

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

MERCREDI 09 SEPTEMBRE 2026

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

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

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

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

Ce sujet comporte 31 pages numérotées de 1/31 à 31/31.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	14 points
Partie spécifique (durée indicative 1h00)	6 points

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

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

**Tous les documents réponses, mêmes vierges, sont à numéroté et à rendre
obligatoirement avec la copie.**

**Grand Paris Express
Ligne 15 Sud
Gare Arcueil-Cachan**



Source Grand Paris Express

- Présentation de l'étude et questionnaire pages 3 à 11
- Documents techniques DT1 à DT8 pages 12 à 18
- Documents réponses DR1 à DR5 pages 19 à 22

Les données initiales sont adaptées pour les besoins de l'étude.

Mise en situation

Le Grand Paris Express est un projet de transport et d'aménagement permettant de se déplacer plus facilement et plus rapidement en région Île-de-France.

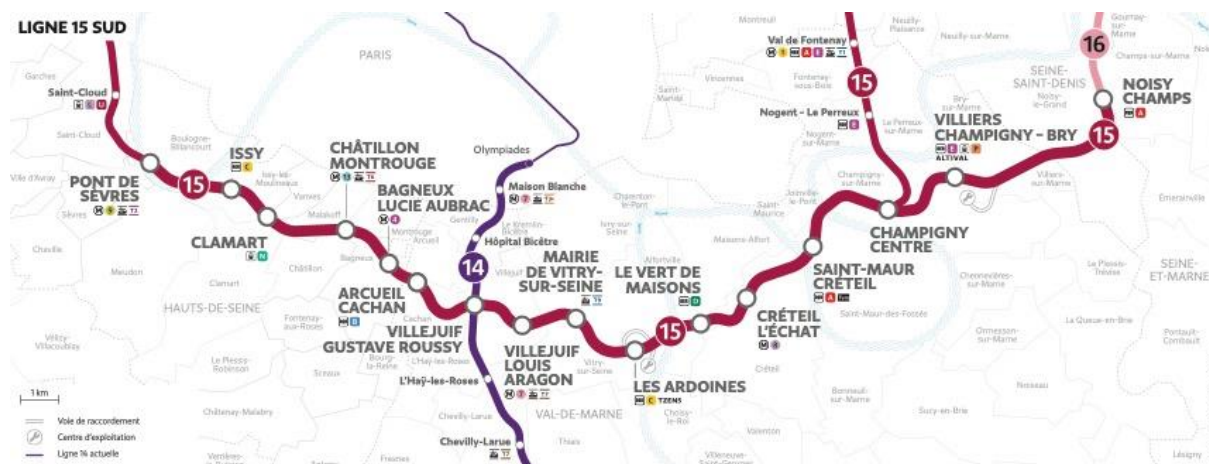
Le métro et le RER forment aujourd'hui un réseau en étoile. Grâce au Grand Paris Express, il sera possible de se rendre d'un point à un autre en Île-de-France sans forcément passer par Paris.

Quatre nouvelles lignes de métro sont construites en petite et en grande couronne (lignes 15, 16, 17 et 18) en plus du prolongement de la ligne 14 actuelle.

Le nouveau métro est entièrement automatisé et permet de réduire les temps de trajets pour relier les principaux lieux de vie et d'activités de la métropole du Grand Paris.

Ligne 15 Sud

La ligne 15 Sud s'étend sur 33 kilomètres. Elle traverse 22 communes sur 4 départements avec 16 gares connectées au réseau de transport francilien.



Cette ligne entièrement automatique et souterraine est prévue pour 300 000 trajets journaliers et concernera plus d'un million d'habitants.

Le métro circulera jusqu'à deux fois plus vite que les métros actuels avec des vitesses moyennes comprises entre 55 et 65 km·h⁻¹.

Un train rentrera en gare toutes les 2 à 3 minutes aux heures de pointes.

Les trains et les gares seront accessibles aux personnes à mobilité réduite afin de faciliter leurs déplacements.

Gare Arcueil-Cachan

La gare Arcueil-Cachan est située sur la commune de Cachan à proximité immédiate d'Arcueil. Elle s'insère sous les voies du RER B avec des quais à 25 mètres de profondeur et s'intègre dans la réalisation de projets de développement urbain avec la construction d'un éco-quartier.

95 000 voyageurs sont attendus par jour dans cette gare.

Nouveau métro – Ligne 15 Sud

Le nouveau métro contribue au développement durable avec notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre et offre une véritable alternative à la voiture lors des déplacements des franciliens.

Il est construit en dessous des lignes existantes et circulera à grande profondeur.

Sa conception garantit une grande sobriété énergétique avec notamment la récupération de la chaleur, l'utilisation d'éclairages à LED, la récupération d'énergie lors des phases de freinage des trains.



Les trains utilisés sur la ligne 15 Sud sont de type MR6V. Ils ont une capacité de 1 000 voyageurs au total et sont composés de 6 voitures.

Ils disposent d'un certain nombre de services embarqués à bord avec notamment des systèmes d'information des voyageurs, de la vidéosurveillance, de l'interphonie et des systèmes de communication permettant la connexion à internet tout au long des trajets.

Travail demandé

Partie 1 : quel est l'intérêt de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express pour les usagers et les riverains ?

Question 1.1

DT1

Identifier un argument pour chacun des trois piliers du développement durable inscrivant la construction et l'exploitation de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express dans :

- une démarche environnementale ;
- une démarche sociétale ;
- une démarche économique.

Question 1.2 | **Calculer** les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) équivalent d'un voyageur pour effectuer un trajet complet de "Pont de Sèvres" à "Noisy-Champs" pour les trois moyens de transport actuels (métro + RER, bus et voiture).
DT2

Conclure sur le type de transport le moins carboné.

La ligne de métro 15 Sud relie la gare de Pont de Sèvres à celle de Noisy-Champs sur 33 km.

Question 1.3 | **Calculer** les émissions de GES d'un voyageur pour effectuer un trajet complet de "Pont de Sèvres" à "Noisy-Champs" effectué via la ligne 15 Sud.
DT2

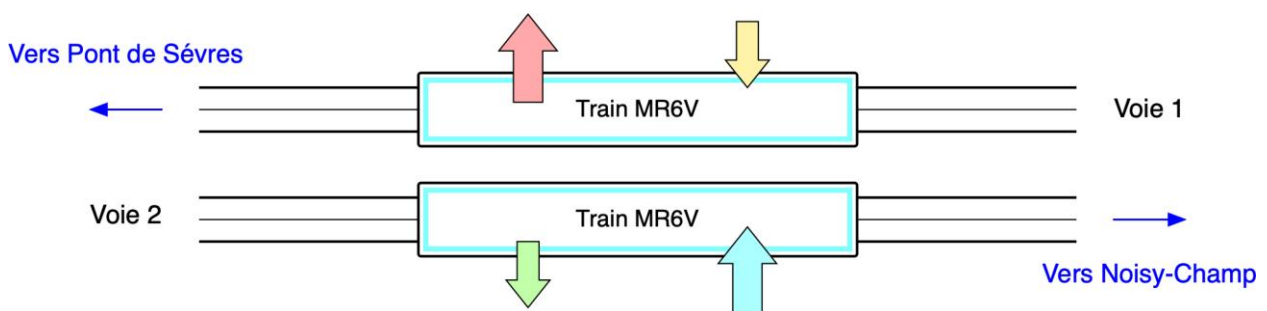
Calculer la réduction d'émissions de GES d'un voyageur (en pourcentage) par rapport à la solution actuelle (métro + RER).

Plusieurs exemples de trajets sont donnés pour déterminer le gain de temps mis par les usagers de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express pour se rendre sur leurs lieux de travail à partir de la gare Arcueil-Cachan.

