Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Concours du second degré

Rapport de jury

Concours : Agrégation interne

Section : sciences industrielles de l'ingénieur
Option : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions

Session 2016

Rapport de jury présenté par : Jean-Michel SCHMITT
Inspecteur général de l'éducation nationale et président du jury

SOMMAIRE

Résultats statistiques de la session 2016

Avant-propos 4

Eléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur 9

Rapport du jury de l'épreuve commune de sciences industrielles de l'ingénieur 39

Epreuve d'exploitation pédagogique d'un dossier technique 46

Epreuves d'admission

Activités pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique 51

Epreuve de soutenance de dossier technique et pédagogique 56

Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de Jury.

RÉSULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2016

	Inscrits	Nombre de postes	Présents aux deux épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
Public	186	6	125	14	6
Privé	24	1		2	1

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	13,7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	9,16
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	12,26
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	9,86

Avant-propos

La session 2016 du concours de l'agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions a été organisée dans la continuité des sessions précédentes en confirmant les attentes du jury conformes aux évolutions pédagogiques en cours.
Le concours doit donc valider le niveau de maîtrise des compétences nécessaires pour synthétiser les connaissances mobilisables pour répondre à un problème donné mais, aussi et surtout, pour élaborer des séquences pédagogiques.
Ces compétences, pour l'agrégation de sciences de l'ingénieur option ingénierie des constructions sont d'ordre scientifique, technologique, professionnel et pédagogique. Elles doivent aussi révéler le potentiel d'adaptabilité du candidat à faire évoluer ses pratiques pédagogiques et à montrer sa capacité à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution. Des constructions et ouvrages récents et innovants doivent illustrer en permanence nos enseignements. Les outils modernes utilisés pour conduire les projets industriels doivent être intégrés dans les enseignements.

Les deux épreuves d'admissibilité sont définies ainsi :

- **1ère épreuve : sciences industrielles de l'ingénieur**
  Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse aux besoins exprimés par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnique automatique. Durée : quatre heures ; coefficient 2.

- ***2ème épreuve : exploitation pédagogique d'un dossier technique***
  À partir d'un dossier technique fourni au candidat comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, dont le thème est proposé par le jury, relative aux enseignements technologiques du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" ou aux sciences de l'ingénieur de la voie scientifique du lycée, et aux enseignements des BTS du domaine considéré ainsi que les documents techniques et pédagogiques nécessaires (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation). Durée : six heures ; coefficient 1.

La première épreuve, commune aux trois agrégations SII, est construite de manière à évaluer un spectre large de compétences et de connaissances scientifiques, technologiques et professionnelles nécessaires à la maîtrise des activités de conception, de dimensionnement, d'analyse de comportement. Tous les champs liés à la matière, l'énergie et l'information sont susceptibles d'être couverts par les futurs sujets.

Afin de bien préparer la deuxième épreuve, je conseille fortement aux futurs candidats de lire attentivement les commentaires liés aux épreuves d'admission contenus dans ce rapport.

Les deux épreuves d'admission sont définies ainsi :

- **1ère épreuve : activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique**
  Pour l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions, le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi les deux proposés ci-après : constructions" ou "énergétique".
  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 de l'agrégation. La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques de spécialité du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" du lycée et des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie.
  L'épreuve a 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 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-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.*

  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 proposition pédagogique.
  Au cours de l'entretien, le candidat est conduit plus particulièrement à préciser certains points de sa présentation ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.
  Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures ; préparation de l'exposé : 1 heure ; exposé : 40 minutes maximum ; entretien : 20 minutes maximum) Coefficient 2.
  10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon.

- **2ème épreuve : dossier technique et pédagogique**
  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 en collège ou en lycée. L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants.
  L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils

permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.
En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), 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. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes en collège ou en lycée.
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.
Durée de totale de l'épreuve : une heure (présentation 40min ; entretien 20min) ; coefficient 1.
Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

La première épreuve comporte deux évaluations distinctes et complémentaires. Si les compétences scientifiques et technologiques sont évaluées dans la première partie, c'est bien une évaluation des compétences pédagogiques qui prédomine dans la deuxième partie. La difficulté des candidats à appréhender cette dernière montre l'importance d'une préparation réelle à ce type d'épreuve. L'ingénierie pédagogique est désormais au cœur de la réflexion et de l'action des enseignants. Elle induit une formalisation incontournable pour communiquer l'intention pédagogique de l'enseignant.

La deuxième épreuve, très exigeante, se prépare bien avant la date des épreuves d'admission. De la pertinence du choix du support technique, dépend la qualité du dossier. Ainsi, cette épreuve impose aux professeurs de s'engager, dès leur début de carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème authentique puis de concevoir une séquence d'enseignement en adaptant les documents techniques initiaux au niveau des élèves.

