BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

MERCREDI 09 SEPTEMBRE 2026

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 32 pages numérotées de 1/32 à 32/32.

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 numéroter et à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE COMMUNE (2,5h) ..... 14 points

Grand Paris Express

Ligne 15 Sud

Gare Arcueil-Cachan



Source Grand Paris Express

- Présentation de l'étude et questionnement ..... 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.

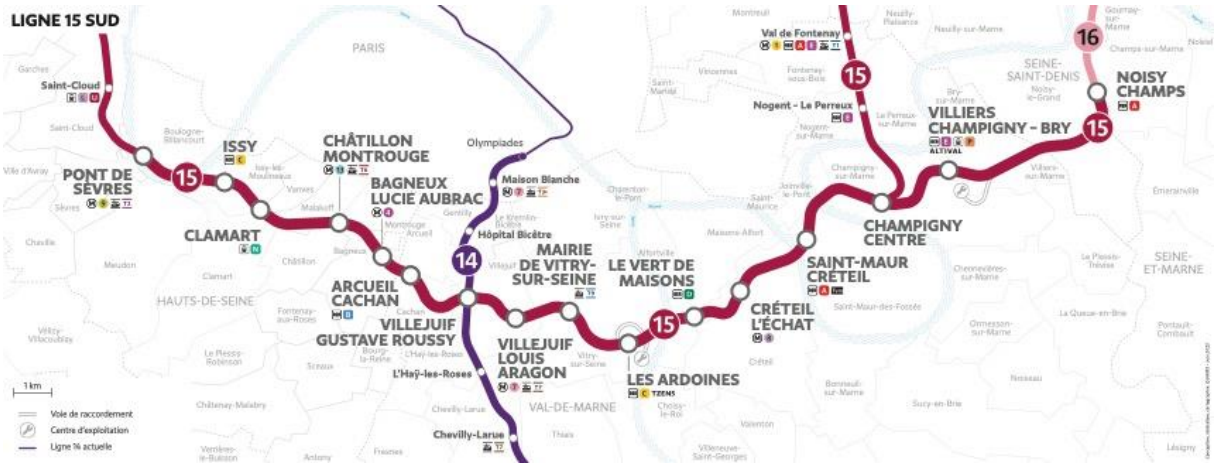
Le métro et le RER forment aujourd'hui un réseau en étoile. Grâce au Grand Paris Express, il sera possible de se rendre d'un point à un autre en Île-de-France sans forcément passer par Paris.

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 $km \cdot h^{-1}$.

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 DT2	**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). **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.

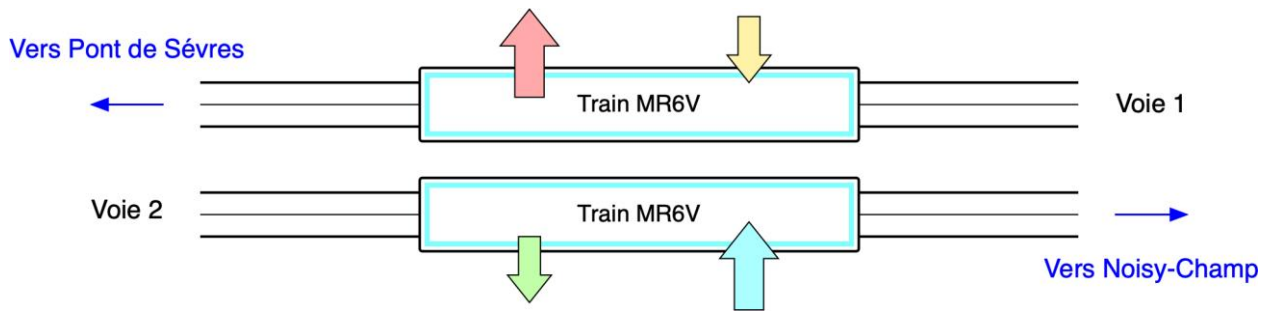
Question 1.3 DT2	**Calculer** les émissions de GES d'un voyageur pour effectuer un trajet complet de "Pont de Sèvres" à "Noisy-Champs" effectué via la ligne 15 Sud. **Calculer** la réduction d'émissions de GES d'un voyageur (en pourcentage) par rapport à la solution actuelle (métro + RER).

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 DT3	**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.

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 CO_2, 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 CO_2 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 CO_2 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 DT5 DR2	**Compléter** la ligne "Puissance de l'éclairage en Watt pour 1 voiture" du document-réponse DR2.

La puissance des éclairages des seuils de porte est négligeable.

Question 3.2 DT5 DR2	**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.

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.

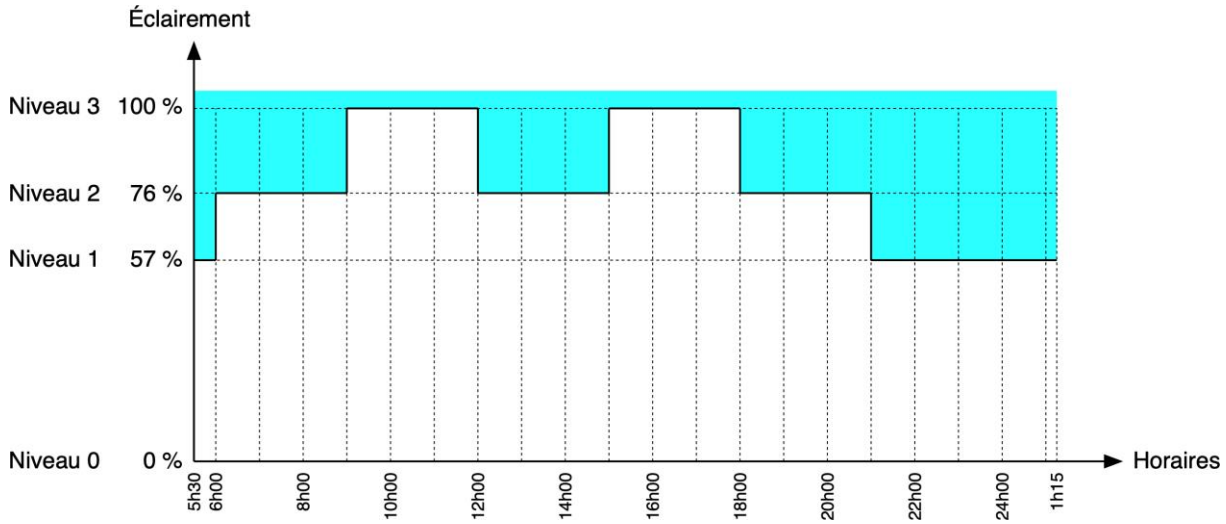
Ils absorbent une puissance totale de 2 150 W.

