine élastique.**

Située à environ 6.000 m - 6.200 m de l'appui de gauche.

Combinaison des sollicitations la plus défavorable.

### Détailler le calcul de résistance des matériaux

On retiendra dans le calcul la situation de flexion composée déviée qui prend en compte l'effort normal  $F_x$ , le moment fléchissant  $M_y$  (autour de l'axe principal) et le moment fléchissant  $M_z$  (autour de l'axe secondaire vertical).

Les valeurs retenues sont dans le tableau ci-dessous

$F_x$	$M_y$	$M_z$
kN	kN.m	kN.m
52,9	-138,9	7,26
A	$I_y$	$I_z$
cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
97,26	13670	4763

Contrainte sup droite	5,439	137,173	-21,339	121,272 MPa
Contrainte sup gauche	5,439	137,173	21,339	163,951 MPa
Contrainte inf droite	5,439	-137,173	-21,339	-153,073 MPa
Contrainte inf gauche	5,439	-137,173	21,339	-110,394 MPa

### Conclure quand à la résistance de ce profilé vis-à-vis des contraintes normales.

La contrainte normale maximum est de 164 MPa, bien en dessous de la valeur maximale S275.

La vérification est ok. (elle le serait aussi à l'eurocode car le cas de charge tiens compte de l'ensemble combinaisons ELU et le  $\gamma_{Mo}=1.1$ )

### Question 21 - Sur ce profilé, quels seraient les autres critères à prendre en compte pour valider pleinement son choix.

Vérification :

- des efforts tranchants,
- de la torsion,
- de la flèche,
- des limites de déplacements (latéraux),
- flambement.

### 3-3 Analyse acoustique de la coupole

### Question 22 - Lister l'ensemble des bruits extérieurs que la coupole doit isoler et leur mode de propagation, indiquer le traitement acoustique envisagé dans la conception de la paroi.

2 types de bruits :

- Bruits aériens (circulation, météo, ...) => absorption du bruit grâce à des matériaux denses et fibreux (laine minérale), ici l'utilisation de parois lourdes n'est pas possible
- Bruits d'impacts (pluie) => limitation de la transmission des bruits d'impacts par déconnexion des différentes surfaces (plafonds suspendus)

**Question 23 - À partir de l'étude acoustique des réflexions sonores dans la grande salle, justifier la forme particulière de la coupole.**

*Pour qu'une voix soit intelligible, il est nécessaire que celle-ci soit reçue par l'auditeur de manière directe mais aussi grâce à une ou plusieurs réflexions, le retard des sons réverbérés améliore la compréhension.*

*La scène nationale de Clermont-Ferrand doit pouvoir accueillir des spectacles non amplifiés, à ce titre on essaye de faciliter la réflexion sonore en installant des écrans acoustiques et en optimisant la forme de la coupole.*

3-4 Analyse thermique de la coupole

**Question 24 - Dans le document DT11, le rayonnement diffus est distingué du rayonnement direct, quel est l'intérêt de réaliser une simulation thermique dynamique sur ce projet ?**

*Le rayonnement diffus est distingué du rayonnement direct car les contraintes géométriques du bâtiment sont prises en compte. Ainsi, le rayonnement diffus est permanent alors que le rayonnement direct dépend de la zone éclairée. La simulation dynamique permet de prendre en compte l'ensemble de ces paramètres en fonction du temps et évite de devoir prendre en compte des cas très défavorables parfois assez éloignés de la réalité.*

**Question 25 - Dans la modélisation thermique, la forme de la coupole a été simplifiée et devient une sphère (voir DT09), justifier les termes suivants « La géométrie [...] a dû être simplifiée. Ces différences ne remettent pas en cause les résultats obtenus ».**

*La forme de la coupole a été simplifiée afin de pouvoir être modélisée dans le logiciel, cela a peu d'incidence car la forme éclairée est très proche.*

**Question 26 - Justifier l'incidence des paramètres suivants : G\_Gh, G\_Dh, Ta, FF, DD, Lg, RR, RH dans la simulation thermique dynamique du bâtiment**

*G\_Gh : rayonnement direct solaire en  $W/m^2$ , quantité d'énergie solaire reçue directement par le bâtiment, influe sur les consommations énergétiques du bâtiment mais aussi sur le confort d'été*

*G\_Dh : rayonnement solaire diffus en  $W/m^2$ , quantité d'énergie solaire reçue indirectement par le bâtiment, influe sur les consommations énergétiques du bâtiment mais aussi sur le confort d'été*

*Ta : température de l'air en  $^{\circ}C$ , influe sur les déperditions et les apertions*

*FF : vitesse du vent en  $m/s$ , influe sur le coefficient de convection des parois extérieures et sur la perméabilité à l'air*

*DD : direction du vent en  $^{\circ}$ , influe sur le coefficient de convection des parois extérieures et sur la perméabilité à l'air*

*Lg : luminance globale en Lux, influe sur la quantité de lumière pénétrant dans le bâtiment et indirectement sur les besoins d'éclairage artificielle*

*RR : précipitation en mm, influe sur le rafraîchissement des parois et donc sur les déperditions ou apertions*

*RH : humidité relative, influe sur les conditions du renouvellement d'air du bâtiment*

**Question 27 - À partir des DT13, DT14 et DT15 présentant les résultats des simulations thermiques dynamiques, justifier l'intérêt de la sur-ventilation nocturne dans le cas de ce bâtiment, déterminer l'économie d'énergie annuelle engendrée pour la totalité du bâtiment, indiquer l'impact sur les installations techniques nécessaires. Dans plusieurs scénarii, une dérive des conditions intérieures est prévue, justifier ce choix.**

*La sur-ventilation nocturne est surtout intéressante pour les locaux où les apports internes sont faibles et variables (circulation, annexe, ...), pour les locaux de spectacle, elle est même pénalisante à cause du surcoût dû à la ventilation.*

*La sur-ventilation nocturne permet de diminuer la puissance installée des systèmes énergétiques même si elle a un léger surcoût sur les systèmes de ventilation.*

*Les dérives de la température à l'intérieur du bâtiment peuvent être envisagées à condition qu'il s'agisse de pièce de circulation ou d'annexe. Dans le cadre des salles de spectacle, une température trop éloignée de celle de confort nuirait à la qualité de l'ambiance et au confort.*

**Question 28 - À partir des extraits de CCTP (DT12) présentant la paroi sud de la grande salle, indiquer par un schéma, les grandeurs à prendre en compte pour réaliser la simulation thermique, indiquer si quels paramètres sont invariants en fonction du temps.**

*R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub> en [W.m<sup>-2</sup>] (invariant)*

*e [m], Lambda [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>] isolant et parement (invariant)*

*φ solaire [W.m<sup>-2</sup>] (invariant)*

*Θ<sub>i</sub> et Θ<sub>e</sub> [°C] (invariant)*

**Question 29 - À partir du modèle simplifié précédent et le DT12, réaliser le bilan thermique pour une unité de surface de la paroi en régime permanent, déterminer les températures à chaque interface, on considérera que la paroi est uniquement composée d'isolant, justifier cette hypothèse.**

On peut déterminer les différents flux :

$\phi_e$  (flux sortant vers l'extérieur) :  $370 \text{ W.m}^{-2}$

$\phi_i$  (flux rentrant vers l'intérieur) :  $4.74 \text{ W.m}^{-2}$

$\Theta_1$  (température surface extérieure) :  $58.2 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Theta_2$  (température surface intérieure) :  $26.8 \text{ }^\circ\text{C}$

Cette situation est purement théorique mais permet d'identifier la situation la plus défavorable.