J'invite les futurs candidats et leurs formateurs à apporter une attention particulière à la préparation des épreuves demandant une approche pédagogique.
Les compétences pédagogiques attendues sont :

- Compétences disciplinaires et didactiques
    - Identifier des sources d'informations fiables et pertinentes
    - Maintenir une veille sur les nouvelles ressources disciplinaires et pédagogiques
    - Savoir préparer des séquences pédagogiques précisant les compétences et les objectifs attendus, et mettant en place une stratégie pédagogique pertinente
    - Analyser les besoins, progrès et acquis des élèves
    - Communiquer aux élèves et aux parents les objectifs, critères et résultats des évaluations
    - Intégrer les évolutions du numérique dans ses pratiques pédagogiques
    - Contextualiser les apprentissages pour leur donner un sens et faciliter leur appropriation par les élèves
    - Adapter son enseignement et son action éducative à la diversité des élèves
    - Savoir composer des groupes d'élèves pour organiser la classe
    - Organiser et gérer des groupes d'élèves dans des activités de projet
    - Déceler les signes du décrochage scolaire

- Compétences éthiques et déontologiques
    - Etre conscient de la relativité de ses savoirs
    - Aider les élèves à développer leur esprit critique et à distinguer les savoirs, les opinions et les croyances
    - Aider les élèves à savoir argumenter et respecter le point de vue des autres
    - Se mobiliser et mobiliser les élèves contre les stéréotypes et les discriminations
    - Participer à l'éducation aux usages responsables du numérique
- Compétences relationnelles
    - Adopter une démarche d'écoute active
    - Participer à la conception et à la mise en œuvre de projets collectifs disciplinaires et éducatifs
    - Gérer les conflits
    - Travailler en équipe
    - Installer avec les élèves une relation de confiance et de bienveillance
    - Savoir conduire un entretien, animer une réunion
- Compétences pédagogiques et éducatives
    - Maintenir une veille sur les recherches des différentes formes et pratiques pédagogiques et éducatives
    - Connaitre les processus d'apprentissage
    - Proposer des processus d'apprentissage innovants
    - Contribuer à la mise en place de projets interdisciplinaires
- Compétences de communication
    - Intégrer dans son activité l'objectif de maîtrise de la langue orale et écrite
    - Utiliser les technologies du numérique pour échanger et se former
    - Maitriser au moins une langue vivante au niveau B2
    - Mettre en place du travail collaboratif
- Compétences d'analyse et d'adaptation de son action
    - Exercer son analyse critique, seul ou entre pairs, de ses propres pratiques professionnelles
    - Identifier ses besoins de formation
    - Etre capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes

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.

ATTENTION : la définition des épreuves écrites d'admissibilité est modifiée à partir de la session 2017.
http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98755/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html

Nouvelle définition des épreuves écrites d'admissibilité :
Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique
Durée totale de l'épreuve : 5 heures
Coefficient 2

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie.
L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnique.

Elle permet également de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, relative à l'enseignement de technologie du collège ou aux enseignements technologiques du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" ou aux sciences de l'ingénieur de la voie scientifique du lycée, ainsi que les documents techniques et pédagogiques associés (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation).

Étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation
Durée totale de l'épreuve : 4 heures
Coefficient 1
L'épreuve est spécifique à l'option choisie.
L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Les conseils prodigués dans ce rapport restent pertinents pour la préparation des candidats aux épreuves écrites d'admissibilité de la session 2017.

Pour conclure, je souhaite que ce rapport de jury soit une aide efficace pour les futurs candidats à l'agrégation interne SII option ingénierie des constructions, ainsi qu'à leurs formateurs.

Jean-Michel SCHMITT
Président du jury

Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Coefficient 2 – Durée 4 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

Première partie – Étude de la chaine cinématique

Question 1. *A partir du modèle cinématique défini sur la figure 1, déterminer l'expression de k avec* $k = \left|\frac{\omega_{2/1}}{\omega_{5/1}}\right| = \left|\frac{\omega_{mot1}}{\omega_{rouem}}\right|$ *en fonction des nombres de dents Zi des différentes roues i. En déduire le nombre de dents Z_5 sachant que k = 53.*

$$\boxed{k = \left|\frac{\omega_{2/1}}{\omega_{5/1}}\right| = \left|\frac{\omega_{mot1}}{\omega_{rouem}}\right| = \frac{\boldsymbol{Z}_5\,\boldsymbol{Z}_{4-3}\,\boldsymbol{Z}_{3-2}}{\boldsymbol{Z}_{4-5}\,\boldsymbol{Z}_{3-4}\,\boldsymbol{Z}_2}}$$

A.N. :

Sachant que k = 53 alors $\boldsymbol{Z}_5 = \frac{k\,\boldsymbol{Z}_{4-5}\,\boldsymbol{Z}_{3-4}\,\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_{4-3}\,\boldsymbol{Z}_{3-2}} = \frac{53\times32\times21\times20}{71\times79} \approx 126{,}99$

Or $\boldsymbol{Z}_5$ *est un entier donc* $\boxed{\boldsymbol{Z}_5 = 127}$.

Question 2. *On suppose un roulement sans glissement des roues de l'avion par rapport à la piste. L'avion se déplace en ligne droite, sa vitesse par rapport à la piste est notée V(t), déterminer en fonction de V(t) l'expression de la vitesse de rotation des rotors des moteurs M1 et M2 par rapport au train principal. Ces vitesses seront notées respectivement* ω_{mot1} *et* ω_{mot2}.

Roulement sans glissement entre la roue motorisée <u>5</u> et la piste en A_1 donc :

$$\vec{V}(A_1, \text{roue motorisée/ piste}) = \vec{V}(A_1, 5/\text{piste}) = \vec{0}$$

De plus $\vec{V}(A_1, 5/\text{piste}) = \vec{V}(A_1, 5/1) + \vec{V}(A_1, 1/\text{piste})$

Alors $\vec{\Omega}_{5/1} \wedge \overrightarrow{C_1A_1} + V(t)\ \vec{y}_a = \vec{0}$

$\omega_{5/1}\ \vec{x}_a \wedge -R\ \vec{z}_a + V(t)\ \vec{y}_a = \vec{0}$ et $\omega_{5/1} = \omega_{rouem}$