Question 3.3 | **Calculer** l'énergie totale consommée en kWh 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'algorigramme 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

Pour chacun des trois niveaux d'éclairage du cycle circadien :

- **déterminer** les durées correspondantes ;
- en **déduire** l'énergie consommée par les éclairages.

Compléter le tableau fourni sur le document-réponse DR4 avec les résultats obtenus.

Question 3.6

Calculer l'énergie totale consommée en kWh par les éclairages du train en fonction du cycle circadien pour une journée.

Question 3.7

Conclure sur l'utilisation du cycle circadien pour réduire l'énergie consommée par les éclairages du train.

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

Compléter le diagramme de bloc interne en donnant la fonction des blocs indiqués à l'aide du vocabulaire suivant : Adapter, Alimenter, Convertir, Distribuer, Transmettre.

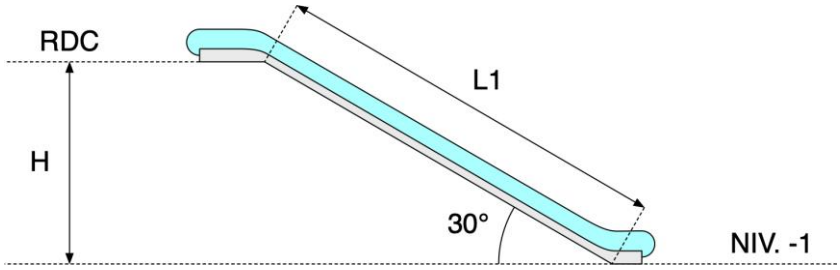
Question 4.2

DR5

Identifier les types d'énergies indiqués sur le diagramme de bloc interne en complétant les cases correspondantes.

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.



$$\sin(30°) = \frac{H}{L1}$$

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

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

DT8

Comparer le temps obtenu dans la question précédente avec celui indiqué sur le schéma.

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

DT4

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

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 CO_2e soit CO_2équivalent) correspondant à la quantité d'émissions de CO_2 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

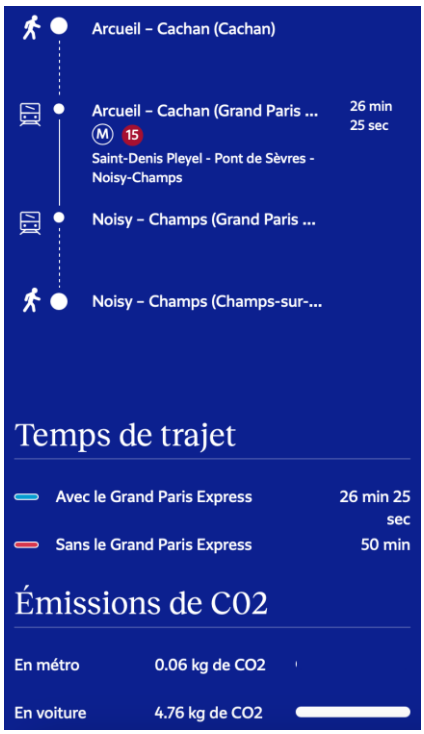
	Émission d'un voyageur parcourant 1 km en gCO_2e par voyageur et par kilomètre
Métro	3,8
Train ou RER en Île-de-France	6,6
Bus RATP	89
Voiture	134

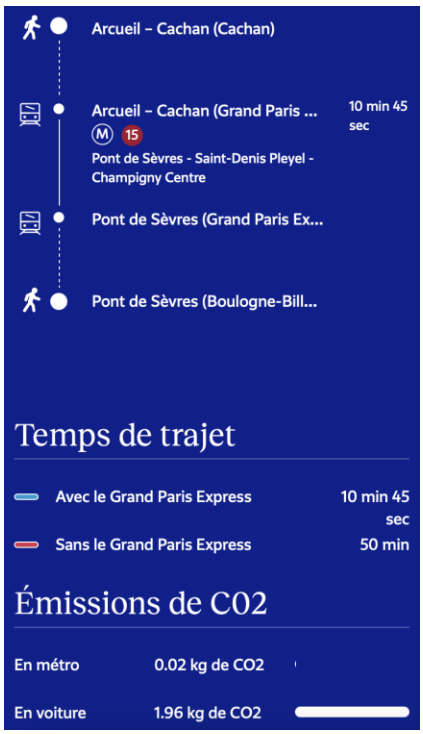
Source : extrait de "Information GES des prestations de transports - Guide méthodologique"
Valeurs actualisées en août 2023 sur la base de données d'entrée relatives à l'année 2022

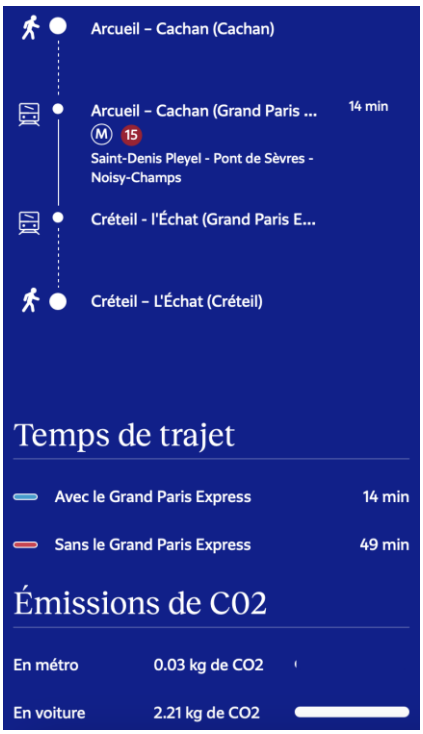
Distance parcourue actuellement pour se rendre de la gare Pont de Sèvres à Noisy-Champs

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

DT3 : exemples de trajets réalisés avec la ligne 15 Sud du Grand Paris Express







DT4 : horaires de passage des trains en gare

De 5h30 à 8h00	De 8h00 à 10h00	De 10h00 à 17h00	De 17h00 à 19h00	De 19h00 à 1h15
Un train toutes les **5 minutes**	Un train toutes les **2 minutes**	Un train toutes les **5 minutes**	Un train toutes les **2 minutes**	Un train toutes les **5 minutes**
Heures normales	Heures de pointes	Heures normales	Heures de pointes	Heures normales

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.