Question 1.4 | **Déterminer** le gain de temps obtenu avec la ligne 15 Sud du Grand Paris Express par rapport à la solution actuelle pour aller de la gare Arcueil-Cachan à la gare Pont de Sèvres.
DT3

La ligne 15 Sud du Grand Paris Express utilise des trains de type MR6V composés de 6 voitures avec une capacité d'accueil de 1 000 voyageurs par train.

En fonction des horaires et de leurs destinations, un certain nombre de voyageurs entrent et sortent des trains et de la gare Arcueil-Cachan à chaque arrêt.



Le nombre moyen de voyageurs entrant ou sortant de la gare Arcueil-Cachan représente à chaque arrêt :

- aux heures de pointe, 20 % de la capacité totale des deux trains de la ligne 15 Sud ;
- aux heures normales, 12 % de la capacité totale des deux trains de la ligne 15 Sud.

Des prévisions indiquent que 95 000 voyageurs sont attendus par jour dans cette gare.

La fréquence de passage des trains aux heures de pointe est de 2 minutes.

Question 1.5 DT4, DT5	Calculer le nombre moyen de voyageurs entrant ou sortant chaque jour de la gare Arcueil-Cachan durant les 4 heures de pointe pour les deux trains.
--------------------------	---

Le nombre moyen de voyageurs entrant ou sortant chaque jour de la gare Arcueil-Cachan aux heures normales est de 45 000 voyageurs.

Question 1.6	Calculer le nombre moyen total de voyageurs entrant ou sortant chaque jour de la gare Arcueil-Cachan. Comparer le résultat obtenu avec les prévisions indiquées.
--------------	---

Question 1.7	Conclure sur l'intérêt pour les usagers et les riverains d'utiliser la ligne 15 Sud du Grand Paris Express en donnant deux exemples.
--------------	---

Partie 2 : comment les solutions technologiques envisagées limitent les impacts environnementaux lors de la construction de la gare ?

Le projet du Grand Paris Express va générer une émission importante de CO₂, principalement due à l'utilisation du béton. Afin de réduire au maximum ses émissions, les entreprises de travaux ont l'obligation d'utiliser du béton dont l'empreinte carbone est au moins 40 % plus faible qu'un béton classique. L'objectif de cette partie est de vérifier que cette exigence environnementale est respectée pour la réalisation des parois moulées de la gare (DT6).

Question 2.1 DT6	Citer les constituants entrant dans la composition d'un béton. Indiquer le matériau responsable de la majorité des émissions de CO ₂ .
---------------------	--

Question 2.2 DT7	Préciser la phase de fabrication qui rejette le plus de CO ₂ . Citer pour cette phase les actions mises en œuvre pour réduire les émissions de CO ₂ .
---------------------	--

La suite de l'étude porte sur la comparaison de deux types de béton : le béton réalisé à partir d'un ciment classique (CEM I) et le béton utilisé sur le chantier réalisé à partir d'un ciment à taux de CO₂ réduit (CEM III-A).

Question 2.3 DT6	Calculer en m ³ le volume total de béton utilisé pour la réalisation des parois moulées.
---------------------	--

Question 2.4 DT7 DR1	Sachant qu'il faut 385 kg de ciment pour la fabrication d'un mètre cube de béton et en vous aidant du tableau d'empreinte environnementale des ciments, compléter le tableau du document-réponse DR1 permettant de déterminer la différence d'émissions de CO ₂ avec les deux types de ciment.
----------------------------	--

Question 2.5 DR1	En prenant comme référence l'émission de CO ₂ du ciment standard (CEM I), calculer la réduction de CO ₂ en pourcentage du CEM III/A par rapport au CEM I.
---------------------	--

Question 2.6 | **Conclure** sur la réduction des émissions de CO₂ de la gare Arcueil-Cachan lors de sa construction au regard de l'exigence initiale.

Partie 3 : comment réduire l'énergie consommée par l'éclairage d'un train ?

L'éclairage des trains modernes joue un rôle crucial non seulement pour assurer la visibilité et le confort des passagers, mais aussi pour renforcer la sécurité à bord. Grâce à l'intégration de technologies LED avancées, ces systèmes offrent une efficacité énergétique élevée et permettent une gestion intelligente de la lumière s'adaptant aux conditions extérieures et aux besoins spécifiques des utilisateurs.

Chaque voiture comporte 3 éclairages centraux, 2 éclairages latéraux de 18 mètres et 6 éclairages de seuils de porte.

L'éclairage latéral est la source principale de lumière qui éclaire uniformément l'intérieur de la voiture sur toute sa longueur. Il assure une bonne visibilité pour les passagers tout en contribuant à créer un environnement agréable.

L'éclairage central, conçu pour améliorer le confort visuel et l'esthétique de l'intérieur du train, est généralement plus doux et peut être utilisé pour créer une atmosphère relaxante.

L'éclairage des seuils de porte illumine les zones de passage uniquement lorsque les portes sont ouvertes, aidant les passagers à repérer les sorties et à prévenir les accidents, en particulier dans des conditions de faible luminosité.

Question 3.1 | **Compléter** la ligne "Puissance de l'éclairage en Watt pour 1 voiture" du document-réponse DR2.

DT5

DR2

La puissance des éclairages des seuils de porte est négligeable.

Question 3.2 | **Compléter** la ligne "Puissance consommée par l'éclairage du train" du document-réponse DR2 en négligeant la puissance de l'éclairage des seuils de porte.

DT5

DR2

Les éclairages latéraux et centraux du train fonctionnent en permanence de 5h30 à 1h15 du matin soit 19 heures et 45 minutes par jour et 365 jours par an.

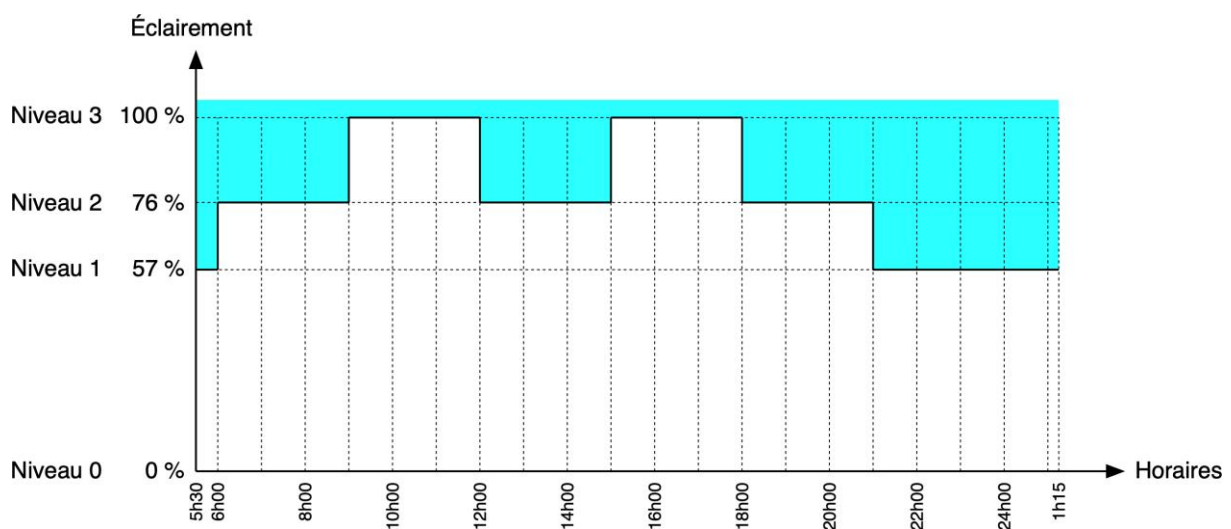
Ils absorbent une puissance totale de 2 150 W.

Question 3.3 | **Calculer** l'énergie totale consommée en kW·h par les éclairages latéraux et centraux du train pour une journée.