Donc $V(t) = -R\ \omega_{rouem}(t)$

De plus $\frac{\omega_{mot1}}{\omega_{rouem}} = -\frac{\boldsymbol{Z}_5\,\boldsymbol{Z}_{4-3}\,\boldsymbol{Z}_{3-2}}{\boldsymbol{Z}_{4-5}\,\boldsymbol{Z}_{3-4}\,\boldsymbol{Z}_2} = -k$

Donc comme l'avion se déplace en ligne droite on trouve : $\boxed{\omega_{mot1} = \omega_{mot2} = k\,\frac{V(t)}{R}}$

Question 3. *Lors du taxiage, le CdCF donne une vitesse maxi de l'avion par rapport à la piste de 20 kts = 20 nœuds (1 nœud = 1,852 km.h^{-1}), calculer la vitesse de rotation maxi des moteurs en tr.min^{-1}.*

$$(\omega_{mot1})_{maxi} = (\omega_{mot2})_{maxi} = k\,\frac{V_{maxi}}{R}$$

A.N. :

Sachant que k = 53 ; R = 0,55 m et V_{maxi} = 20 kts.

$$(\omega_{mot1})_{maxi} = (\omega_{mot2})_{maxi} = 53 \times \frac{20 \times 1{,}852}{0{,}55 \times 3{,}6} \times \frac{30}{\pi} \approx 9467{,}9 \text{ tr.min}^{-1}$$

Question 4. *En supposant qu'il y a roulement sans glissement en A_1 et A_2 entre les roues motorisées et la piste, déterminer l'expression des vitesses de rotation (□$_{mot1}$ et □$_{mot2}$) à imposer aux moteurs M1 et M2 en fonction de R, k, V(t), L_2, L_3 et □(t).*

Le mouvement de l'avion par rapport à la piste est un mouvement plan, on définit le point I (appelé Centre Instantané de Rotation de l'avion/piste) tel que : $\vec{V}(I, avion/piste) = \vec{0}$ donc :

$$\vec{V}(E, avion/piste) = \omega_{avion/piste}\vec{z}_a \wedge \overrightarrow{IE}$$

De plus $\vec{V}(E, avion/piste) = V(t)\vec{y}_a$ *et* $\overrightarrow{IE} = Rvm\,\vec{x}_a$

Alors $\omega_{avion/piste} = \frac{V(t)}{Rvm}$

Et $\vec{V}(C_1, avion/piste) = \frac{V(t)}{Rvm}(Rvm + L_3)\vec{y}_a$

$\vec{V}(C_2, avion/piste) = \frac{V(t)}{Rvm}(Rvm - L_3)\vec{y}_a$

Roulement sans glissement entre la roue motorisée et la piste en A_1 donc :

$$\vec{V}(A_1, roue\ motorisée/piste) = \vec{0}$$

$$\vec{V}(A_1, roue\ motorisée/avion) + \vec{V}(A_1, avion/piste) = \vec{0}$$

Alors $R\,\omega_{rouem1}\,\vec{y}_a + \vec{V}(C_1, avion/piste) = \vec{0}$

De plus $\tan\theta = \frac{L_2}{Rvm}$

Et $\frac{\omega_{mot1}}{\omega_{rouem1}} = -k$

Donc on trouve : $\boxed{\omega_{mot1} = \frac{k\,V(t)}{R}\left(1 + \frac{L_3}{L_2}\tan\theta\right)}$

Avec la même démarche on trouve : $\boxed{\omega_{mot2} = \frac{k\,V(t)}{R}\left(1 - \frac{L_3}{L_2}\tan\theta\right)}$

Question 5. Le CdCF impose $(Rvm)_{mini} = L_3$ c'est-à-dire que l'avion doit pouvoir tourner autour du point A_2 ou du point A_1, en déduire les expressions de ω_{mot1} et ω_{mot2}.

Rotation autour du point A_2 donc :

$\boxed{\omega_{mot1} = \frac{2\,k\,V(t)}{R}}$ et $\boxed{\omega_{mot2} = 0}$

Deuxième partie – Étude de la motorisation

Question 6. *En appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique en A à l'avion, déterminer l'ensemble des équations scalaires.*

On isole l'avion.
Inventaire des actions mécaniques extérieures exercées sur l'avion :

- L'action de la piste sur les deux roues motorisées :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{roues motorisées})\} = 2\begin{Bmatrix} \vec{R}_{p\rightarrow RM} = T_1\,\vec{y}_a + N_1\,\vec{z}_a \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A$$

- L'action de la piste sur les deux roues non motorisées :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{roue non motorisée})\} = 2\begin{Bmatrix} \vec{R}_{p\rightarrow RNM} = N_1\,\vec{z}_a \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A$$

- L'action de la piste sur le train avant :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{train avant})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{p\rightarrow TA} = N_2\,\vec{z}_a \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$$

- La résistance au roulement des pneumatiques due à leur déformation :

$$\{T(\text{résistance au roulement} \rightarrow \text{avion})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{RR} = -\,C_{RR}\,M\,\vec{y}_a \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$$

- L'action de la pesanteur sur l'avion :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{train avant})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{pesanteur\rightarrow avion} = -M\,g\,\vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_G$$

Application du Principe Fondamental de la Dynamique à l'avion en A :

$\{T(\overline{\text{avion}} \rightarrow \text{avion})\} = \{D(\text{avion}/Rg)\}$ avec $Rg = R_0 = R_p$

Le mouvement de l'avion par rapport à la piste est une translation rectiligne et l'inertie de tous les solides en rotation est négligée, alors $\{\boldsymbol{D}(\text{avion}/Rg)\} = \begin{Bmatrix} M\,\gamma\,\vec{y}_a \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_G$.