Voiture 1 Voiture 2 Voiture 3 Voiture 4 Voiture 5 Voiture 6

Caractéristiques principales	
Exploitation	Mode automatique intégral
Roulement	Fer
Motorisation	4 voitures sur 6 motorisées
Vitesse maximale d'exploitation	110 $km \cdot h^{-1}$
Accélération	1,1 $m \cdot s^{-2}$
Freinage	1,2 $m \cdot s^{-2}$
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 $W \cdot m^{-1}$
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.

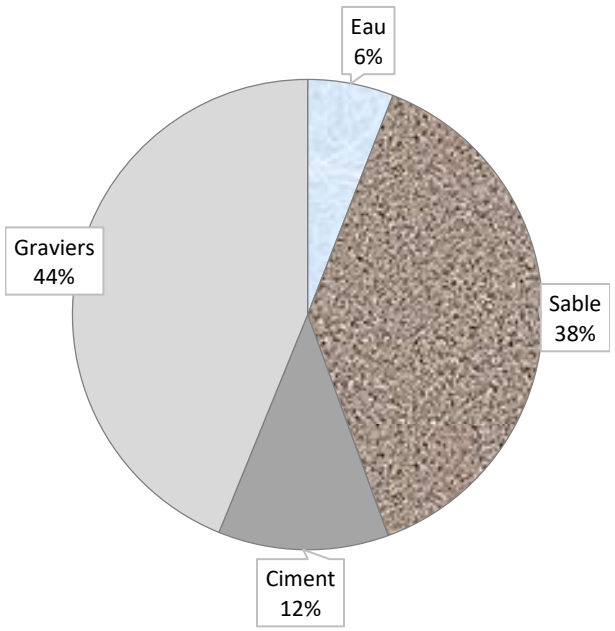
La boîte ainsi constituée, forme dans le sol, une enceinte étanche en béton armé. Pour la gare Arcueil-Cachan, 30 000 m^2 de parois moulées sont réalisés par panneaux successifs.



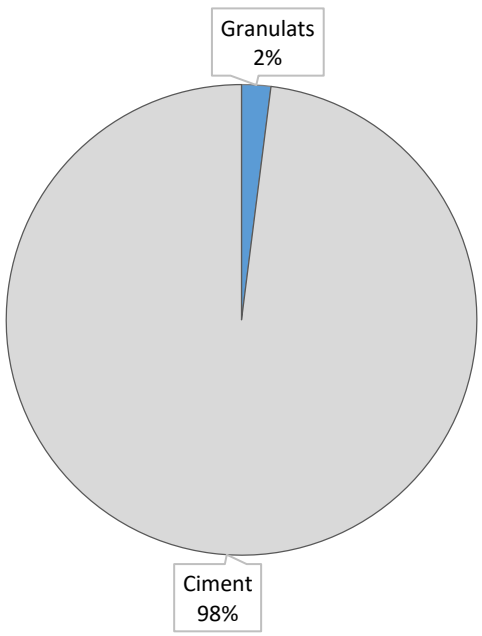
Exemple de paroi moulée

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.



Répartition massique moyenne des constituants du béton (sources : ATILH & UNPG)



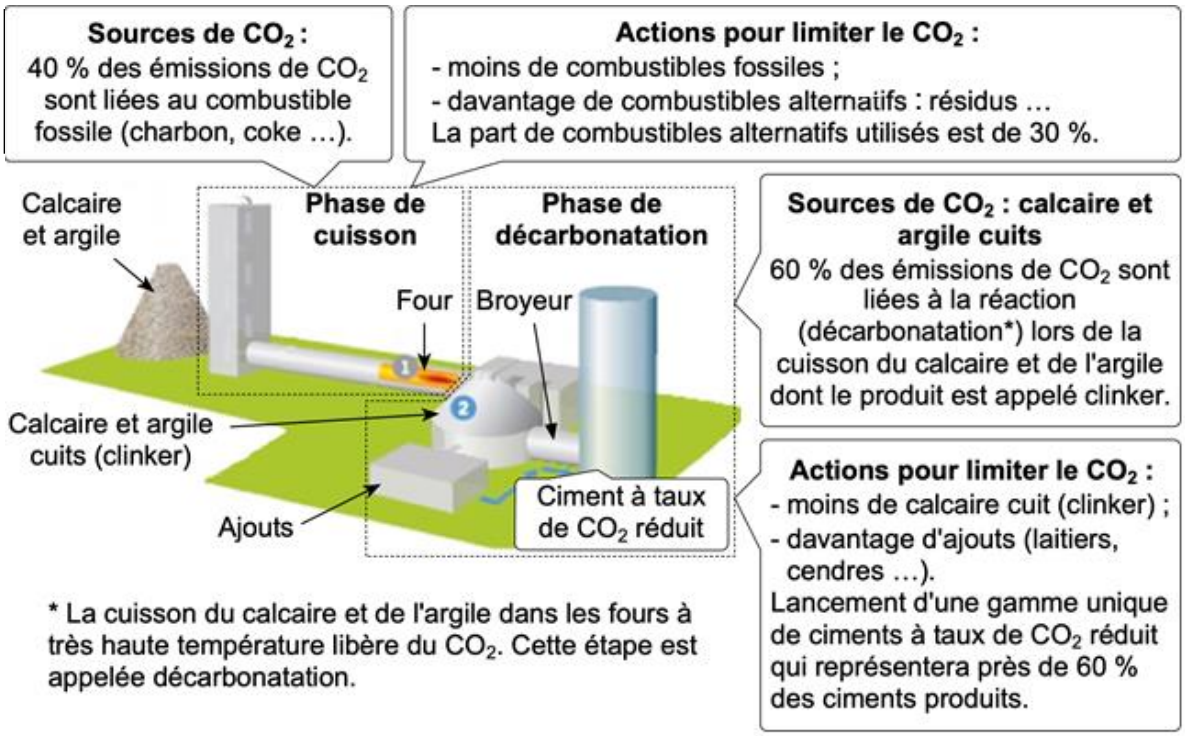
Répartition de l'empreinte carbone pour la fabrication de chaque composant du béton (sources : ATILH & UNPG)