Afin de réduire la consommation d'énergie, le train exploite le principe du cycle circadien pour optimiser l'éclairage à bord, adaptant automatiquement l'intensité lumineuse en fonction du moment de la journée.

L'éclairage fonctionnel des voitures est réalisé avec différents niveaux de luminosité :

- les éclairages latéraux et centraux sont dotés de trois niveaux (gérés en fonction du cycle circadien). De plus, lorsque l'une des portes de la plate-forme est ouverte, une augmentation au niveau 3 de luminosité est commandée ;
- l'éclairage des seuils de portes s'allume uniquement lorsque les portes sont ouvertes (niveau 3 : portes ouvertes, niveau 0 : portes fermées).



Principe du cycle circadien pour les éclairages centraux et latéraux

Question 3.4 | **Compléter** l'algorithme fourni sur le document-réponse DR3 pour que les niveaux d'éclairages varient en fonction du cycle circadien.

DR3

Pour les calculs de consommation électrique, on considère que la puissance d'éclairage totale du train est de 2 150 W et que la puissance des éclairages des seuils de portes est négligeable.

- | | |
|---------------------|--|
| Question 3.5
DR4 | <p>Pour chacun des trois niveaux d'éclairage du cycle circadien :</p> <ul style="list-style-type: none">- déterminer les durées correspondantes ;- en déduire l'énergie consommée par les éclairages. <p>Compléter le tableau fourni sur le document-réponse DR4 avec les résultats obtenus.</p> |
| Question 3.6 | <p>Calculer l'énergie totale consommée en kW·h par les éclairages du train en fonction du cycle circadien pour une journée.</p> |
| Question 3.7 | <p>Conclure sur l'utilisation du cycle circadien pour réduire l'énergie consommée par les éclairages du train.</p> |

Partie 4 : comment réduire la consommation énergétique des escaliers mécaniques permettant d'accéder aux quais ?

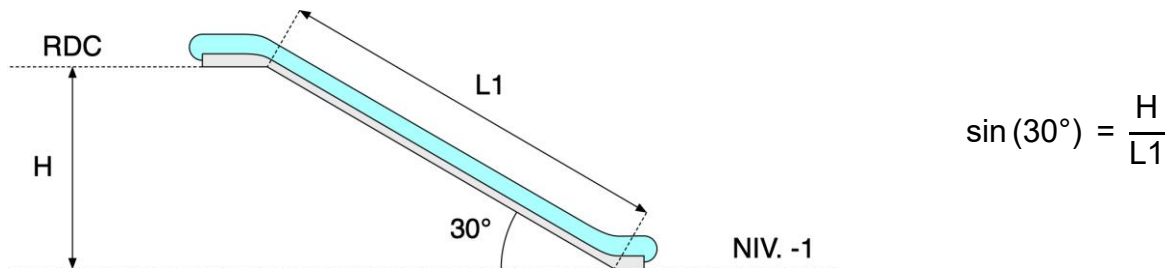
Un exemple de chemin est fourni sur le document-réponse DT8 pour accéder aux quais de la gare à partir du rez-de-chaussée en utilisant uniquement les escaliers mécaniques représentés sur le graphique.

Le détail des éléments de la chaîne de puissance d'un escalier mécanique est donné sur le diagramme de bloc interne fourni sur le document-réponse DR5. Ce diagramme se limite à l'entraînement des marches.

- | | |
|---------------------|--|
| Question 4.1
DR5 | <p>Compléter le diagramme de bloc interne en donnant la fonction des blocs indiqués à l'aide du vocabulaire suivant : Adapter, Alimenter, Convertir, Distribuer, Transmettre.</p> |
| Question 4.2
DR5 | <p>Identifier les types d'énergies indiqués sur le diagramme de bloc interne en complétant les cases correspondantes.</p> |

Six escaliers mécaniques permettent de relier le rez-de-chaussée au niveau -1. Aux heures de pointe, trois escaliers fonctionnent dans le sens descendant et trois dans le sens montant.

La hauteur H entre les deux niveaux est de 7,4 mètres et les escaliers sont inclinés de 30° par rapport au niveau du sol.



La vitesse de déplacement des personnes sur les escaliers mécaniques est de $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question 4.3 | **Déterminer** la distance $L1$ en m parcourue par une personne sur la partie inclinée d'un escalier mécanique.

Déterminer le temps mis par cette personne pour parcourir la distance $L1$.

Question 4.4 | **Comparer** le temps obtenu dans la question précédente avec celui indiqué sur le schéma.

DT8

Un escalier mécanique absorbe une puissance moyenne de 12 kW sur le réseau de distribution électrique de la gare lorsqu'il fonctionne aux heures de pointe.

Question 4.5 | **Déterminer** l'énergie absorbée par un escalier mécanique en kWh par jour lors de son fonctionnement aux heures de pointe.

DT4

Lors des heures normales, les flux de voyageurs dans la gare sont moins importants et les escaliers mécaniques sont moins sollicités.

L'énergie absorbée par un escalier mécanique lors de son fonctionnement aux heures normales est de 52 kWh par jour.

Question 4.6 | **Comparer** les énergies absorbées par un escalier mécanique aux heures de pointe et aux heures normales.

Proposer une solution pour réduire la consommation d'énergie des escaliers mécaniques lorsqu'ils ne sont pas ou peu utilisés hors des heures de pointe.

DT1 : extrait de brochures sur le Grand Paris Express et la ligne 15 Sud Société du Grand Paris

IMPACTS DE LA CONSTRUCTION DU GRAND PARIS EXPRESS

La Société du Grand Paris met tout en œuvre pour éviter et réduire l'impact de la réalisation du nouveau métro. Des engagements forts sont ainsi pris :

- reboiser en partenariat avec l'Office National des Forêts à travers des projets d'amélioration sylvicole au sein de forêts domaniales d'Île-de-France ;
- restaurer un réseau de mares forestières favorables aux amphibiens et rétablir une zone humide qui offrira un habitat au faucon hobereau ;
- faire réaliser une partie des travaux du nouveau métro par des groupements d'entreprises du territoire ;
- réserver au moins 5 à 10 % du volume horaire des chantiers aux personnes en insertion.

LE GRAND PARIS EXPRESS EST BIEN PLUS QU'UN MÉTRO

Alors que 98 % des habitants de la métropole vivront à moins de 2 km d'une gare du Grand Paris Express, l'arrivée du nouveau métro est une opportunité pour repenser les pratiques de mobilité et réduire l'utilisation de la voiture. Cheminements doux, parkings vélos, réorganisation du réseau de bus : tout est repensé pour favoriser des déplacements moins émetteurs de gaz à effet de serre.

UN ACCÈS FACILITÉ À L'EMPLOI, LA SANTÉ, L'ENSEIGNEMENT ET LA CULTURE

La ligne 15 Sud desservira des pôles d'emploi majeurs : Boulogne-Billancourt, Issy-les-Moulineaux, Créteil... et en reliera plus encore grâce à ses nombreuses correspondances.

Elle doublera au minimum l'offre d'emplois disponibles pour tous les habitants.

DT2 : information sur la quantité de gaz à effet de serre émise à l'occasion d'une prestation de transport

La loi "Grenelle II de l'environnement" de 2012 a rendu obligatoire l'information GES (exprimée en CO₂e soit CO₂équivalent) correspondant à la quantité d'émissions de CO₂ émise pour chaque prestation de transport. Cette information vise à sensibiliser les consommateurs pour orienter leurs choix de mode de transport vers les offres les moins carbonées.