Théorème de la résultante dynamique :

$$2\,T_1\,\vec{y}_a + 4\,N_1\,\vec{z}_a + N_2\,\vec{z}_a - C_{RR}\,M\,\vec{y}_a - M\,g\,\vec{z}_0 = M\,\gamma\,\vec{y}_a$$

Donc on obtient les équations scalaires suivantes : $\boxed{\begin{cases} 2\,T_1 - C_{RR}\,M - M\,g\sin\alpha = M\,\gamma \\ 4\,N_1 + N_2 - M\,g\cos\alpha = 0 \end{cases}}$

Théorème du moment dynamique en A en projection sur $\vec{x}_a$:

$$\left(\overrightarrow{AB} \wedge N_2\,\vec{z}_a\right)\bullet\,\vec{x}_a + \left(\overrightarrow{AG} \wedge \left(-M\,g\,\vec{z}_0\right)\right)\bullet\,\vec{x}_a = \left(\overrightarrow{AG} \wedge M\,\gamma\,\vec{y}_a\right)\bullet\,\vec{x}_a$$

$$\left(L_2\,\vec{y}_a \wedge N_2\,\vec{z}_a\right)\bullet\,\vec{x}_a + \left(\left(L_1\,\vec{y}_a + h\,\vec{z}_a\right) \wedge \left(-M\,g\,\vec{z}_0\right)\right)\bullet\,\vec{x}_a = \left(\left(L_1\,\vec{y}_a + h\,\vec{z}_a\right) \wedge M\,\gamma\,\vec{y}_a\right)\bullet\,\vec{x}_a$$

$$\boxed{L_2\,N_2 - M\,g\,L_1\cos\alpha + M\,g\,h\sin\alpha = -M\,\gamma\,h}$$

Question 7. En déduire l'expression littérale :

a) De l'effort tangentiel T_1 en fonction de M, g, □, C_{RR} et □□

$$\boxed{T_1 = \frac{M}{2}\left(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR}\right)}$$

b) De l'effort normal N_2 en fonction de M, g, □, L_1, L_2, h et □□

$$\boxed{N_2 = \frac{M}{L_2}\left(g\,L_1\cos\alpha - \gamma\,h - g\,h\sin\alpha\right)}$$

c) De l'effort normal N_1 en fonction de M, g, □, L_1, L_2, h et □□

$$4\,N_1 = -\frac{M}{L_2}\left(g\,L_1\cos\alpha - \gamma\,h - g\,h\sin\alpha\right) + M\,g\cos\alpha$$

$$\boxed{N_1 = \frac{M}{4}\left(\left(1 - \frac{L_1}{L_2}\right)g\cos\alpha + \frac{h}{L_2}\left(\gamma + g\sin\alpha\right)\right)}$$

Question 8. *Déterminer la relation entre* N_1 *et* T_1 *garantissant l'adhérence entre les roues motorisée et le sol. En déduire la relation entre* f_0 *, g, □, C_{RR}, L_1, L_2, h et □.*

Loi de Coulomb, il y aura adhérence si on vérifie : $\boxed{\left|\frac{T_1}{N_1}\right| < f_0}$

Soit $\boxed{\left|\frac{2\,L_2\left(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR}\right)}{\left(L_2 - L_1\right)g\cos\alpha + h\left(\gamma + g\sin\alpha\right)}\right| < f_0}$

Sachant que la pente de la piste est au maximum de 1,5%, l'adhérence est-elle garantie pour les différents cas définis ci-dessous ?

A.N. : M = 79000 kg ; g = 9,81m.s^{-2} ; C_{RR} = 0,07 N.kg^{-1} ; L_1 = 1,5 m ; L_2 = 12,7 m et h = 4 m.

Pente maximum de 1,5% donc $\alpha = \arctan(0{,}015) \approx 0{,}86°$

Accélération : $\gamma = \dfrac{5{,}14}{20} = 0{,}257\ \mathrm{m.s^{-2}}$

Donc

$$\left|\frac{2\,L_2(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR})}{(L_2 - L_1)g\cos\alpha + h(\gamma + g\sin\alpha)}\right| = \left|\frac{2\times 12{,}7\times(0{,}257 + 9{,}81\times\sin(0{,}86°) + 0{,}07)}{(12{,}7 - 1{,}5)\times 9{,}81\times\cos(0{,}86°) + 4\times(0{,}257 + 9{,}81\times\ \sin(0{,}86°))}\right|$$

$$\boxed{\left|\frac{2\,L_2(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR})}{(L_2 - L_1)g\cos\alpha + h(\gamma + g\sin\alpha)}\right| \approx 0{,}108}$$

Pour le cas 1 (*f_0 = 0,5)* et le cas 2 (*f_0 = 0,3)* on vérifie bien $\left|\dfrac{T_1}{N_1}\right| < f_0$ donc l'adhérence est garantie.

Pour le cas 3 (*f_0 = 0,1)* l'adhérence n'est pas garantie car $\left|\dfrac{T_1}{N_1}\right| > f_0$.

Question 9. *Le rapport des vitesses de rotation du rotor du moteur électrique et de la roue motorisée est défini par :* $k = \left|\dfrac{\omega_{mot}}{\omega_{rouem}}\right| = 53$. *En précisant votre démarche, montrer que la relation littérale définissant le couple « C_{mot}» de chaque moteur est :* $C_{mot} = \dfrac{RM}{2k}(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR})$.