DT7 : empreinte environnementale du béton

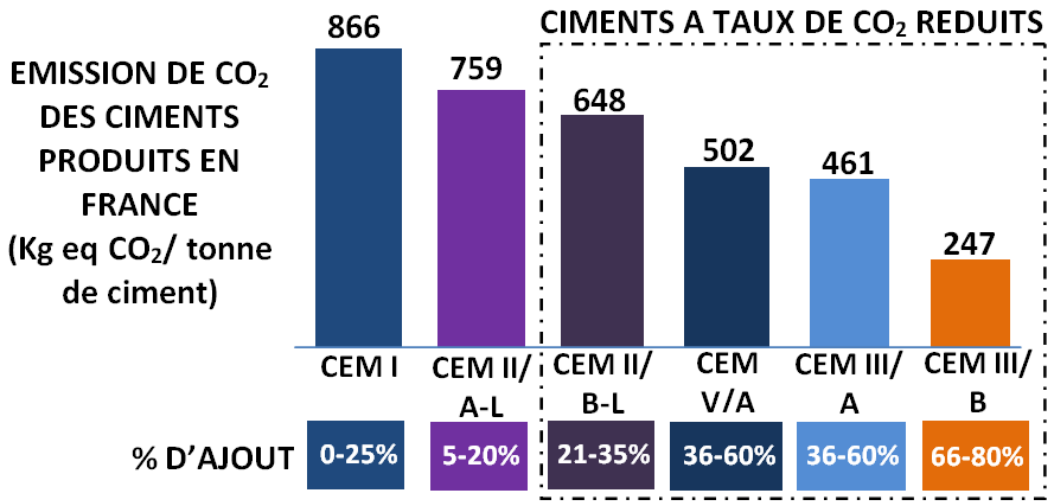
Process de fabrication du ciment, où se cache le carbone ?

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 :

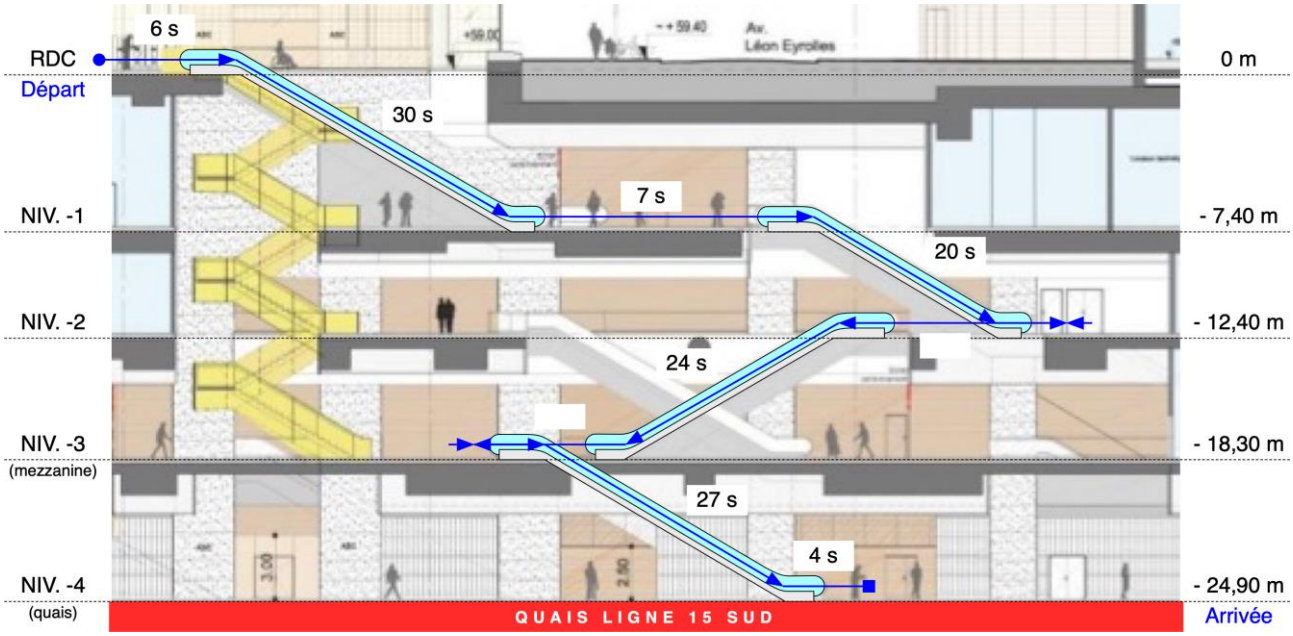
- la cuisson du clinker à 1 450°C via des combustibles fossiles ou de substitution ;
- la décarbonatation du calcaire lors de la cuisson.