**Question 30 - En considérant les conditions météorologiques stables, déterminer le temps nécessaire pour atteindre le régime permanent ( $C_p = 2100 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho = 50 \text{ kg.m}^{-3}$ ), quelle grandeur caractérise ce temps ?**

On construit le modèle du mur sans rayonnement solaire en régime permanent

$\phi$  (flux rentrant vers l'intérieur) :  $1.46 \text{ W.m}^{-2}$

$\theta_1$  (température surface extérieure) :  $35.9 \text{ }^\circ\text{C}$

$\theta_2$  (température surface intérieure) :  $26.2 \text{ }^\circ\text{C}$

On peut considérer que le temps nécessaire à réchauffer le matériau est lié à la puissance échangée et à la capacité calorifique du matériau.

L'écart moyen de température entre ces deux situations stables (question 29 et 30) est de :  $42.5 - 31.05 = 11.45 \text{ }^\circ\text{C}$

La puissance apportée est de  $4.74 \text{ W}$  en régime permanent, on la considérera constante pendant la période d'échauffement.

M fibre de bois :  $13 \text{ kg}$

Quantité d'énergie captée :  $312585 \text{ J}$

Temps nécessaire pour réchauffer le matériau :  $65946 \text{ s}$  soit environ  $18 \text{ h}$

Pour augmenter l'inertie thermique, il est possible de rajouter un matériau lourd.

## ÉTUDE 4 : étude du traitement de l'air de la grande salle

**Question 31 - Justifier les choix techniques ci-dessous :**

- « Pré-filtre G4 » et « filtre F7 »,
- « récupération de type échangeur à roue de rendement 80% »,
- « des pièges à son sont positionnés au soufflage, à la reprise et sur les réseaux d'air neuf et de rejet. »,
- « supportages acoustiques des réseaux »,
- « des grilles de transfert sont positionnées en partie haute entre la cage de scène et la salle pour équilibrer les pressions en assurant un passage d'air quand le rideau est baissé. »

« Pré-filtre G4 » et « filtre F7 » : G4 pour gravitaire : filtre les grosses particules, F7 pour fin, filtre l'air pour les occupants

« Récupération de type échangeur à roue de rendement 80% » : récupération de chaleur et de l'humidité de l'air rejetée, permet des économies d'énergie

« Des pièges à son sont positionnés au soufflage, à la reprise et sur les réseaux d'air neuf et de rejet. » permettent de limiter la propagation des bruits d'équipement et de soufflage dans les gaines

« Supportages acoustiques des réseaux » évitent la transmission des vibrations aux structures porteuses

« Des grilles de transfert sont positionnées en partie haute entre la cage de scène et la salle pour équilibrer les pressions en assurant un passage d'air quand le rideau est baissé. » transfert de flux d'air entre les locaux

**Question 32 - Le CCTP indique : « dans le cas des salles de spectacle, les apports de chaleur par l'extérieur peuvent être négligés par rapport aux apports internes dus aux occupants et aux matériels, les dérives provoquées par ce choix restent acceptables dans les conditions évaluées », justifier cette hypothèse et la nécessité d'un traitement de l'air actif.**

*Les apports par les occupants sont bien supérieurs à ceux par les parois. Le déphasage thermique provoqué par l'isolant limite encore plus ces apports dans la journée.*

*Lorsque les salles sont occupées, ces apports sont élevés et immédiats, il est donc nécessaire de climatiser pour le confort des occupants.*

**Question 33 - Pour les conditions les plus défavorables, déterminer les charges thermiques et hydriques que devront traiter les CTA en été.**

*En été,*

*- 139 kW (900\*84+40\*84+60758)*

*- 20 g eau /s (77\*940/3600)*

**Question 34 - Déterminer la pente de la droite de soufflage en été, tracer celle-ci sur le DR2, déterminer le point de soufflage, le débit massique de soufflage et d'extraction (le local sera considéré à pression atmosphérique).**

*Conditions intérieures souhaitées  $T=26\text{ °C}$*

*$J = 139 / 20 = 6,95\text{ kJ/g eau}$*

*Point de soufflage ETE :  $21\text{ °C}$ ,  $45\text{ kJ/kgas}$*

*Débit de soufflage :  $Q_m = 139/8.5 = 16.35\text{ kgas/s}$  soit en première approximation :  $50000\text{ m}^3/\text{h}$*

**Question 35 - Les besoins en air neuf des occupants sont estimés à  $25\text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{pers}^{-1}$  (pair =  $1.2\text{ kgas.m}^{-3}$  en première approximation), lorsque la salle 900 est affichée complète (940 personnes. Dans le cas le plus défavorable, l'efficacité de l'échangeur rotatif est estimée à 80%, déterminer les caractéristiques de l'air à l'entrée de la batterie froide, en déduire la puissance de celle-ci. Pour un régime de  $[6-13\text{ °C}]$  et une entrée de l'air à  $28\text{ °C}$  et 50%, le constructeur indique que la puissance de la batterie froide est de 210 kW. Sera-t-elle adaptée ou faudra-t-il demander une modification en usine ?**

*940 personnes à  $25\text{ m}^3/\text{h}$  soit  $23500\text{ m}^3/\text{h}$*

© <https://www.devenirenseignant.gouv.fr>

Débit AN : 7.83 kgAN/s(23500/3600\*1.2)

PBF = 16.35 x (59-47) = 196 kW, la BF prévue est donc adaptée

**Question 36 - L'humidité n'étant pas contrôlée, les conditions intérieures risquent de changer. Déterminer les valeurs vers lesquelles,elles vont évoluer.**

Les conditions intérieures vont évoluer vers 26°C, 66%.

Nous serons donc en dehors de la zone de confort. Néanmoins cette configuration relativement rare ne devrait pas être top pénalisante.

**Question 37 - Les déperditions en hiver ont été estimées à 29855 W pour un air extérieur aux conditions suivantes (-7°C, 95%). Indiquer quelles conditions sont les plus défavorables et doivent être prises en compte, déterminer la puissance de la batterie chaude, aucun humidificateur n'est prévu dans la centrale de traitement de l'air, justifier ce choix.**

Conditions les plus défavorables : pas d'occupant donc pas de RA

DP = PBC = 30 kW

Cette situation est purement théorique, la présence humaine amènera de l'humidité et les récupérateurs de chaleur et d'humidité stabiliseront l'ambiance.