On isole une roue motorisée
Inventaire des actions mécaniques extérieures exercées sur la roue motorisée :

- L'action de la piste sur la roue motorisée :

$$\{T(\text{piste} \to \text{roue motorisée})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{p\to RM} = T_1\,\vec{y}_a + N_1\,\vec{z}_a \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A$$

- L'action de <u>4</u> sur la roue motorisée : $\{T(4 \to \text{roue motorisée})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{4\to RM} \\ C_{rouem}\,\vec{x}_a \end{Bmatrix}_C$

- L'action de <u>1</u> sur la roue motorisée :

$$\{T(1 \to \text{roue motorisée})\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{1\to RM} \\ \vec{M}(C, 1 \to RM) \end{Bmatrix}_C \text{ avec } \vec{M}(C, 1 \to RM)\bullet\vec{x}_a = 0$$

Les inerties et les masses des solides en rotation sont négligées.
Théorème du moment dynamique en A en projection sur $\vec{x}_a$:

$$\left(\overrightarrow{CA} \wedge (T_1\,\vec{y}_a + N_1\,\vec{z}_a)\right)\bullet\vec{x}_a + C_{rouem} = \vec{\delta}(C, \text{roue motorisée}/R_0)\bullet\vec{x}_a$$

$$\left(-R\,\vec{z}_a \wedge (T_1\,\vec{y}_a + N_1\,\vec{z}_a)\right)\bullet\vec{x}_a + C_{rouem} = 0$$

$C_{rouem} = -R\,T_1$ or $T_1 = \frac{M}{2}\left(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR}\right)$

Donc $C_{rouem} = -\frac{R\,M}{2}\left(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR}\right)$

Les inerties et les masses des solides en rotation sont négligées, les solides en rotation sont équilibrés et les liaisons sont supposées parfaites donc : $C_{mot}\,\omega_{mot} = C_{rouem}\,\omega_{rouem}$.

On a aussi : $\frac{\omega_{mot}}{\omega_{rouem}} = -k$.

$$\boxed{C_{mot} = \frac{R\,M}{2\,k}\left(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR}\right)}$$

Remarque :
Pour retrouver cette relation, on peut aussi appliquer le théorème de l'énergie cinétique (énergie-puissance) à l'ensemble *avion* dans son mouvement par rapport à la piste.

$$\frac{d\,E_C(avion/R_p)}{dt} = P(\overline{avion} \rightarrow avion/R_p) + Pint$$

Avec $\frac{d\,E_C(avion/R_p)}{dt} = M\,V(t)\,\gamma$ car les inerties des solides en rotation sont négligées.

Les liaisons sont supposées parfaites,

donc : $P(\overline{avion} \rightarrow avion/R_p) + Pint = -M\,g\sin\alpha\,V(t) - C_{RR}\,V(t) + 2\,C_{mot}\,\omega_{mot}(t)$

Or $\omega_{mot} = k\frac{V(t)}{R}$ donc le TEC donne : $M\,V(t)\,\gamma = -M\,g\sin\alpha\,V(t) - C_{RR}\,V(t) + 2\,C_{mot}\,k\frac{V(t)}{R}$

On obtient : $\boxed{C_{mot} = \frac{R\,M}{2\,k}\left(\gamma + g\sin\alpha + C_{RR}\right)}$

Question 10. *On rappelle que la pente de la piste est au maximum de* $1{,}5\,\%$*, calculer le couple moteur maximum* $(C_{mot})_{Maxi}$ *pour chaque moteur. En déduire la puissance* P_{max} *du moteur.*

A.N. : M = 79000 kg ; g = 9,81m.s^{-2} ; C_{RR} = 0,07 N.kg^{-1} ; $\alpha \approx 0{,}86°$; $\gamma = 0{,}257\ m.s^{-2}$

et R = 0,55 m

$$(C_{mot})_{Maxi} = \frac{0{,}55 \times 79 \times 10^3 \times \left(0{,}257 + 9{,}81 \times \sin(0{,}86°) + 0{,}07\right)}{2 \times 53}$$

$$\boxed{(C_{mot})_{Maxi} \approx 194{,}35\ N.m}$$

Pour le profil de vitesse donné on a : $(\omega_{mot})_{Maxi} = 53\,\frac{5{,}14}{0{,}55} = 496{,}27\ rad.s^{-1}$

Donc la puissance maxi du moteur est : $\boxed{P_{Max} = (C_{mot})_{Maxi}(\omega_{mot})_{Maxi} \approx 96{,}45\ kW}$

Question 11. Déterminer la durée $t_f - t_2$, qui correspond à la phase de décélération, afin de limiter le couple moteur C_{mot} à $+10\ Nm$.

Avec la restriction $\alpha = 0$, le couple moteur a pour expression :

$$C_{mot} = \frac{RM}{2k}(\gamma + C_{RR}) \Rightarrow \gamma = \frac{2k}{RM} C_{mot} - C_{RR}$$

Pour $t \in [t_2, t_f]$, on substitue à l'accélération le rapport des accroissements finis de la vitesse et du temps :

$$\gamma = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2k}{RM} C_{mot} - C_{RR}$$

Soit :

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{\frac{2k}{RM} C_{mot} - C_{RR}}$$

A.N. : $R = 0{,}55\ m$, $M = 79000\ kg$, $C_{RR} = 0{,}07\ N \cdot kg^{-1}$, $k = 53$

$$\Delta t = -\frac{5{,}14}{\frac{2 \times 53}{0{,}55 \times 79000} \times 10 - 0{,}07} = 112{,}7s \approx 1{,}88mn$$

Question 12. Pour le profil de vitesse proposé sur la figure 5, tracer l'évolution du point de fonctionnement $c_{mot} = f(\omega_{mot})$ d'un moteur.

Compléter le document $DR1$ en précisant bien les valeurs puissance, couple et vitesse aux points caractéristiques et commentez.