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			

… / …

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

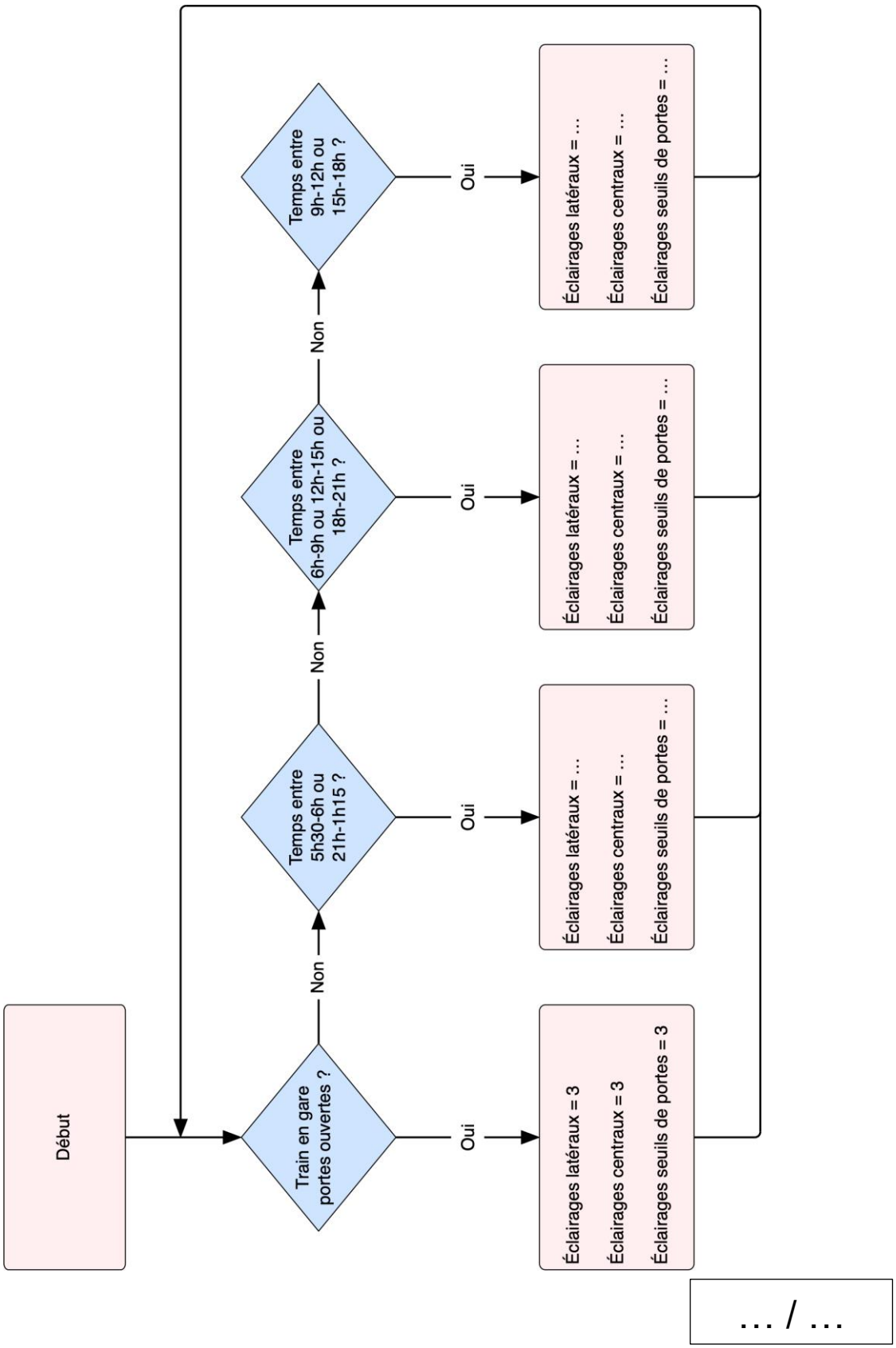
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DR3 : algorigramme de gestion des éclairages



… / …

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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			

… / …

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

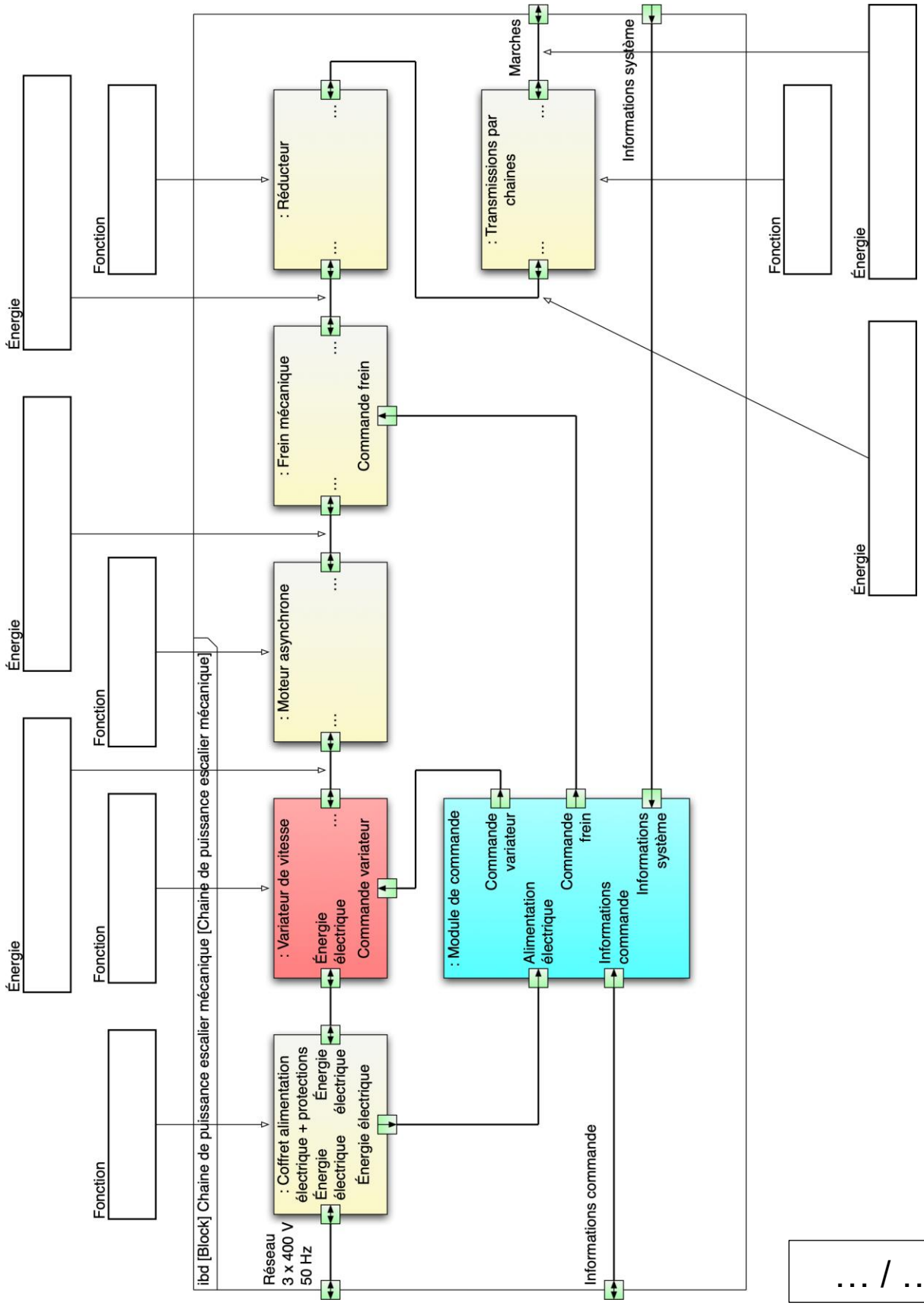
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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