**Question 38 - Un certain nombre de précautions seront prises lors de l'installation des CTA de la salle 900, les justifier.**

Salle de concert donc installation silencieuse !

**Question 39 - Les préconisations acoustiques dans la salle 900 exigent de suivre la courbe NR15 (voir DT17), dans ces conditions est-ce le cas ? Quelles seraient vos préconisations ?**

f	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Lp	48	50	51	53	57	57	48	39
NR15	65.5	47	35	26	15	12	9	7.5
Atténuation	6	17	44	50	55	53	39	32
Lp avec Sil.	42	33	7	3	2	4	9	7
Régénération	52.5	47	44.5	43.5	42.5	41.5	37.5	32
Lp-10	38	40	41	43	47	47	38	29

2 conditions : Il faut que Lp avec Sil., soit inférieur à NR15 et que Lp-10 soit supérieur à régénération.

**Question 40 - Vérifier le dimensionnement du silencieux envisagé.**

Le silencieux proposé n'est pas adapté.

## 5. Épreuve de dossier technique et pédagogique

### Épreuve de dossier technique et pédagogique

Coefficient 1 – Durée 1 heure

#### Présentation de l'épreuve

- Durée de la préparation : 1 heure
- Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation n'excédant pas 30 minutes ; entretien avec le jury : 30 minutes au maximum)

L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un domaine de l'option préparée, suivie d'un entretien.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement. L'authenticité et l'**actualité** du support sont des éléments importants dans le choix du dossier présenté.

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles.

L'exposé et l'entretien permettent au jury d'apprécier la capacité du candidat :

- à faire une présentation construite et claire,
- à mettre en évidence les points remarquables et caractéristiques du dossier au travers d'une étude scientifique et technique,
- à mettre en valeur l'exploitation pédagogique faite à partir du dossier, dans le cadre d'un enseignement en lycée, en BTS ou en IUT.

Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et s'en faire préciser certains points.

Les éléments constitutifs du dossier sont précisés par note publiée sur le site internet du ministère chargé de l'Éducation nationale.

Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

#### Commentaires et conseils aux futurs candidats

La présentation des dossiers était très variable. Le jury est conscient qu'il n'y a pas de modèle unique tant les préoccupations peuvent être différentes. Cependant, le jury attend une présentation claire et concise du support et des problématiques développées. Le jury regrette la pauvreté et l'absence de justesse des développements scientifiques et technologiques. Les hypothèses d'études et de modélisation ne sont pas clairement définies, ce qui conduit parfois à des incohérences d'analyse. Il est rappelé que l'aspect modélisation et calcul n'a de sens que pour aboutir à la validation puis à la définition d'une solution technologique cohérente vis-à-vis de l'agrégation présentée.

Les candidats doivent veiller à proposer des dossiers dont les ressources et informations obtenues en entreprise sont suffisamment riches pour justifier les calculs et les solutions technologiques choisies.

Le jury pourra être amené à demander les documents originaux de l'entreprise. En cas d'informations mentionnées « confidentielles », le jury s'engage à ne pas les reproduire ou les divulguer à des personnes extérieures pour que cet aspect ne constitue pas un obstacle pour le candidat.

Le jury regrette le choix de certains dossiers qui commencent à dater. Une réalisation récente est attendue pour permettre de proposer des problématiques sociétales et des solutions techniques actuelles.

Voici quelques conseils pour la rédaction du dossier écrit :

- le dossier commence par une page de garde contenant, entre autres, un titre, le **nom du candidat** et son numéro d'inscription ;
- le numéro d'inscription du candidat est rappelé en pieds de page ;

- les plans de l'ouvrage support du dossier (propres et cotés) sont placés en annexe ;
- le plan du dossier peut avantageusement dégager **3 parties** :
  - la **première partie** contextualise et justifie l'**intérêt du dossier** support choisi ;
  - la **seconde partie** développe les **aspects techniques et scientifiques**. Une problématique technique doit être posée avant tout développement scientifique. En plus d'une description, des justificatifs sont produits (sur une variante par exemple) et montrent des connaissances calculatoires, réglementaires, techniques, environnementales applicables au dossier. Les hypothèses posées sont claires et les calculs sont pertinents au regard de la problématique à résoudre. Le modèle retenu doit être présenté au jury pour justifier les calculs menés. Des outils numériques peuvent avantageusement être utilisés, mais ne peuvent se substituer totalement à une véritable analyse présentée oralement ;
  - une **troisième partie** explique les **potentialités pédagogiques du dossier tant au niveau STI2D que BTS et IUT** voire CPGE, en veillant à ce que la spécialité soit une de celles potentiellement enseignées par un agrégé SII en ingénierie des constructions. Les candidats veilleront à présenter l'articulation des séances présentées avec les autres disciplines enseignées au lycée. Une exploitation pédagogique au choix du candidat doit être plus particulièrement détaillée. Le cadencement des séances, leurs durées, les prérequis, les objectifs, les modalités d'**évaluation** doivent être précisés et **des documents élève** doivent être présentés. Cette partie doit montrer une bonne maîtrise des programmes et des méthodes d'apprentissage.

Le candidat n'oubliera pas de préciser les contacts professionnels qu'il a développés grâce à ce travail.

Le jury a constaté la présence de dossiers sans aucun apport scientifique, ni technologique. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier **n'est pas suffisante**. De même, un travail ne s'appuyant pas sur un ouvrage concret est "hors sujet". La modélisation via un BIM (Building Information Model) est vivement encouragée.

Le candidat choisissant le thème de son dossier, il doit maîtriser le cadre réglementaire associé. Dans le même esprit, il est évident que le choix des photographies techniques présentées doit être réfléchi. Toute photographie peut amener un questionnement de la part des membres du jury sur des connaissances associées aux programmes dans lesquelles elles s'inscrivent. Les aspects technologiques ne sont pas toujours maîtrisés par les candidats, alors même qu'ils choisissent les photographies pour illustrer des points techniques, le risque est important, dès lors, de ne pas pouvoir justifier oralement tout ou partie des aspects techniques présentés.

Les exploitations pédagogiques ainsi que les thèmes développés doivent montrer l'intérêt du dossier technique support choisi.