$Temps(s)$	$C_{mot}(Nm)$	$\omega_{mot} = \frac{k}{R} V(rd/s)$
$[0, \ldots, t_1[$	134	-
$[t_1, \ldots, t_2[$	28,7	495
$[t_2, \ldots, t_f]$	10	-

$t_f = 10\ min$

Cf. $DR1$ pour l'évolution du point de fonctionnement et ses valeurs remarquables.

Question 13. Calculer le couple thermique c_{th}, l'équilibre thermique de la machine est-il assuré ?

Le couple équivalent thermique est défini par l'expression : $c_{th} = \sqrt{\frac{1}{t_f}\int_0^{t_f} c_{mot}^2(t)dt}$.

Il est assuré lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites (Cf. $DR1$) :

- Le couple (c_{th}, ω_{moy}) se situe dans la zone du plan couple-vitesse délimitée par la frontière 1.

- L'évolution du point de fonctionnement (c_{mot}, ω_{mot}) reste confiner à l'intérieur de la zone délimitée 2.

Remarque : il n'est pas demandé de calculer explicitement la vitesse moyenne ω_{moy}. On cherche simplement à localiser le couple (c_{th}, ω_{moy}).

$$c_{th}{}^2 = \frac{1}{t_f}\int_0^{t_f} c_{mot}^2(t)dt = \frac{1}{t_f}\left[\int_0^{t_1} c_{mot}^2(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} c_{mot}^2(t)dt + \int_{t_2}^{t_f} c_{mot}^2(t)dt +\right]$$

$$\Rightarrow c_{th}{}^2 = \frac{1}{t_f}\left[c_{mot[0,\dots,t_1]}^2 t_1 + c_{mot[t_1,\dots,t_2]}^2(t_2 - t_1) + c_{mot[t_2,\dots,t_f]}^2(t_f - t_2)\right]$$

$$AN: \quad c_{th}{}^2 = \frac{1}{600}[134^2 \times 20 + 29^2 \times (600 - 20 - 112{,}7) + 10^2 \times 112{,}7]$$

$$c_{th} = 35{,}66\ Nm$$

Les deux conditions sont réunies. En conséquence, l'équilibre thermique de la machine est assuré.

Question 14. Au regard des résultats obtenus et des contraintes imposées par le cahier des charges, une motorisation « standard » peut-elle convenir ou faut-il développer un produit spécifique ?

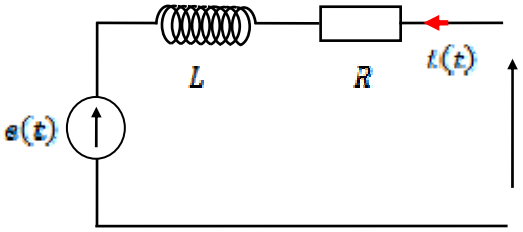
Les contraintes sont extraites du diagramme partiel des exigences :
1- La masse d'un moteur ne doit pas dépasser $120\ kg$.
2- L'EGTS doit s'intégrer aux trains principaux en minimisant l'encombrement.
3- Le couple retenu est de $134\ Nm$. Le couple de décollage ainsi que les aspects dynamiques ne sont pas considérés.

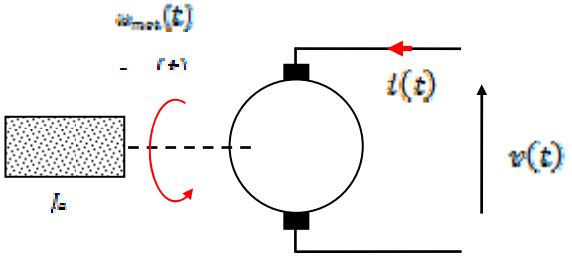
TIPO MOTORE *MOTOR TYPE*	simbolo symbol	u. mis. u. m.	B26S			B26M			B26L			B26G		
Tensione di alimentazione azionamento *Drive operating voltage*			400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V
Coppia a rotore bloccato 100K Δt *Continuous stall torque 100K Δt*	To	Nm	122	120	121	232	236	231	338	338	337	442	442	445
Coppia a rotore bloccato 65K Δt *Continuous stall torque 65K Δt*	To	Nm	99	97	97	187	190	186	273	273	272	356	356	359
Velocità nominale *Rated Speed*	n	RPM	1000	2000	3000	1000	2000	3000	1000	2000	3000	1000	2000	3000
Potenza alla velocità nominale 100K Δt *Power at rated speed 100K Δt*	Pn	W	12810	24453	35168	23835	46189	62800	34230	64372	86350	44205	82137	108330
Coppia alla velocità nominale 100K Δt *Torque at rated speed 100K Δt*	Tn	Nm	122	117	112	227	221	200	326	308	275	411	393	345
Coppia di picco con S.I.R. 10% *Peak torque with S.I.R. 10%*	Tpk	Nm	333	333	333	638	638	638	931	931	931	1241	1214	1214
Inerzia rotorica *Rotor Inertia*	Jm	mKgm²	22,0	22,0	22,0	36,0	36,0	36,0	49,0	49,0	49,0	63,0	63,0	63,0
Inerzia rotorica (motore con freno) *Rotor Inertia (motor with brake)*	Jmb	mKgm²	30,1	30,1	30,1	44,1	44,1	44,1	62,0	62,0	62,0	76,0	76,0	76,0
Accelerazione rif.alla coppia di picco *Acceleration at peak torque*	apk	rad/s²	15149	15149	15149	17733	17733	17733	19007	19007	19007	19271	19271	19271
Accelerazione rif.alla coppia di picco *(motore con freno)* Acceleration at peak torque *(motor with brake)*	apkb	rad/s²	11000	11000	11000	14400	14400	14400	15000	15000	15000	16000	16000	16000
Massa *Weight*	M	Kg	55	55	55	85	85	85	116	116	116	146	146	146
Massa con freno *Weight with brake*	Mb	Kg	85	85	85	115	115	115	151	151	151	181	181	181