… / …

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

PARTIE SPÉCIFIQUE (1h) ..... 6 points

Vous prendrez une nouvelle copie pour traiter cette partie.

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Grand Paris Express

Ligne 15 Sud

Gare Arcueil-Cachan



Source Grand Paris Express

- Présentation de l'étude et questionnement ..... pages 24 à 28
- Documents techniques DTS1 à DTS5 ..... pages 29 à 32

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

Mise en situation

La gare d'Arcueil-Cachan est l'une des 16 gares desservies par la ligne 15 Sud du Grand Paris Express. Toutes différentes, elles partagent néanmoins une ambition commune pour le confort des voyageurs et leur sécurité.

La construction de sa partie souterraine, nichée sous les voies ferrées du RER B, a représenté un défi technique ambitieux.

Travail demandé

Partie A : comment optimiser le temps d'échange voyageur en garantissant la sécurité des usagers ?

Les voyageurs accéderont au métro en franchissant des portes palières automatiques et sécurisées, séparant intégralement les voies du quai.

Afin d'optimiser le temps d'échange voyageur, il est important de vérifier que le temps de fermeture de ces portes palières est le plus petit possible, sans risque de blesser les usagers.

Les portes palières automatiques sont composées de deux vantaux (parties mobiles).

Les dimensions d'un vantail sont les suivantes :

- Largeur = 900 mm
- Hauteur = 2 200 mm
- Épaisseur = 20 mm



Représentation d'un quai de la gare d'Arcueil-Cachan

Afin de simplifier cette étude, les vantaux sont considérés entièrement en verre.

La masse volumique du verre est ρ_{verre} = 2 500 kg·m^{-3}

Question A.1	**Calculer** la masse d'un vantail en kg.

D’après la norme NF EN 14752, l’énergie cinétique des portes palières ne doit pas dépasser 20 joules pour les deux vantaux lors de leur fermeture.

Question A.2 | **Déterminer** l’énergie cinétique à ne pas dépasser pour un vantail.

Pour la suite de l'étude, la masse d’un vantail est m = 100 kg.

La formule de l’énergie cinétique est :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

- E_c : énergie cinétique en J
- m : masse en kg
- v : vitesse en $m \cdot s^{-1}$

Question A.3 | **Calculer** la vitesse maximale de fermeture d’un vantail.

Question A.4 | Pour chacune des trois phases du mouvement du vantail, **indiquer** si le mouvement est accéléré, décéléré ou si le vantail se déplace à vitesse constante.

DTS1

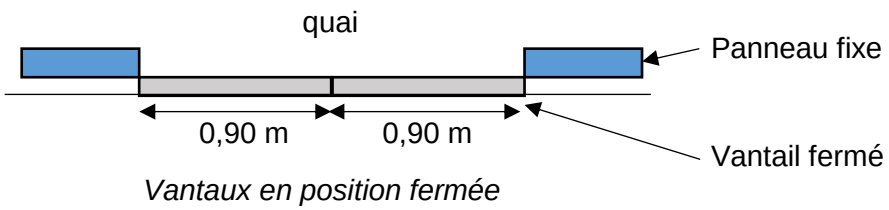
Question A.5 | **Relever** la durée de la phase 1 d’un vantail.

DTS1

Lors de la phase 1, un vantail parcourt 10 cm.

Lors de la phase 3, les vantaux sont ralentis sur les 10 derniers centimètres avant la fin de course, dans un intervalle de temps égal à 0,5 seconde.

Le temps de fermeture attendu (phase 1 + phase 2 + phase 3) est de 3 s ± 0,5.



Vantaux en position fermée



Vantaux en position ouverte

Question A.6 DTS1	**Relever** l'accélération lors de cette première phase de mouvement.

Question A.7 DTS1	**Calculer** la vitesse atteinte à la fin de la phase d'accélération. **Comparer** ce résultat avec la vitesse maximale calculée précédemment, puis **conclure** vis-à-vis du risque de blesser les usagers.

Un vantail s'ouvre ou se ferme en se déplaçant de 0,9 m au total.

Question A.8 DTS1	**Déterminer** la distance parcourue par un vantail, lors de la phase 2. **Calculer** la durée de cette phase.

Question A.9 DTS1	**Calculer** le temps de fermeture total et le **comparer** avec le temps de fermeture attendu.

Question A.10	**Conclure** sur l'optimisation du temps de fermeture de la porte, dans le respect de la norme NF EN 14752

Partie B : comment choisir le type de verre des panneaux de la façade de quai et vérifier leur déformation en cas de poussée d'une foule de voyageurs ?

Sur chaque quai de la ligne 15 Sud, 107 mètres de façades de verre assureront la sécurité des voyageurs et amélioreront l'exploitation des trains en limitant le risque d'intrusion dans le tunnel.



Vue de la façade de quai depuis les voies

Afin d'assurer la sécurité des usagers, le verre employé pour la façade de quai doit résister au vandalisme, à l'effraction et à la flexion. Il doit également être coupe-feu et ne pas être coupant en cas de casse.