### **L'aspect technologique et scientifique.**

Le jury conseille au candidat :

- de rechercher un support très récent attrayant dès la décision d'inscription au concours ;
- de choisir un support dont l'authenticité et l'actualité sont des éléments décisifs. Il se caractérise par une compétitivité reconnue, par la modernité de sa conception ;
- de vérifier les potentialités du support au regard des développements scientifiques, technologiques et pédagogiques possibles ;
- d'utiliser une ou plusieurs problématiques techniques pour guider l'étude répondant à un cahier des charges précisé et explicite. L'expérience montre que sans problématique technique, il est difficile d'éviter le piège de la validation de l'existant ;
- de rechercher une pertinence et une authenticité des problèmes posés ;
- de mettre en œuvre de manière lisible les méthodes de résolution de problème et les outils associés. Il est utile de rappeler que les outils numériques ne doivent pas être utilisés comme des « boîtes noires ». En particulier, pour les codes « Éléments Finis », il convient de maîtriser la mise en données et les algorithmes de résolution ;
- d'utiliser des schémas et ne pas se limiter à des photos annotées et légendées ou à une description textuelle ;
- de justifier les modèles d'étude, les solutions technologiques retenues et les méthodologies utilisées : le développement des calculs associés au cours de l'exposé doit être réduit aux étapes essentielles (l'utilisation d'outils de simulation numérique est appréciée lorsqu'elle est pertinente) ;

- de s'appuyer sur une maquette numérique, permettant l'utilisation d'outils de simulation de comportement pour la partie étudiée ;
- de prendre un soin particulier à l'orthographe et aux conventions typographiques (notamment à l'écriture des unités de mesure).

### **L'aspect pédagogique**

Dans sa partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions. Au moins une d'entre elles doit faire l'objet d'un développement conséquent, c'est une séquence complète qu'il s'agit de développer.

Outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, il est impératif de mettre en situation la ou les activités proposées, leurs finalités pédagogiques et d'intégrer cette séquence dans une progression pédagogique formalisée.

La pertinence de l'application pédagogique au regard du support proposé et du problème technique associé est appréciée par le jury.

La partie pédagogique doit être corrélée à la problématique proposée dans la partie étude scientifique et technique.

Le jury conseille au candidat :

- d'identifier des propositions d'exploitation pédagogique, pré et post baccalauréat pertinentes en relation avec les points remarquables du dossier. L'exhaustivité n'a pas à être recherchée ;
- de détailler les intentions pédagogiques ;
- de préciser les objectifs pédagogiques et d'être attentif à leur formulation ;
- d'identifier les difficultés prévisibles afin de scénariser la séquence et choisir la pédagogie la plus adaptée ;
- de privilégier les activités pédagogiques utilisant un problème technique réel posé par le support ;
- de proposer les exploitations pédagogiques dans le respect des référentiels et des préconisations pédagogiques ;
- de proposer les modalités d'évaluation envisagées.

### **L'expression et la communication dans le dossier**

La qualité du dossier et le respect des règles qui lui sont imposées (nombre de pages, date d'envoi, clé USB) montrent la maîtrise par le candidat des outils de la communication écrite et la façon dont il s'inscrit dans un cadre institutionnel.

La prestation du candidat, à l'oral, permet au jury d'évaluer qu'il maîtrise la communication dans une classe et exercer de manière efficace et sereine sa fonction de professeur.

Les questions posées par le jury permettent d'approfondir quelques-unes des informations données par le candidat, dans le dossier autant que dans l'exposé, et de renforcer au sein du jury la conviction que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel.

Les réponses évasives relatives au contexte de la conception ou de la réalisation sont peu appréciées, car elles témoignent d'un réel manque d'investigation et de curiosité.

Les candidats doivent :

- profiter des temps de préparation, qui ne sont pas des temps d'attente ; en particulier, ouvrir les fichiers annexes (CAO, vidéo, BIM...) qui peuvent être utiles pour répondre à certaines questions ;
- préparer des documents multimédias adaptés à une soutenance d'une durée fixée
- préparer des animations aidant à comprendre le fonctionnement ;
- lors de la présentation, limiter le nombre de diapositives.

Pour conclure, le jury conseille aux candidats :

- de s'assurer de l'existence d'une problématique technique réelle dans le cadre d'un partenariat avec une entreprise ;
- de s'assurer que cette problématique permet des développements scientifiques et technologiques adaptés au niveau de l'agrégation (une analyse simpliste est un écueil à éviter) ;
- de renforcer l'aspect pluridisciplinaire des propositions techniques et pédagogiques élaborées à partir du dossier ;
- de conserver un regard critique par rapport au travail réalisé en lien avec l'entreprise ;

- pour ceux qui souhaitent présenter à nouveau un dossier élaboré pour une précédente session, de continuer à faire vivre le partenariat engagé, **de faire évoluer le dossier** et de prendre en compte les échanges avec le jury lors des entretiens précédents.

Enfin, l'épreuve sur dossier ne doit pas consister à présenter seulement un système industriel ou constructif. Le jury attend des candidats la présentation d'une démarche de projet consistant à résoudre une problématique technique réelle : construction d'un ouvrage, équipement technique à installer ou installer dans un contexte précis... La présentation de systèmes « clés en main » qui ne seraient pas placés au sein d'un projet de construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage ne conviendrait pas à l'intitulé de cette agrégation **ingénierie des constructions**.

Pour la partie orale, le jury invite les candidats à :

- se présenter brièvement, la présentation du parcours du candidat n'est pas nécessaire ;
- présenter précisément ce qui a été produit par le candidat ;
- adopter une posture professionnelle : capacité à prendre en compte un point de vue différent, qualité d'écoute...

### **Notes obtenues à l'épreuve**

17 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 8,4/20 avec :

- 14,5 comme meilleure note ;
- 04,3 comme note la plus basse.
- 35% des notes sont supérieures à 10/20

## 6. Épreuve Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique

### Présentation de l'épreuve

L'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système technique prend appui sur une situation professionnelle d'enseignement proposée au candidat dans le cadre de l'exercice de sa mission future de professeur.

Dans ce cadre, des ressources pédagogiques sont données au candidat afin de préparer une trame de séquence pédagogique dans laquelle une séance expérimentale sera détaillée. Cette séance devra permettre de montrer comment le candidat exploite avec pertinence les potentialités :

- de ressources documentaires ;
- de ressources expérimentales (échantillons, matériels, bancs d'essais, maquettes, éléments de structures ...) ;
- de ressources informatiques (logiciels modeleurs, simulateurs ...).

Cette épreuve permet au candidat d'élaborer une stratégie pédagogique, de réaliser des essais et mesures sur tout ou partie d'un système didactique ou professionnel, et d'en produire une analyse critique sur la pertinence et l'efficacité de la séquence envisagée.

Cette épreuve a également pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité du concours dans l'option choisie.

Cette épreuve d'activité pratique demande aux candidats de mobiliser les compétences (nécessitant les savoirs, savoir-faire et savoir-être associés) nécessaires à l'enseignement pouvant être confié à un professeur agrégé SII d'ingénierie de la construction. Pour répondre à cet objectif, les supports utilisés lors de cette épreuve sont relatifs à ce même champ de l'Ingénierie.

### Déroulement de l'épreuve

**Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases :**

- phase 1 - mise en œuvre des équipements du laboratoire et exploitation pédagogique (durée 4 h) ;
- phase 2 - préparation de la présentation (mise en loge pendant 1 h) ;
- phase 3 - présentation des travaux devant un jury (durée 1 h).

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée (conformément à la circulaire n°99-186). Durant toute cette épreuve les candidats ont accès à l'Internet.