Émission GES d'un voyageur par type de transport

	Émission d'un voyageur parcourant 1 km en gCO ₂ e par voyageur et par kilomètre
Métro	3,8
Train ou RER en Île-de-France	6,6
Bus RATP	89
Voiture	134

Source : extrait de "Information GES des prestations de transports - Guide méthodologique"
Valeurs actualisées en août 2023 sur la base de données d'entrée relatives à l'année 2022

Distance parcourue actuellement pour se rendre de la gare Pont de Sèvres à Noisy-Champs

	Distance (km)
Métro + RER	13 (métro) + 26 (RER) = 39
Bus	32
Voiture	30

DT5 : caractéristiques des trains

Les trains circulant sur la ligne 15 Sud sont composés de 6 voitures. Les voitures situées aux extrémités disposent d'une cabine entièrement ouverte sur la partie voyageurs.



Caractéristiques principales	
Exploitation	Mode automatique intégral
Roulement	Fer
Motorisation	4 voitures sur 6 motorisées
Vitesse maximale d'exploitation	110 km·h ⁻¹
Accélération	1,1 m·s ⁻²
Freinage	1,2 m·s ⁻²
Longueur	108 m
Largeur	2 800 mm
Capacité nominale et confort	1 000 voyageurs (20 % de places assises)
Masse	200 à 350 t
Portes	3 portes par face et par voiture (1,65 m)
Services à bord	Information voyageur embarquée, vidéosurveillance, interphonie, connectivité
Éclairages	
Puissance d'un éclairage latéral par mètre linéaire	8 W·m ⁻¹
Puissance d'un éclairage central	25 W
Puissance d'un éclairage de seuil de porte	5 W

DT6 : structure béton

La "boîte de la gare"

La construction de la gare commence par la réalisation de la "boîte de la gare". Sur tout le pourtour et la hauteur de la partie souterraine de l'édifice, des parois de 122 cm d'épaisseur sont coulées.

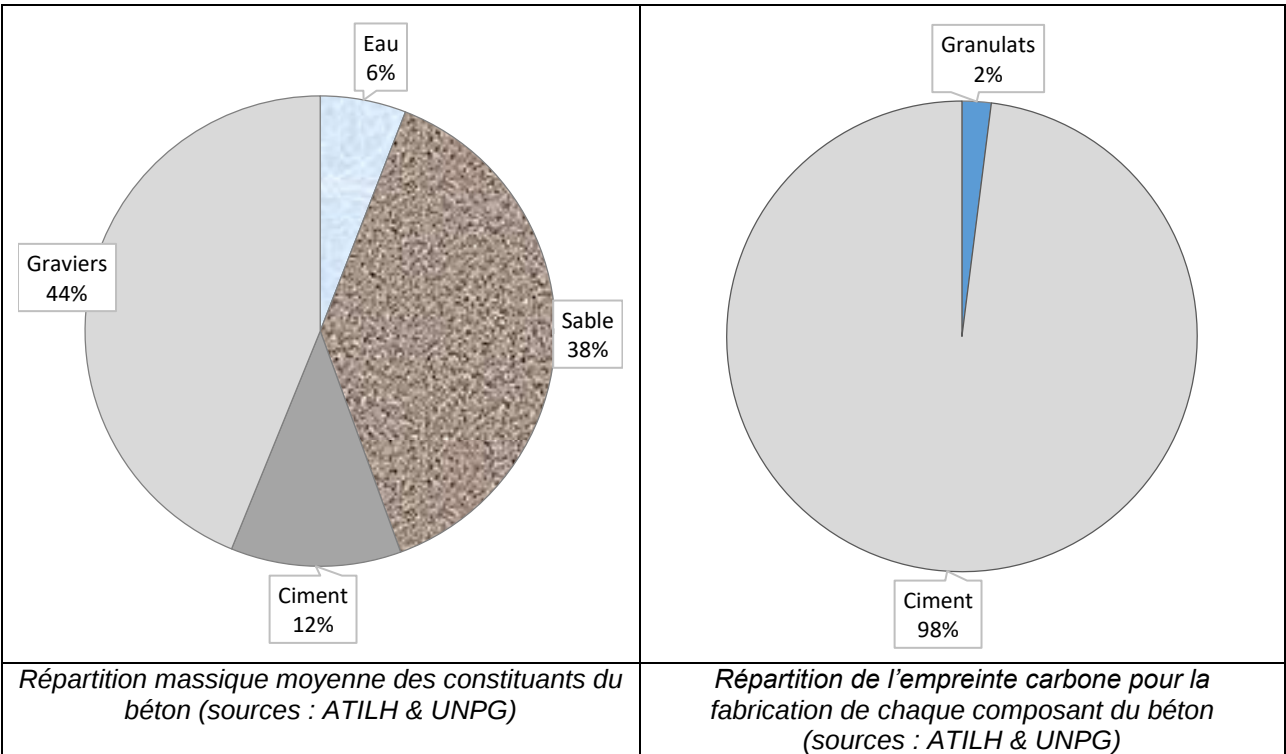
La boîte ainsi constituée, forme dans le sol, une enceinte étanche en béton armé. Pour la gare Arcueil-Cachan, 30 000 m² de parois moulées sont réalisés par panneaux successifs.



Exemple de paroi moulée

La fabrication du béton

Le béton est un mélange de plusieurs composants qui constituent un ensemble homogène (voir figure ci-dessous). Les études d'analyse de cycle de vie sur le béton et ses composés mettent en évidence la répartition donnée dans le deuxième diagramme ci-dessous.