Les valeurs encadrées rendent éligible la motorisation pour le paramètre considéré. Une motorisation « sur étagère » existe, le problème porte sur les aspects dimensionnels qui sont incompatibles avec les contraintes imposées par l'expression du besoin. Ainsi, les machines qui ont pour référence B26M et B26L ont une longueur respective de 577 et 684 mm. La motorisation est un des éléments de la chaine de transmission à laquelle il faut ajouter un étage de réduction, un embrayage et un élément qui assure la liaison mécanique avec la roue de l'avion. L'ensemble est placé entre les deux roues du train d'atterrissage principal qui ont un rayon de $0{,}55\ m$. Le volume disponible ne permet pas d'intégrer un produit standard. En conséquence, un développement spécifique s'impose.

Troisième partie – Étude de l'asservissement

Question 15. Ecrire l'équation de la maille du modèle électrique ainsi que l'équation mécanique appliquée au modèle linéaire de la machine représenté sur la ***figure 7***.





$$v(t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt} + e(t) \qquad J_a\frac{d\omega_{mot}(t)}{dt} = c_{mot}(t) - c_{res}(t)$$

Equations de liaisons : $e(t) = K\omega_{mot}(t)$ et $c_{mot}(t) = Ki(t)$

Question 16. A partir des relations établies précédemment, exprimer $I(p)$ tel que :

$$I(p) = H_1(p)V(p) + H_2(p)C_{res}(p)$$

- Montrer que les fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$ ont les expressions canoniques suivantes :

$$H_1(p) = H_0\frac{p}{\omega_1}\frac{\omega_n^2}{(p^2+2\xi\omega_n p+\omega_n^2)} \quad \text{avec :} \quad \omega_n^2 = \frac{K^2}{LJ_a}, \quad \omega_1 = \frac{K^2}{RJ_a}, \quad \xi = \frac{1}{2}\frac{R}{K}\sqrt{\frac{J_a}{L}} \quad \text{et}$$

$$H_0 = \frac{1}{R}$$

et

$$H_2(p) = \frac{1}{K}\frac{\omega_n^2}{(p^2+2\xi\omega_n p+\omega_n^2)}$$

$$\begin{cases} v(t) = Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt} + e(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} V(p) = (R+Lp)I(p) + E(p) \\ J_a\dfrac{d\Omega_{mot}(t)}{dt} = c_{mot}(t) - c_{res}(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} J_a p\Omega_{mot}(p) = C_{mot}(p) - C_{res}(p) \\ e(t) = K\omega_{mot}(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} E(p) = K\Omega_{mot}(p) \\ c_{mot}(t) = Ki(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} C_{mot}(p) = KI(p) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I(p) = \dfrac{V(p) - E(p)}{R+Lp} \\ E(p) = K\Omega_{mot}(p) \\ \Omega_{mot}(p) = \dfrac{KI(p) - C_{res}(p)}{J_a p} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I(p) = \dfrac{V(p) - K\Omega_{mot}(p)}{R+Lp} \\ et \\ \Omega_{mot}(p) = \dfrac{KI(p) - C_{res}(p)}{J_a p} \end{cases}$$

$$\Rightarrow I(p) = \frac{1}{R+Lp}V(p) - \frac{K}{R+Lp}\Omega_{mot}(p)$$

$$= \frac{1}{R+Lp}V(p) - \frac{K^2}{J_a p(R+Lp)}I(p) + \frac{K}{J_a p(R+Lp)}C_{res}(p)$$

$$\Rightarrow \left[1 + \frac{K^2}{J_a p(R+Lp)}\right]I(p) = \frac{1}{R+Lp}V(p) + \frac{K}{J_a p(R+Lp)}C_{res}(p)$$

$$\Rightarrow I(p) = \frac{J_a p}{K^2 + RJ_a p + LJ_a p^2} V(p) + \frac{K}{K^2 + RJ_a p + LJ_a p^2} C_{res}(p)$$

$$soit:\ I(p) = \frac{1}{R} \frac{p}{\frac{K^2}{RJ_a}} \frac{\frac{K^2}{LJ_a}}{\frac{K^2}{LJ_a} + \frac{R}{L}p + p^2} V(p) + \frac{1}{K} \frac{\frac{K^2}{LJ_a}}{\frac{K^2}{LJ_a} + \frac{R}{L}p + p^2} C_{res}(p)$$

Par identification :

$$H_1(p) = \frac{1}{R} \frac{p}{\frac{K^2}{RJ_a}} \frac{\frac{K^2}{LJ_a}}{\frac{K^2}{LJ_a} + \frac{R}{L}p + p^2} \qquad H_2(p) = \frac{1}{K} \frac{\frac{K^2}{LJ_a}}{\frac{K^2}{LJ_a} + \frac{R}{L}p + p^2}$$

Nous vérifions bien que : $H_0 = \frac{1}{R}$, $\omega_n^2 = \frac{K^2}{LJ_a}$, $\omega_1 = \frac{K^2}{RJ_a}$ et l'amortissement $\xi = \frac{1}{2}\frac{R}{K}\sqrt{\frac{J_a}{L}}$

AN : $H_0 \cong 143\,\Omega^{-1}$, $\omega_n \cong 0{,}156\,rd/s$, $\omega_1 \cong 0{,}01\,rd/s$ et l'amortissement $\xi \cong 7{,}37$

- Conclure quant au comportement du système, est-il sur ou sous-amorti ?