**La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire. Cette première phase d'une durée totale de 4 h se décompose en trois parties.**

Dans cette phase, les candidats ont à leur disposition les différents supports étudiés, qu'ils utiliseront pour proposer une séquence pédagogique. **L'exploitation pédagogique proposée est liée aux activités pratiques réalisées.**

**Première partie – Contexte et potentiels pédagogiques (durée ≈ 0h30)**

Le candidat doit prendre connaissance du dossier support, des matériels ou équipements proposés, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation, et de l'objectif pédagogique fixé dans le sujet. Il doit également identifier les potentialités pédagogiques des différentes ressources proposées.

**Deuxième partie – Construction pédagogique (durée ≈ 1h)**

Pour cette partie, le candidat doit concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et identifier les compétences associées. Il établit une liste d'expérimentations à réaliser dans le cadre de la séance pratique s'intégrant dans cette séquence.

**Troisième partie - Expérimentation (durée ≈ 2h30)**

Le candidat prépare puis mène ses expérimentations, essais, ou ceux proposés par le jury. Il réalise les mesures et observations, exploite les ressources logicielles le cas échéant. Il exploite ensuite les résultats obtenus : il les traite (calculs, représentations graphiques...), analyse leur justesse, fiabilité... Il conclut enfin sur les forces et faiblesses des expérimentations menées et formule des conclusions.

La phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel figurent des supports<sup>1</sup>. Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leur est proposé. Tout ou partie des manipulations se déroulent en présence de l'examineur auprès de qui le candidat justifie et discute les essais et expérimentations menées ainsi que les résultats obtenus.

**La phase 2 – Mise en loge (durée 1 h).**

Le candidat prépare l'intervention qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat **n'a plus accès aux matériels, bancs et simulations**. Il dispose d'un poste informatique relié à l'internet doté des logiciels courants de bureautique. Il dispose des résultats obtenus lors de la phase 1 qu'il aura stockés dans un espace qui lui est dédié.

Il finalise la présentation de sa séquence pédagogique et détaille un ou plusieurs points-clefs des séances de formation. La présentation prend notamment appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques. Les activités des élèves pendant la séance pratique sont développées, ainsi que les modes d'évaluation et de suivi des élèves au cours de la séance et de la séquence. Le candidat veillera à identifier des possibilités de

---

<sup>1</sup> systèmes réels distants ou non avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels ; systèmes réels instrumentés ; systèmes didactisés ; systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

différenciation de l'enseignement visant à s'adapter aux différents niveaux des élèves. Il conclura sur la proposition et sur les améliorations possibles.

### **La phase 3 se déroule dans la salle d'exposé devant le jury.**

L'exposé oral d'une durée maximale de 30 minutes comporte :

- la présentation du contexte (objectif pédagogique et ressources disponibles) ;
- Une présentation de la réflexion et de la stratégie pédagogique conduite
- le compte-rendu des manipulations effectuées et l'analyse des résultats obtenus dans la deuxième partie de la première phase des activités pratiques ;
- l'exploitation pédagogique proposée ;
- une conclusion

L'entretien avec le jury a une durée maximale de 30 minutes.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa séquence de formation, à décrire et à situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

Au cours de l'entretien, le candidat est interrogé plus particulièrement pour préciser certains points de sa présentation ainsi que pour expliquer et justifier les choix de natures didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.

Pour la présentation devant jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique relié à Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils ont stockés dans l'espace qui leur est dédié.

### **Travail demandé pour l'épreuve**

Le travail et les activités imposés aux candidats dans les différentes phases de l'épreuve sont précisés ci-après. Les candidats sont évalués au regard de ces attentes.

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve
<b>PHASE 1</b> <b>(4h)</b>	<b>Partie 1</b> <b>(30 min)</b>	<b>I. CONTEXTE IMPOSE</b>	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury S'approprier les ressources pédagogiques disponibles
		<b>II. POTENTIELS PÉDAGOGIQUES</b>	Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...) <i>Point avec l'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>
		<b>Partie 2</b> <b>(1h)</b>	<b>III. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE</b>
	Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation		
	Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche)		
	Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées		
	<i>Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques du candidat. Le jury fournit ensuite des possibilités d'expérimentation.</i>		
	Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique. <i>Valider avec l'examinateur les expérimentations et applications numériques à mettre en œuvre ensuite.</i>		
	<b>Partie 3</b> <b>(2h30)</b>	<b>IV. EXPÉRIMENTATIONS</b>	Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer
			Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues
			Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)
		<b>V. CONCLUSION</b>	Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité ...)
			Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses. <i>Présenter les expérimentations et les conclusions</i>
	<b>PHASE 2</b> <b>(1h)</b>	<b>Mise en loge</b>	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)
	<b>PHASE 3</b> <b>(1h)</b>	<b>Exposé et entretien</b>	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles
Présenter la réflexion, la stratégie pédagogique et les choix effectués			
Décrire et analyser les expérimentations effectuées			
Présenter la trame de séquence envisagée			
Présenter la séance, son positionnement dans la formation, les activités des élèves pour un groupe classe			
Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe			
Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves			
Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves			
Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...)			

Plusieurs autres critères d'évaluation sont également pris en compte par le jury :

- Proposer une pédagogie efficace et innovante
- Produire un discours clair, précis et rigoureux
- Être pertinent et réactif aux questions posées
- Dégager l'essentiel et donner du sens
- Captiver l'auditoire

## Séquences pédagogiques demandées pendant l'épreuve

Les séquences pédagogiques demandées étaient imposées pour les formations suivantes :

- Baccalauréats STI2D et SSI
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- DUT :
  - o Génie Civil Construction durable
  - o Génie Thermique et Énergie
- BTS :
  - o Travaux Publics,
  - o Bâtiment,
  - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat,
  - o Constructions métalliques,
  - o Enveloppe du bâtiment : conception et réalisation
  - o Fluides Énergies Domotique, options A, B et C
  - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
  - o Étude et Réalisation des Agencements
  - o Aménagement et Finitions
  - o Étude et économie de la Construction

Pour la session 2021, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issus de la liste suivante :

- ressources documentaires diverses
- logiciels courants de bureautique
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...).
- logiciels de modélisation, analyse et simulation sur maquette numérique BIM de bâtiment ou de travaux publics, simulation thermique dynamique ;
- banc d'essai en mécanique des sols et géotechnique ;
- matériel de qualification des ambiances (acoustique, éclairage, ventilation etc ...) ;
- banc d'essai de structures ;
- banc d'essai du matériau béton, du matériau bois, du matériau acier ;
- pompe à chaleur, chaudière bois, système de production d'eau chaude sanitaire, système de VMC double flux ;
- système domotique de gestion technique de bâtiment ou centralisée (GTB/GTC) ;
- matériels de topographie (niveaux, théodolites, tachéomètres, GPS, scanner 3D ...)