Question B.1 DTS3	**Choisir** le type de verre en fonction de l'ensemble des critères du tableau du document-technique DTS4.

La hauteur de la façade de quai est décomposée comme suit de bas en haut :

- 2 200 mm de panneau de façade en verre ;
- 300 mm de bandeau technique ;
- 500 mm de bandeau lumineux ;
- 200 mm d'imposte architectural.

Les façades de quai doivent être dimensionnées en considérant la valeur de poussée de foule de l'Eurocode 1 (NF EN 1991-1-1 et NF P 06-111-2 et A1).

Question B.2 DTS2	**Déterminer** la catégorie d'usage pour un quai de gare. En **déduire** la charge linéique correspondant.

L'étude est réalisée sur un panneau de verre de 570 mm de largeur.

Question B.3	**Calculer** la force F_{foule} en N qui s'applique sur la largeur du panneau de façade.

Le vitrage feuilleté utilisé est du 99.1

Question B.4 DTS4	**Déterminer** l'épaisseur du vitrage en mm (le film PVC n'est pas pris en compte).

En présence du cas de charge extrême, la façade de quai doit conserver ses caractéristiques physiques et fonctionnelles. La déformation maximale acceptée pour le panneau est égale à 10 mm en partie haute.

Question B.5 DTS5	**Relever** la déformation maximale en mm. **Conclure** quant au respect du cahier des charges.

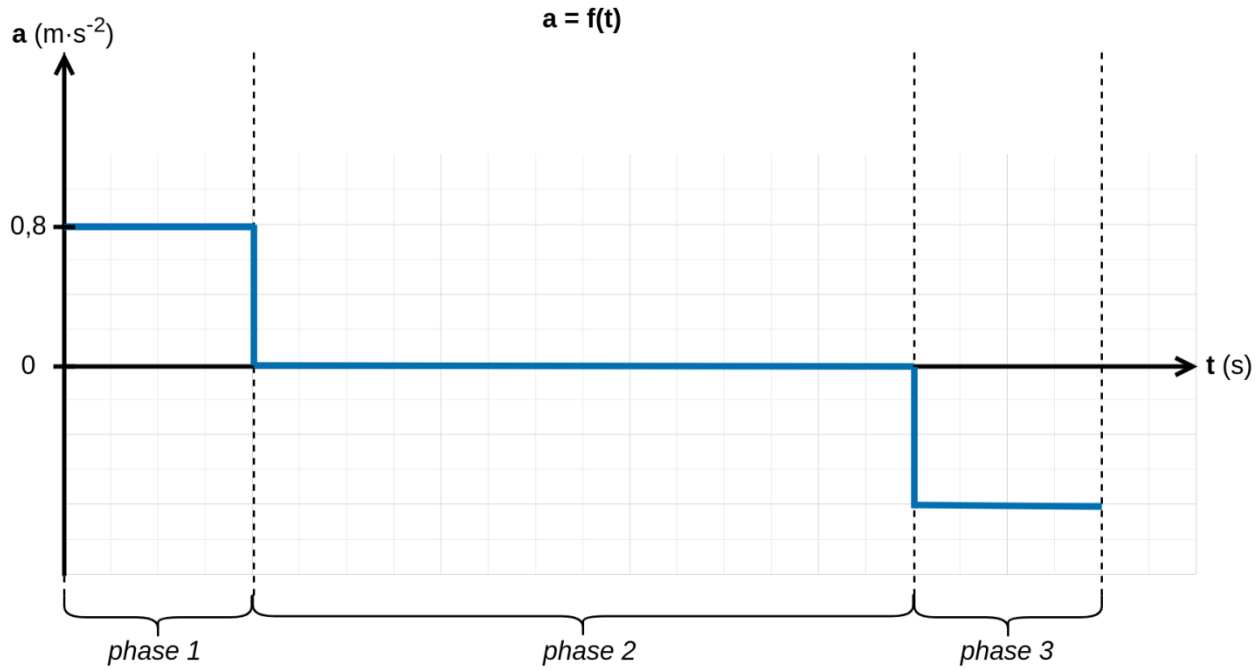
Question B.6 DTS5	**Relever** la contrainte maximale en MPa.

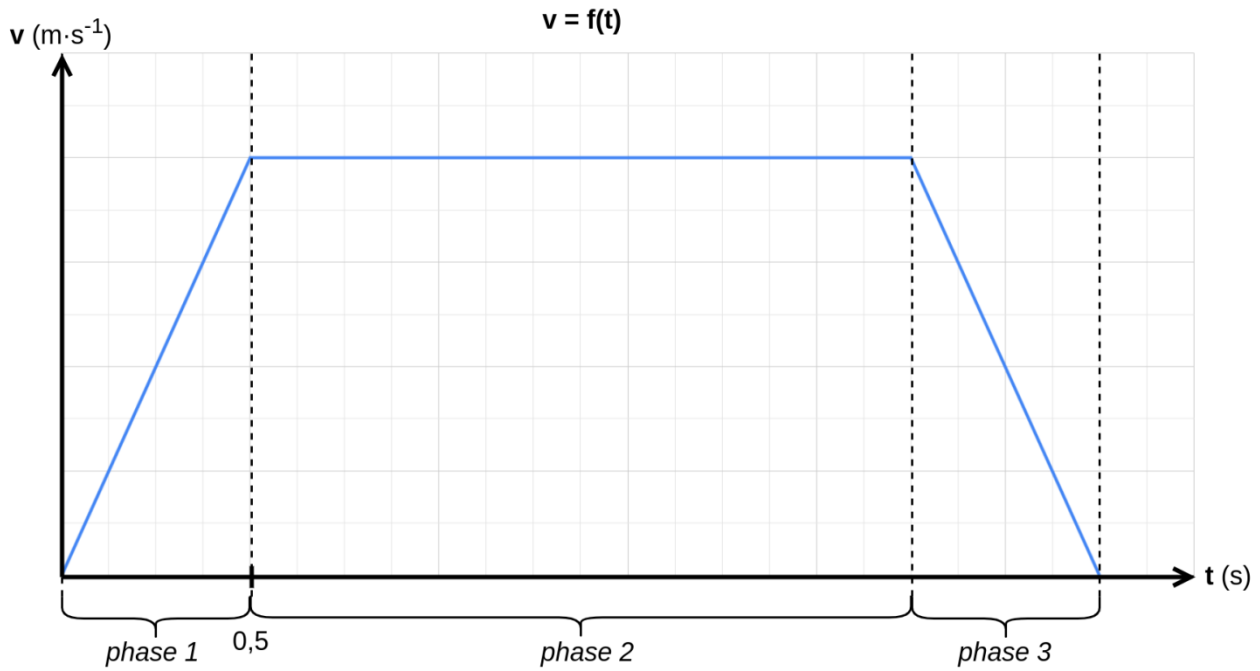
La résistance à la flexion du verre retenue est de 120 MPa.