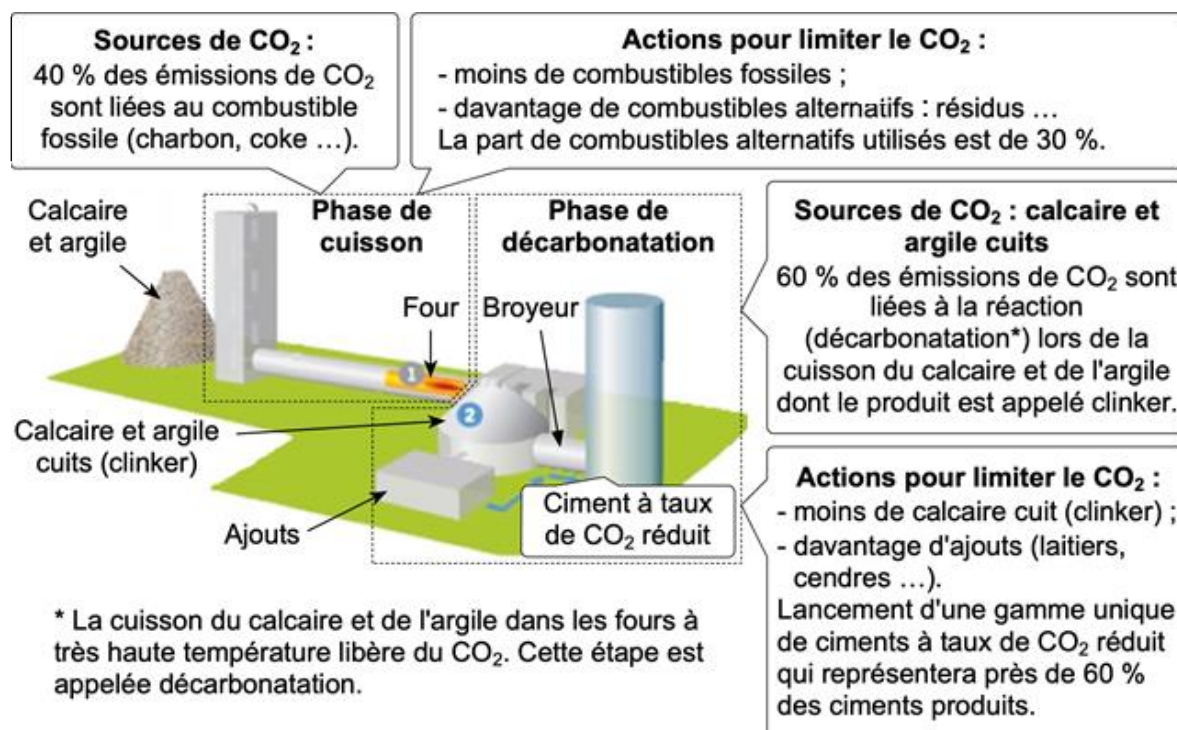


DT7 : empreinte environnementale du béton

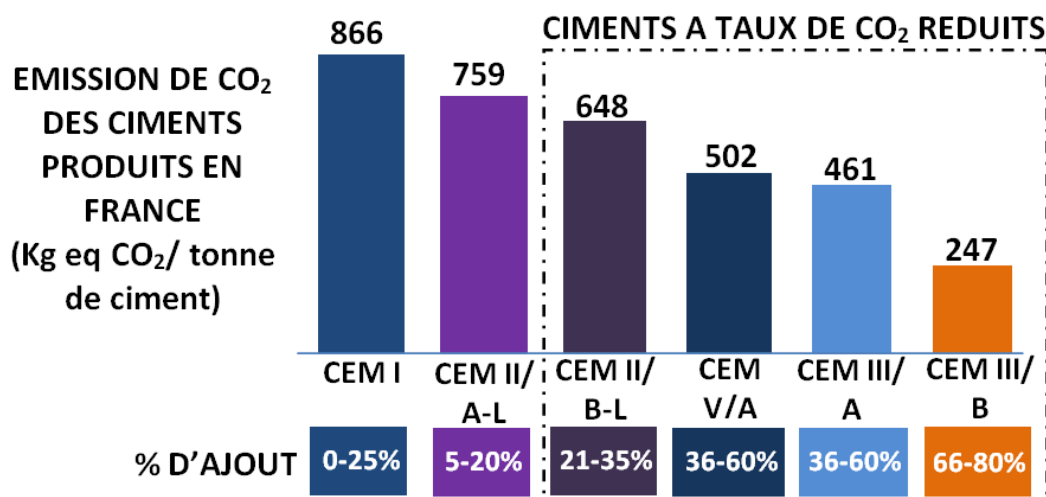
Process de fabrication du ciment, où se cache le carbone ?

Le ciment provient habituellement de la calcination du calcaire et de l'argile (le clinker), mélangés avec des produits d'addition. Le poids carbone du ciment est principalement dû au clinker en lien à deux phénomènes principaux :

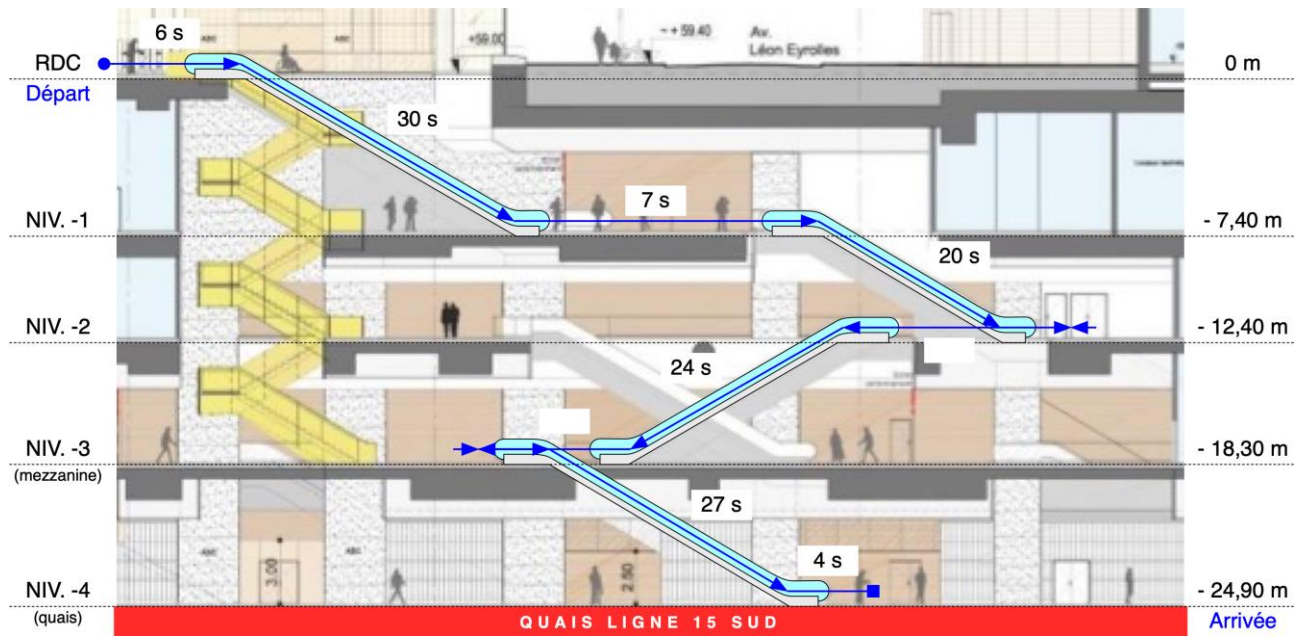
- la cuisson du clinker à 1 450 °C via des combustibles fossiles ou de substitution ;
- la décarbonatation du calcaire lors de la cuisson.



Émission de CO₂ des ciments produits en France



DT8 : exemple de trajet pour descendre sur les quais



DR1 : comparaison des empreintes environnementales des ciments CEM I et CEM III/A

	Ciment CEM I Ciment standard	Ciment CEM III/A Ciment bas carbone
Masse de ciment en tonne		
Émission de CO ₂ en kg eq CO ₂ par tonne de ciment	866	
Émission de CO ₂ totale en kg eq CO ₂	12 202 806	
Différence d'émission de CO ₂ du CEM III/A par rapport au CEM I		
Différence d'émission de CO ₂ du CEM III/A par rapport au CEM I en pourcentage		