## Observations et commentaires sur la session 2021

Le jury a constaté cette année que plusieurs recommandations ont bien été prises en compte par les candidats, notamment :

- la démonstration d'une rigueur scientifique d'un niveau adapté au concours de l'agrégation
- la capacité à exploiter des matériels et logiciels divers, en exploitant l'assistance proposée aux candidats

En revanche, de nombreux candidats se sont encore écartés cette année des attentes de l'épreuve et n'ont pas présenté une partie des analyses pourtant imposées par les sujets.

Nombre de propositions pédagogiques simplifient la réalité des situations d'enseignement et éludent le fait que plusieurs compétences sont généralement monopolisées dans une même séquence ou séance, certaines prioritairement aux autres. En fonction des objectifs visés et des pré-requis envisagés,

certaines compétences sont entretenues ou approfondies, alors que de nouvelles compétences peuvent être abordées, découvertes et mises en œuvre.

La manipulation de matériels ou de logiciels est encore parfois réalisée sans suffisamment comprendre l'objet de cette manipulation. Des résultats de mesure ou de simulation sont encore présentés sans que certains candidats comprennent réellement l'objet mesuré ou simulé.

### **Conseils aux futurs candidats**

À l'issue de la session 2021, le jury attire particulièrement l'attention des futurs candidats sur les points suivants :

- le jury rappelle que cette épreuve n'est pas un compte-rendu de laboratoire. Elle soumet aux candidats une problématique pédagogique d'enseignement représentative de l'activité professionnelle quotidienne des professeurs, basée sur la préparation d'une séquence et séance de cours mettant en œuvre des manipulations expérimentales et l'exploitation de ressources didactiques, y compris numériques ;
- pour la première phase, les candidats doivent veiller à équilibrer le temps consacré à l'expérimentation et celui consacré à la conception de leur séquence pédagogique ;
- pour la troisième phase, les candidats disposent d'un temps de parole de 30 minutes maximum. Le jury regrette une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n'utilisent pas pleinement le temps qui leur est accordé. À contrario, d'autres candidats cherchent à meubler ce temps de parole au détriment de la qualité et de la rigueur de leur exposé ;
- il est déconseillé de tout écrire au tableau. Le candidat doit exploiter au mieux les outils informatiques de présentation fournis. Le contexte n'est pas celui d'une leçon faite devant des élèves ;
- on constate trop souvent un déséquilibre entre la présentation des résultats expérimentaux, parfois trop détaillée, et leur exploitation pédagogique qui reste trop peu développée (pas de support formalisé, idées trop générales, pas d'application concrète ...) ;
- l'exploitation pédagogique est l'objectif principal de cette épreuve. Elle reste trop succincte chez certains candidats. Les candidats doivent s'attacher :
  - à préciser l'insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, IUT) ;
  - à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique (combinaison d'activités diverses, études de cas, projets ...) en détaillant notamment l'organisation pratique en présence d'élèves ou d'étudiants ;
  - à situer l'intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte proposé, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle ;
  - à préciser et à justifier les modalités d'évaluation et/ou de remédiation.
- Le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés ;
- les fonctionnalités de base des logiciels tableurs (tracé de courbe notamment) doivent être maîtrisés,
- la maîtrise d'un logiciel BIM particulier n'est pas imposée mais les candidats doivent pouvoir mettre en œuvre certaines fonctionnalités élémentaires rencontrées sur ce type d'outil numérique rencontré pendant l'épreuve (modélisation d'un composant, visualisation d'une maquette 3D, réalisation d'une analyse...) en exploitant les assistances proposées pendant l'épreuve (tutoriels, démonstration et assistance du jury ...).

- trop de candidats ne connaissent pas la structure des référentiels de formation. Il est indispensable d'étudier plusieurs référentiels représentatifs, et leur structure ;
- Les compétences scientifiques, technologiques, professionnelles et pédagogiques des candidats doivent être suffisamment élevées pour accéder au grade de professeur agrégé.
- Les bases des principaux enseignements étudiés lors de cette épreuve doivent être connus (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation BIM...) ;
- Les candidats doivent pouvoir proposer une autre organisation pédagogique que le traditionnel « Cours – TD – TP », ou les « TP tournants ». Les démarches actives, la pédagogie de projet, les apports du numérique éducatif (classe inversée, MOOC ...) et autres activités pédagogiques doivent être exploitées au service de la réussite des élèves.
- Les candidats doivent pouvoir proposer d'autres modalités d'évaluation que le simple compte-rendu de TP noté et l'évaluation finale sur table.
- Les candidats doivent pouvoir proposer des stratégies ou moyens minimaux de différenciation des apprentissages permettant de s'adapter aux besoins des élèves.
- Les candidats doivent pouvoir expliciter la priorisation de certains objectifs, proposer une stratégie de développement progressif des compétences, et proposer des modalités explicites de suivi des progrès des élèves.

SESSION 2019

**EXEMPLE DE SUJET**  
(pour un candidat inscrit en spécialité  
structure. même principe en énergie)

## **AGRÉGATION CONCOURS INTERNE**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

**Option : INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS**

### **ACTIVITÉ PRATIQUE ET EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE EN INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS**

Durée : 6 heures

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale, informe le jury, fait la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

**NB : Il est demandé aux candidats de rendre à l'issue de l'épreuve tous les documents qui lui ont été donnés mais aussi tous les brouillons et copies qui lui ont servis durant l'épreuve.**

#### **A – DÉROULEMENT DE L'ÉPREUVE**

Cette épreuve se déroule en trois phases :

© <https://www.devenirenseignant.gouv.fr>

## **1. PHASE 1 – Préparation pédagogique en laboratoire (durée 4 h 00)**

### **1.1. Première partie (durée 0 h 30) : découverte de l'objectif et des ressources**

L'objectif de cette phase est de découvrir l'objectif pédagogique imposé et les ressources pédagogiques fournies. Ces ressources peuvent comprendre des systèmes expérimentaux, des documents, des dossiers techniques, des logiciels.

À la fin de cette partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié la problématique pédagogique, les ressources à disposition, et en a identifié les principaux potentiels pédagogiques.

### **1.2. Deuxième partie (durée 1 h 00) : analyse et préparation pédagogique**

Dans cette partie, le candidat élabore une stratégie pédagogique permettant de construire une séquence répondant aux objectifs fixés, et l'amenant à utiliser les ressources disponibles. Il est demandé d'exploiter les potentialités des ressources expérimentales et numériques.

### **1.3. Troisième partie (durée 2 h 30) : préparation pédagogique avec expérimentation**

Le candidat met en œuvre les expérimentations et applications numériques préparées afin de les tester, valider leur intérêt pédagogique et leur faisabilité en séance de cours. Il exploite les résultats et conclut.

## **2. PHASE 2 – Mise en loge et préparation de l'exposé (durée 1 h 00)**

Le candidat ne manipule plus et prépare son exposé à présenter au jury.