Question B.7	**Calculer** le coefficient de sécurité résultant de cette étude et **conclure** vis-à-vis du choix du matériau et de l'épaisseur du verre.

DTS1 : étude de la fermeture d'un vantail

Graphes des accélérations et des vitesses d'un vantail en fonction du temps





DTS2 : norme Eurocode 1 - EN1991-1-1 (extrait)

L'EN 1991-1-1 définit des actions et fournit des indications pour la conception structurale de bâtiments et d'ouvrages de génie civil.

Catégories d'usages Bâtiments résidentiels, sociaux, commerciaux ou administratifs

Usage spécifique	Catégorie d'usage	Exemples
Habitation, résidentiel	A	Pièces des bâtiments et maisons d'habitation ; chambres et salles des hôpitaux , d'hôtels et de foyers ; cuisines et sanitaires.
Bureaux	B	
Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D)	C1	Espaces équipés de tables : écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception
	C2	Espaces équipés de sièges fixes : églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente
	C3	Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes : salles de musée, salles d'exposition et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux
	C4	Espaces permettant des activités physiques : dancings, salles de gymnastique, scènes
	C5	Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes : bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare
Commerces	D1	Commerces de détail courants
	D2	Grands magasins

Charges linéiques horizontales sur les murs de séparation et les garde-corps

Catégorie	charge linéique q ($kN \cdot m^{-1}$)
A	0,6
B et C1	0,6
C2 à C4 et D	1,0
C5	3,0

DTS3 : critères de choix du verre

Critères	Verre simple	Verre Trempé sécurisé	Verre Feuilleté
Résistance au vandalisme	-	+ +	+ +
Résistance à l'effraction	-	+ +	+ +
Résistance à la flexion	-	+	+ +
Protection incendie	+	-	+
Prévention des blessures par coupure en cas de casse	-	+	+ +

DTS4 : vitrage feuilleté

Le verre feuilleté est constitué de 2 ou plusieurs verres simples, ou transformés, collés entre eux par un ou plusieurs intercalaires en matières plastiques : le PVB (Butyral de Polyvinyle).

Désignation courante des vitrages feuilletés

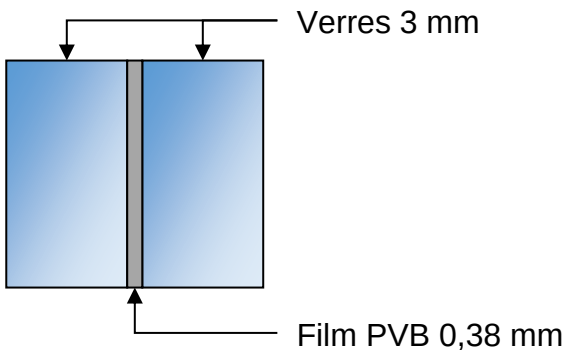
XX.Y

- À chaque valeur de X correspond l'épaisseur nominale d'un composant verrier.
- La valeur de Y indique le nombre de films PVB, l'épaisseur nominale d'un film étant de 0,38 mm.

Exemple :

Le feuilleté 33.1 est composé de deux verres de 3 mm et d'un film PVB de 0,38 mm.

On considère dans ce cas que l'épaisseur du vitrage est de 6 mm.



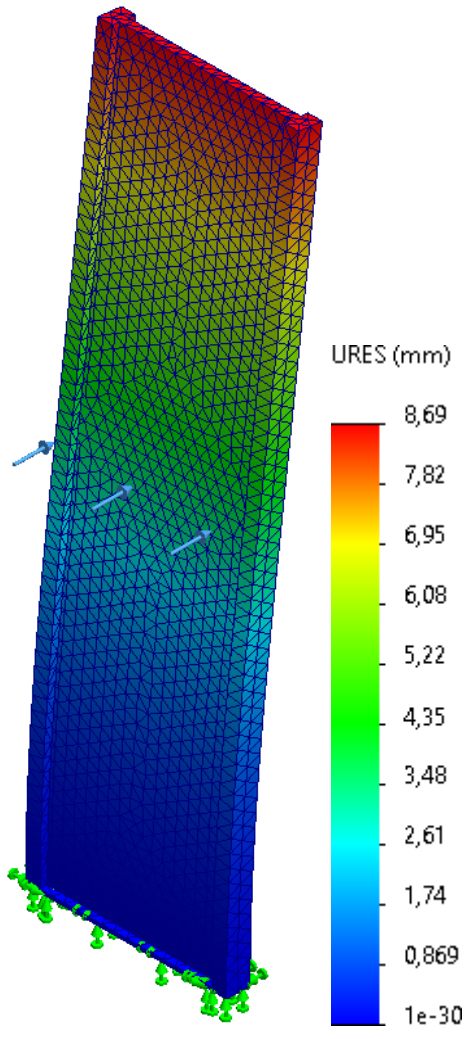
DTS5 : étude de RDM d'un panneau de la façade de quai

Hypothèses

- Choix des matériaux
  - Panneau en verre feuilleté
  - Montant en Aluminium
- Déplacements imposés
  - Les panneaux de la façade de quai doivent être conçus pour être autoportants sur chaque quai par son ancrage au sol.
- Actions mécaniques extérieures
  - La charge linéique s'applique horizontalement à 1,20 m depuis le quai fini.

Résultats de la simulation

Déformation / déplacement



Contraintes de Von Mises