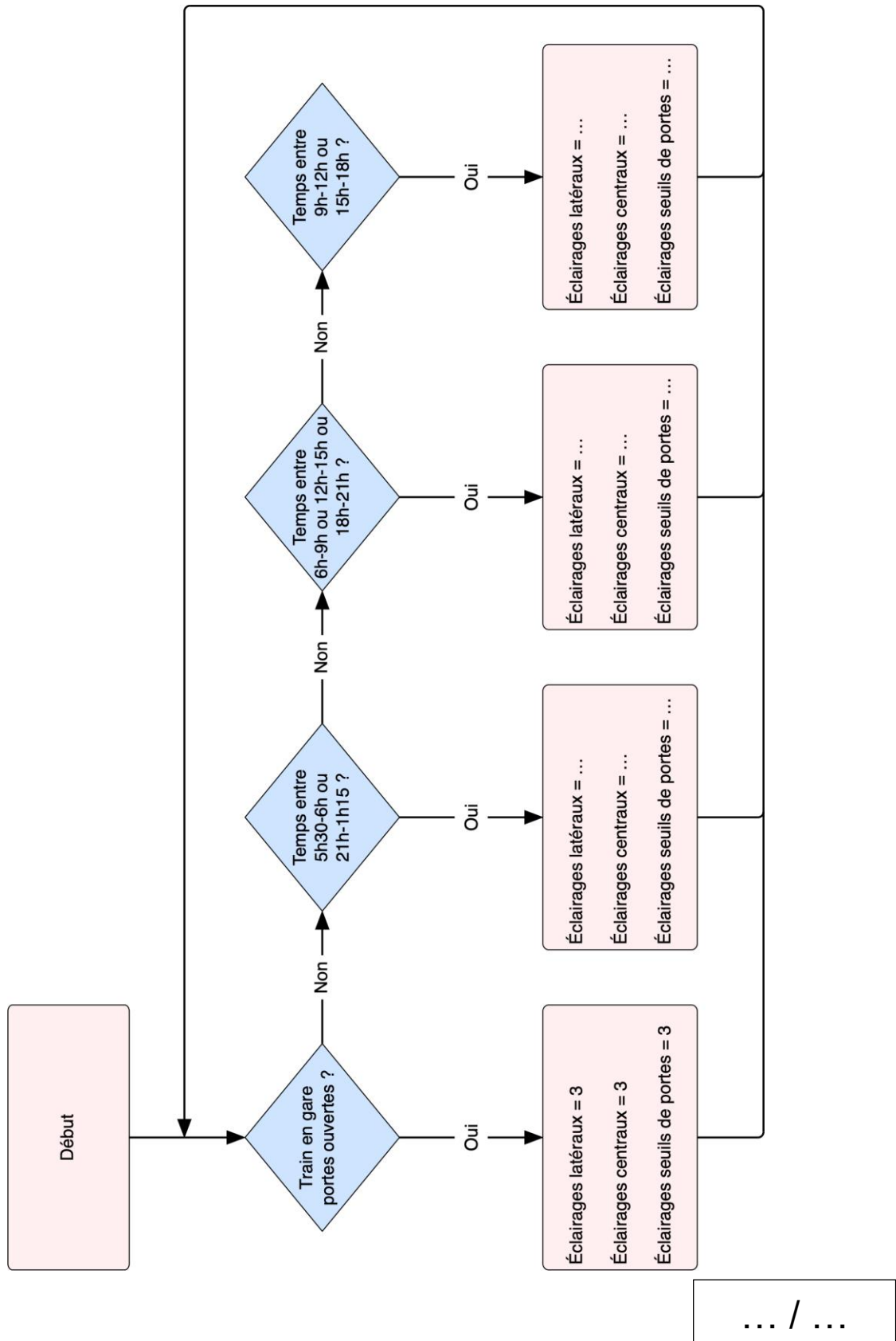
DR2 : calcul des énergies lumineuses

	Éclairages latéraux	Éclairages centraux	Éclairages seuils de porte
Puissance de l'éclairage en Watt pour 1 voiture			
Puissance consommée par l'éclairage du train			

... / ...

1.2

DR3 : algorithme de gestion des éclairages



1.2

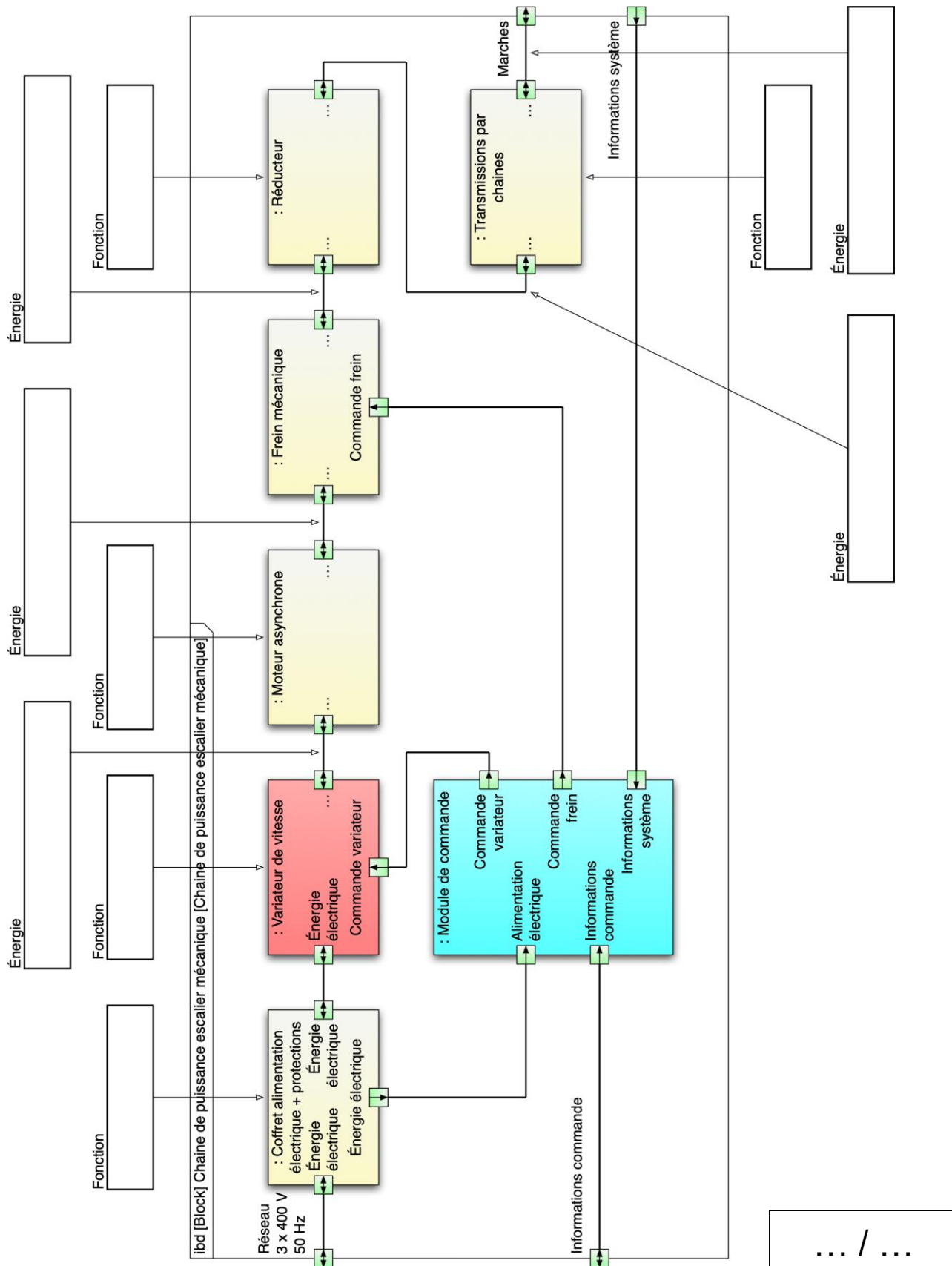
DR4 : consommation des éclairages en fonction du cycle circadien

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Pourcentage de la puissance	57 %	76 %	100 %
Puissance absorbée par les éclairages	1 225,5 W	1 634 W	2 150 W
Durée	4,75 heures		
Énergie consommée par les éclairages			

... / ...

1.2

DR5 : chaîne de puissance d'un escalier mécanique (entraînement des marches)



1.2

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION



- Présentation de l'étude et questionnement..... pages 24 à 27
- Documents techniques DTS1 à DTS6 pages 28 à 30
- Document réponses DRS1 page 31

Mise en situation

La gare d'Arcueil-Cachan est située dans une zone urbaine afin d'assurer, à terme, des dessertes efficaces et un usage adapté aux besoins. Son aménagement doit satisfaire à la fois aux conditions d'exploitation quotidienne des lieux et aux conditions d'évacuation (en cas de sinistre ou situation exceptionnelle).

Les quais de gares sont un point de rencontres et de retrouvailles. Les diffusions d'annonces ne doivent pas être source d'inconfort pour le voyageur. La correction acoustique de cet espace sera donc étudiée.

Un mur de soutènement de type paroi moulée est réalisé sur tout le pourtour et la hauteur de la partie souterraine de la gare. Il a pour rôle, entre autres, d'assurer la stabilité des terres extérieures à la fouille. En phases travaux, la stabilité de la paroi est assurée par des butons. L'objectif est de s'assurer que leur dimensionnement permet de résister aux charges et d'assurer la sécurité sur le chantier.

Travail demandé

Partie A : les aménagements permettent-ils d'offrir un confort acoustique adéquat aux voyageurs ?

La réglementation acoustique impose un temps de réverbération à ne pas dépasser pour garantir un confort au niveau des quais. La vérification se fera pour la fréquence 1 000 Hz.