## **3. "PHASE 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1 h 00)**

L'exposé oral d'une durée maximale de 30 minutes doit comporter :

- La présentation des objectifs pédagogiques et des ressources mises à disposition (5 mn environ)
- La présentation de la réflexion sur les potentialités et la stratégie pédagogique (5 mn environ)
- La présentation de la séquence & séance pédagogique proposée (15 minutes environ) ;
- Le compte – rendu des expérimentations effectuées et des résultats obtenus (5 minutes) ;

Un entretien avec le jury d'une durée maximale de 30 minutes suit l'exposé oral du candidat.

## B - TRAVAIL DEMANDE POUR L'ÉPREUVE

Le travail demandé dans les différentes phases de l'épreuve est précisé ci-dessous.

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve	
<b>PHASE 1</b> <i>(4h)</i>	<b>Partie 1</b> <i>(30 min)</i>	<b>I. CONTEXTE IMPOSE</b>	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury	
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles	
		<b>II. POTENTIELS PÉDAGOGIQUES</b>	Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...)	
	<i>Point avec l'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>			
	<b>Partie 2</b> <i>(1h)</i>	<b>III. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE</b>	Préciser les compétences qui seront développées dans la séquence	
			Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation	
			Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche)	
			Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées	
			<i>Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques du candidat. Le jury fournit ensuite des possibilités d'expérimentation.</i>	
			Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique.	
	<i>Valider avec l'examinateur les expérimentations et applications numériques à mettre en œuvre ensuite.</i>			
	<b>Partie 3</b> <i>(2h30)</i>	<b>IV. EXPÉRIMENTATIONS</b>	Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer	
			Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues	
		<b>V. CONCLUSION</b>	Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)	
			Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité ...)	
<i>Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses.</i>				
<i>Présenter les expérimentations et les conclusions</i>				
<b>PHASE 2</b> <i>(1h)</i>	<b>Mise en loge</b>	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)		
<b>PHASE 3</b> <i>(1h)</i>	<b>Exposé et entretien</b>	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles		
		Présenter la réflexion, la stratégie pédagogique et les choix effectués		
		Décrire et analyser les expérimentations effectuées		
		Présenter la trame de séquence envisagée		
		Présenter la séance, son positionnement dans la formation, les activités des élèves pour un groupe classe		
		Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe		
		Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves		
		Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves		
		Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...)		

Autres critères d'évaluation également pris en compte par le jury :

- Proposer une pédagogie efficace et innovante
- Produire un discours clair, précis et rigoureux
- Être pertinent et réactif aux questions posées
- Dégager l'essentiel et donner du sens
- Captiver l'auditoire

## C - OBJECTIF PÉDAGOGIQUE IMPOSÉ POUR L'ÉPREUVE

Sujet : Concevoir et présenter une séquence de formation sur le sujet du matériau béton, ses caractéristiques physiques et mécaniques et l'influence de ces caractéristiques dans le dimensionnement d'un ouvrage en béton armé.

On abordera tout ou partie des notions suivantes :

- Comportement mécanique du béton.
- Caractéristiques réglementaires et caractéristiques réelles du béton.
- Influence des caractéristiques du béton sur le dimensionnement d'un élément d'ouvrage en béton armé.

La proposition pédagogique sera envisagée pour une formation de BTS Bâtiment.

## D - RESSOURCES PÉDAGOGIQUES DISPONIBLES

<b>R1 : RÉFÉRENTIELS DE FORMATION</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• BTS Bâtiment</li></ul>	<b>R2 : INFORMATIQUE</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Un PC équipé des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis.</li><li>• Une suite bureautique</li><li>• Un fichier REVIT et un fichier ROBOT de la structure du bâtiment « Fuji ».</li></ul>
<b>R3 : DOSSIER SUPPORT</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Projet de construction du bâtiment « Fuji »</li><li>• Cahier des Clauses Techniques Particulières du bâtiment « Fuji »</li></ul>	<b>R4 : RESSOURCES DOCUMENTAIRES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Normes d'essai sur les bétons</li><li>• Techniques de l'Ingénieur – Du béton frais au béton durci, éléments de comportement</li><li>• Mode opératoire des machines d'essai</li><li>• Mode opératoire logiciels REVIT et Robot Structural Analysis</li><li>• Données relatives à l'étude</li></ul>
<b>R5 : ÉQUIPEMENTS EXPÉRIMENTAUX</b> <p><b>Matériaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 4 éprouvettes de béton cylindrique 15 x 30 cm.</li><li>• Une éprouvette de béton cylindrique 15 x 30 cm équipée d'un dispositif de mesures extensométriques.</li></ul> <p><b>Matériel :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Une presse et un dispositif d'acquisition des déformations sur éprouvette équipée</li><li>• Un bâti pour essai de traction par fendage</li><li>• Un scléromètre</li><li>• Petit matériel de laboratoire</li></ul>	

## R3 – DOSSIER SUPPORT

L'ouvrage support est un bâtiment d'habitation de type R+3 avec un niveau de sous-sol.

Il fait partie du projet nommé « Fuji » qui se compose d'un ensemble de trois bâtiments qui réuniront 85 logements sociaux. Le bâtiment étudié est le bâtiment numéro 2.

La structure porteuse de ce bâtiment est classique : voiles, poteaux, poutres et dalles B.A. coulés en place et fondés sur des semelles filantes et isolées.

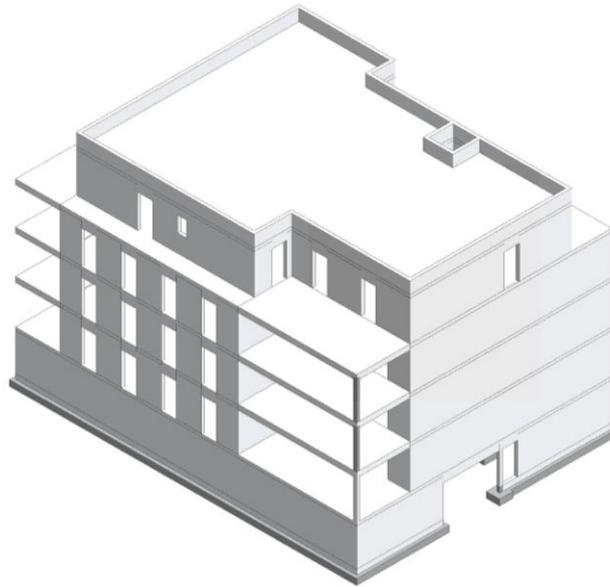


Fig. 1 : Vue en perspective de la structure du bâtiment

Afin de valider et d'optimiser une poutre se situant au niveau de la dalle de transfert entre le rez-de-chaussée et le sous-sol, un bureau d'études structure fait appel à un laboratoire pour préciser par des mesures, les caractéristiques physiques et mécaniques du béton utilisé pour la construction de ce bâtiment.