Question A.1	Citer , en argumentant, au moins une solution permettant de diminuer la réverbération dans un local fermé.
--------------	---

Question A.2	Calculer le volume du quai, pour la direction « DÉFENSE ».
--------------	---

DTS1

Question A.3	Calculer sur le document-réponse DRS1, l'aire d'absorption équivalente (A) du quai, pour la fréquence 1 000 Hz.
--------------	--

DTS2, DRS1

D'après l'arrêté du 20 avril 2017, l'aire d'absorption équivalente d'un ERP doit représenter au moins 25 % de la surface au sol des locaux pouvant accueillir du public.

Question A.4 | **Calculer** l'aire d'absorption équivalente minimum $A_{\min}$ permettant d'être en accord avec l'arrêté du 20 avril 2017.

Question A.5 | **Calculer** le temps de réverbération du quai pour la fréquence 1 000 Hz.

DTS3, DRS1

Question A.6 | **Conclure** sur le respect de l'exigence de l'aire d'absorption équivalente et du temps de réverbération lors de la conception du quai.

DTS2

Partie B : comment assurer la protection des travailleurs contre l'ensevelissement lors des travaux dans la partie enterrée de la gare ?

La gare est composée d'une partie en surface et d'une grande partie enterrée. Le tunnel de passage du métro se situe à 25 m sous la terre. Afin d'assurer la stabilité des terres extérieures à la fouille, un mur de soutènement de type paroi moulée est réalisé sur tout le pourtour et la hauteur de la partie souterraine de la gare. En phase travaux, la stabilité de la paroi est assurée par des butons. En phase service, cette stabilité est assurée par le radier et les différents niveaux de planchers.

L'objet de cette partie est de s'assurer que les butons permettent de travailler en toute sécurité sur le chantier.

Question B.1 | **Énumérer** les efforts extérieurs appliqués aux butons dans cette configuration.

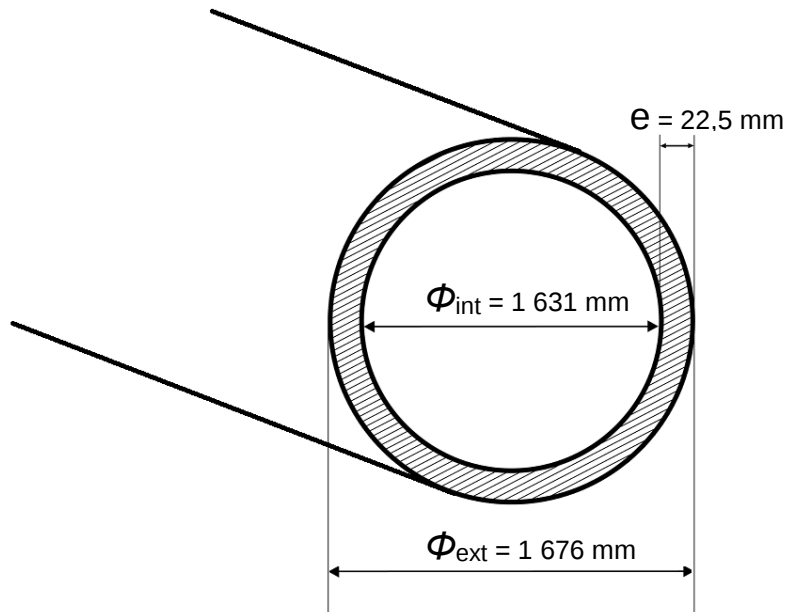
DTS3

La longueur des butons varie de 24 m à 28 m

Question B.2 | En **déduire** le phénomène d'instabilité, autre que la compression proprement dite, auquel est soumis chaque bouton.

DTS3

Les boutons métalliques sont constitués de tubes creux, dont la dimension de la section transversale est donnée ci-dessous :



Question B.3 | **Calculer** en m^2 l'aire de la section transversale d'un bouton métallique.

Pour le bouton considéré :

- $f_y = 440\text{ MPa}$ (limite élastique du tube d'acier)
- $A = 0,117\text{ m}^2$ (Aire de la section transversale)
- $E = 210\,000\text{ MPa}$
- Longueur $L = 25\text{ m}$

Les modélisations réalisées avec un logiciel de calcul de structures donnent un effort normal à l'état limite ultime (ELU) $N_u = 13,095\text{ MN}$ dans le bouton considéré. La vérification est faite en négligeant le flambement.

Question B.4 | **Calculer** la contrainte normale dans le bouton σ en MPa, arrondie au MPa supérieur.

Question B.5 | **Calculer** le coefficient de sécurité s appliqué sur la contrainte normale dans le bouton en comparant la contrainte normale à la limite élastique du bouton.

Commenter le résultat.

Les modélisations réalisées avec un logiciel de calcul de structures donnent une contrainte normale à l'état limite de service (ELS) $\sigma_{\text{ser}} = 90 \text{ MPa}$ dans le bouton considéré. Le flambement n'est pas pris en compte.

Question B.6

Rappeler la relation liant σ_{ser} , E et l'allongement relatif ε .

Rappeler la relation liant ε , L et la variation de longueur ΔL .

Question B.7

Calculer l'allongement relatif ε du bouton.

Calculer le raccourcissement ΔL du bouton en mm sous l'effet de l'effort normal.

En déduire la longueur du bouton sous l'effet de l'effort normal.

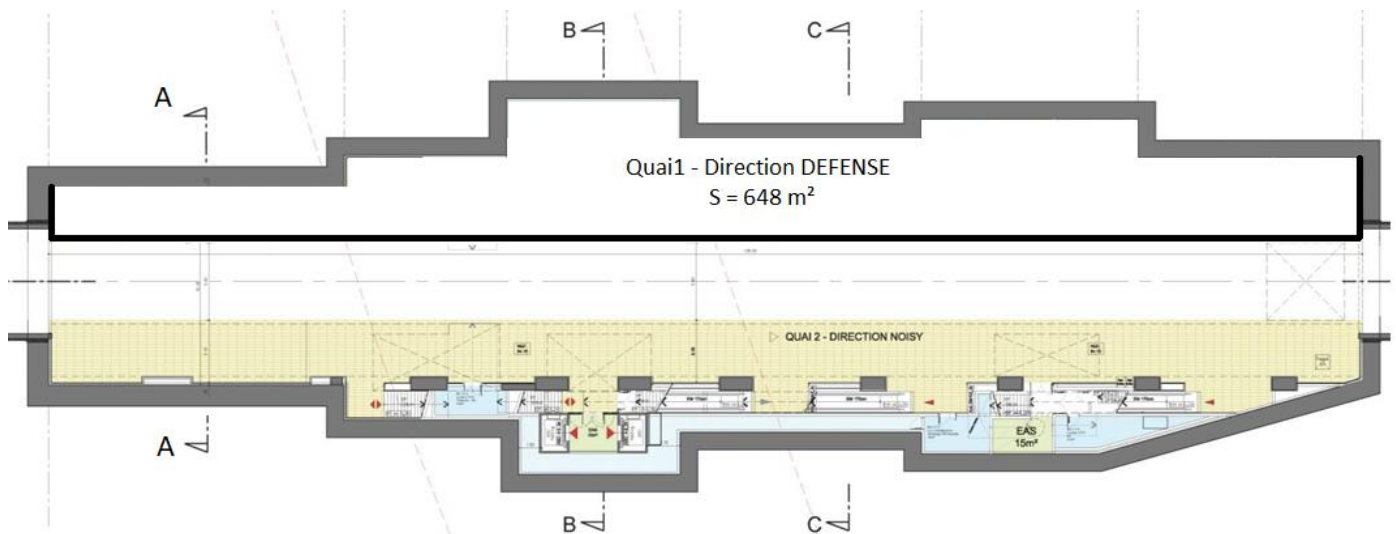
Question B.8

Conclure sur la sécurité des personnes travaillant sur le chantier pendant les travaux entre les parois moulées.

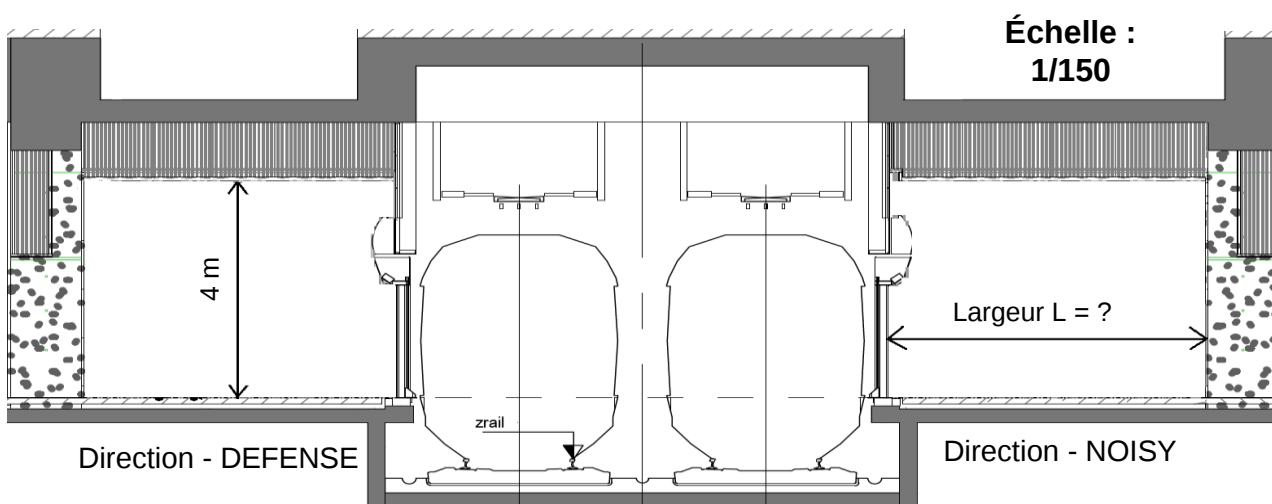
DTS1 : extrait du plan des quais de la future gare d'Arcueil-Cachan



Vue en coupe et structure interne de l'ouvrage souterrain



Vue en plan du niveau -4 (Quais)



Coupe A-A (niveau -4 -Quais)

DTS2 : réverbération acoustique

La réverbération est une caractéristique essentielle d'un local. Un local trop réverbérant provoque la superposition et le mélange des syllabes, c'est l'effet « cathédrale ». Le temps de réverbération maximal Tr recommandé pour les différents espaces de la gare est donné dans le tableau ci-dessous :

Local	Temps de réverbération maximaux autorisés	
	Fréquence sonore de 125 Hz à 250 Hz	Fréquence sonore de 500 Hz à 4000 Hz
Accueil RDC	$Tr \leq 2,6 \text{ s}$	$Tr \leq 1,7 \text{ s}$
Mezzanine d'accès aux quais	$Tr \leq 2,4 \text{ s}$	$Tr \leq 1,7 \text{ s}$
Quais	$Tr \leq 1,9 \text{ s}$	$Tr \leq 1,3 \text{ s}$

- L'aire d'absorption équivalente (en m^2)

L'aire d'absorption équivalente à une fréquence donnée est la somme des produits des surfaces des parois d'un local par leur indice d'évaluation de l'absorption α respectif.

$$A = \sum_i^n \alpha_i \cdot S_i$$

A : en m^2
 S_i : surface (en m^2) de la paroi
 α_i : coefficient d'absorption du matériau (donné par bande d'octave)

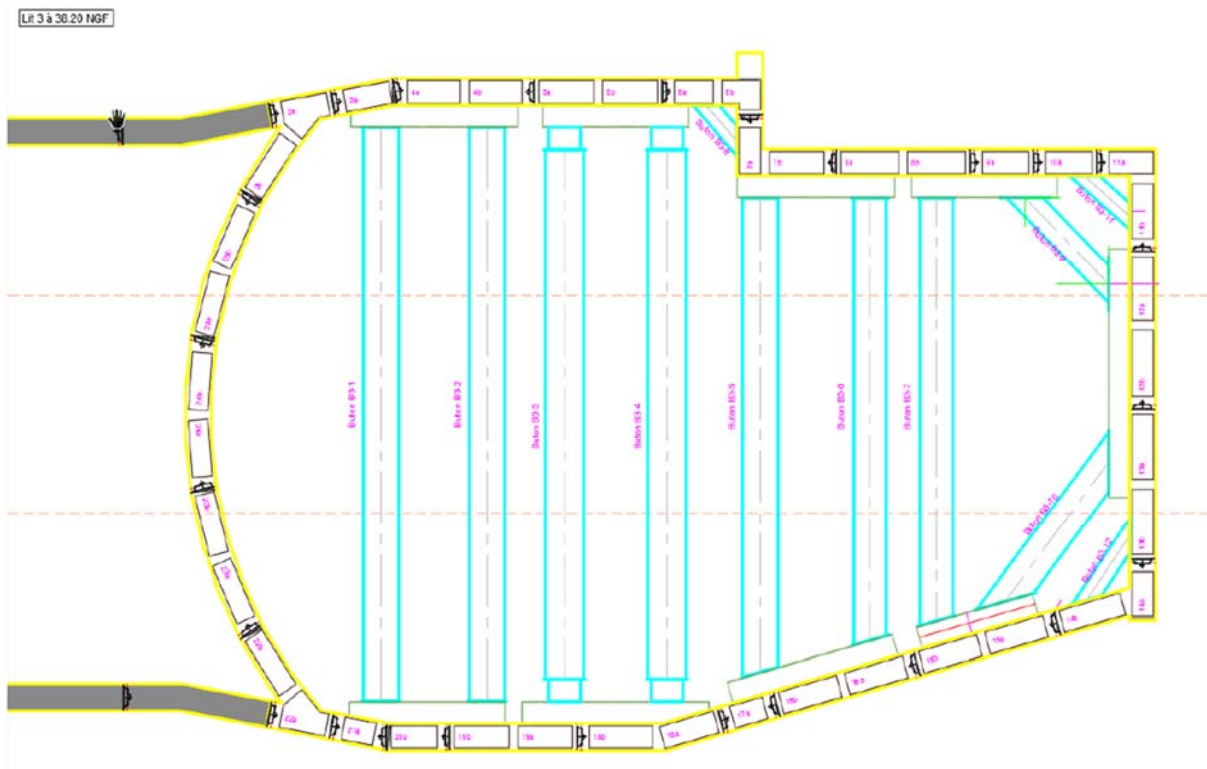
- Calcul du temps de réverbération :

Le temps de réverbération (Tr en s) par bande d'octave peut être déterminé par la formule de Sabine.

$$Tr = \frac{0,16 \cdot V}{A}$$

Tr : en seconde (s)
 V : volume de la pièce étudiée (en m^3)
 $0,16$: constante de Sabine (en $s \cdot m^{-1}$)
 A : aire d'absorption équivalente du local (en m^2)

DTS3 : butonnage des parois



Plan de butonnage des parois (Zone Est)



Exemple de butonnage d'une paroi (le moniteur)

Question A3 – Calcul de l'aire d'absorption équivalente du quai direction « DÉFENSE ».

Éléments	Surface en m ²	Fréquence = 1 000 Hz	
		Coefficient d'absorption α	S x α
Sol		0,03	
Murs en béton	860	0,04	34,4
Lattes de bois	248	0,95	
Verre	452	0,02	9,04
Voyageurs			55
Mobilier de la gare			10
Aire d'absorption équivalente A en m ²			