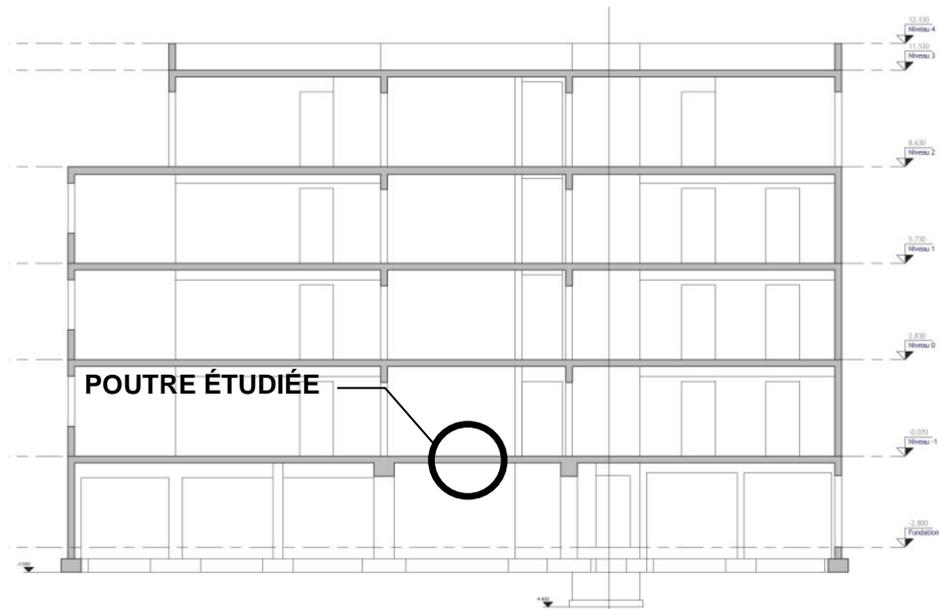


Fig. 2 : Coupe verticale de la structure du bâtiment

L'objectif du bureau d'étude est ensuite d'utiliser les résultats obtenus par le laboratoire pour affiner le dimensionnement de la poutre en comparaison avec la classe du béton qui était définie dans le CCTP du lot Gros-Œuvre de ce chantier.

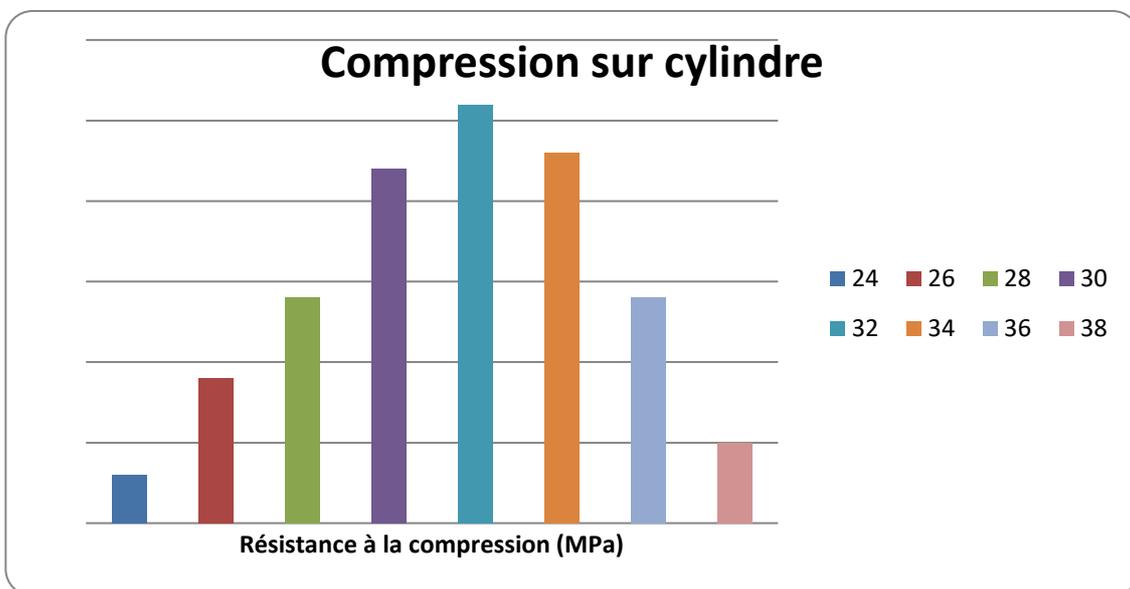
## R4 - DONNÉES RELATIVES À L'ÉTUDE

Résistance à la compression du béton :

On vous donne dans le tableau ci-après des résultats d'essais de compression réalisés sur des éprouvettes cylindriques de béton. Ces essais ont été réalisés par la centrale de production de béton sur des éprouvettes de béton à propriétés spécifiées dont la composition est identique à celle qui sera utilisée pour le béton du chantier qui nous concerne. Ces essais (232) ont été effectués sur cylindre 15x30 à 28 jours en suivant le protocole de la norme en vigueur.

Nombre d'essais	6	18	28	44	52	46	28	6
$f_c$ en [MPa]	24	26	28	30	32	34	36	38

Ces résultats sont présentés sous la forme d'un histogramme (voir ci-dessous) dont la courbe enveloppe peut être modélisée par une loi normale.



La résistance caractéristique à la compression du béton ( $f_{ck}$ ) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% de la distribution des résistances.

Si la distribution des résistances suit une loi normale alors le fractile 5%  $f_{ck}$  est égal à :

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 u \quad (1)$$

avec  $f_{cm}$  la moyenne de la distribution et  $u$  l'écart type.

L'Eurocode 2 Béton adopte, pour simplifier, la relation suivante :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (2)$$

avec  $f_{cm}$  la résistance moyenne en compression à 28 j.

### Résistance à la traction du béton :

La valeur de la résistance en traction moyenne du béton ( $f_{ctm}$ ) est obtenue à partir de la résistance caractéristique à la compression du béton :

$$f_{ctm} = 0,30.f_{ck}^{(2/3)} \quad (3)$$

La résistance caractéristique à la traction minimale du béton ( $f_{ctk}$ ) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% inférieur de la distribution des résistances.

L'Eurocode 2 Béton adopte la relation suivante :

$$f_{ctk} = 0,7.f_{ctm} \quad (4)$$

avec  $f_{ctm}$  la résistance moyenne en traction à 28 j.

#### **Module d'élasticité longitudinal du béton :**

Le module de déformation longitudinal du béton ou module sécant décrit le comportement élastique quasi linéaire de la relation contraintes-déformation du béton soumis à la compression.

Ce comportement élastique quasi-linéaire reste totalement réversible si la contrainte de compression est limitée à un certain pourcentage de la résistance à la compression du béton. Ce pourcentage est défini à la page 7 du document Technique de l'ingénieur. Pour qu'un essai de mesure du module d'élasticité n'endommage pas l'éprouvette utilisée, il faut donc que les déformations de l'éprouvette restent inférieures à ce pourcentage.

La valeur du module d'élasticité du béton étudié peut aussi être estimée théoriquement par la relation suivante :

$$E_{cm} \text{ (GPa)} = 22.[(f_{cm})/10]^{0.3} \text{ avec } f_{cm} \text{ en Mpa} \quad (5)$$