$\xi > 1$, le système est sur amorti.

Question 17. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)}$ pour $C_{res}(p) = 0$.

- Montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme suivante :

$$H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = k_{cons} \frac{p}{\omega_1} \frac{\omega_n^2}{(p^2 + 2\xi' \omega_n p + \omega_n^2)}$$

Avec la restriction $C_{res}(p) = 0$ et les hypothèses, nous avons : $\begin{cases} I(p) = H_1(p)V(p) \\ V(p) = k_c\left(I_{cons}(p) - k_i I(p)\right) \end{cases}$

$$\Leftrightarrow I(p) = k_c H_1(p)\left(I_{cons}(p) - k_i I(p)\right)$$

$$\Rightarrow I(p)\left(1 + k_i k_c H_1(p)\right) = k_c H_1(p) I_{cons}(p) \Leftrightarrow \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = \frac{k_c H_1(p)}{1 + k_i k_c H_1(p)}$$

Soit : $$\frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = \frac{H_0 k_c \frac{p}{\omega_1} \frac{\omega_n^2}{\omega_1 \omega_n^2 + 2\xi\omega_n p + p^2}}{1 + H_0 k_c k_i \frac{p}{\omega_1} \frac{\omega_n^2}{\omega_1 \omega_n^2 + 2\xi\omega_n p + p^2}} = \underbrace{H_0 k_c}_{k_{cons}} \frac{p}{\omega_1} \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\underbrace{\left(\xi + \frac{1}{2}H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1}\right)}_{\xi'}\omega_n p + \omega_n^2}$$

$$H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = \underbrace{H_0 k_c}_{k_{cons}} \frac{p}{\omega_1} \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\underbrace{\left(\xi + \frac{1}{2}H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1}\right)}_{\xi'}\omega_n p + \omega_n^2}$$

- Vous préciserez la valeur du gain k_{cons} ainsi que l'amortissement en boucle fermée ξ'.

Par identification, nous avons :

$$\begin{cases} \xi' = \xi + \frac{1}{2}H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1} \\ k_{cons} = H_0 k_c \end{cases}$$

Question 18. Représenter la fonction de transfert $H_{cons}(p)$ en module et en phase dans le plan de Bode. Compléter le document réponse ***DR2***.

AN : $\begin{cases} H_0 = 143\,\Omega^{-1} \\ k_t = 10^{-4} \\ k_c = 10^{3}\,V/A \\ \omega_n = 0{,}158\,rd/s \\ \omega_1 = 0{,}01\,rd/s \\ \xi = 7{,}37 \end{cases}$ $\Rightarrow \begin{cases} \xi' = \xi + \frac{1}{2} H_0 k_c k_t \frac{\omega_n}{\omega_1} \cong 120 \\ k_{cons} = H_0 k_c \cong 103\,dB \\ \omega_n = 0{,}158\,rd/s \end{cases}$

Le système est fortement sur amortie, en conséquence nous avons deux racines réelles stables p_1, p_2 et un mode dominant.

$$p_1 = -\xi'\omega_n - \omega_n\sqrt{\xi'^2 - 1} \cong -2\xi'\omega_n$$

$$p_2 = -\xi'\omega_n + \xi'\omega_n\sqrt{1 - \frac{1}{\xi'^2}} \cong -\xi'\omega_n + \xi'\omega_n\left(1 - \frac{1}{2\xi'^2}\right) + O(\xi'^2) \cong -\frac{\omega_n}{2\xi'}$$

AN : $p_1 \cong -2\xi'\omega_n = -38$ et $p_2 \cong -\frac{\omega_n}{2\xi'} = -6{,}6 \times 10^{-4}$

$$H_{cons}(p) = k_{cons}\frac{p}{\omega_1}\frac{\omega_n^2}{(p + 2\xi'\omega_n)\left(p + \frac{\omega_n}{2\xi'}\right)} = k_{cons}\frac{p}{\omega_1}\frac{1}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)}$$

$$\begin{cases} \tau_1 = \frac{2\xi'}{\omega_n} \cong 1519\,s \\ \tau_2 = \frac{1}{2\xi'\omega_n} \cong 26\,ms \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \omega_{c1} = \frac{\omega_n}{2\xi'} \cong 6{,}6 \times 10^{-4}\,rd/s \\ \omega_{c2} = 2\xi'\omega_n \cong 38\,rd/s \end{cases}$$

Cf. $DR2$ pour la représentation du lieu de transfert dans le plan de Bode.

Question 19. Montrer que dans ces conditions la fonction de transfert $H_{cons}(p)$ admet la représentation asymptotique suivante :

$$H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{k_{cons}(p)} \simeq \frac{1}{k_t} \times \frac{1}{1+\frac{p}{\omega_c}} \quad \text{avec} \quad \omega_c = H_0 k_c k_t \frac{\omega_n^2}{\omega_1} = k_{cons} k_t \frac{\omega_n^2}{\omega_1}$$

La restriction du support spectral de la consigne est telle que $\omega \gg \frac{\omega_n}{2\xi'} = \omega_{c1} = \frac{1}{\tau_1}$

En conséquence $\omega\tau_1 \gg 1$ soit : $H_{cons}(p) \cong k_{cons}\frac{\omega_{c1}}{\omega_1}\frac{1}{1+\tau_2 p}$

avec $\xi' \cong \frac{1}{2} k_{cons} k_t \frac{\omega_n}{\omega_1} \Rightarrow \frac{1}{k_{cons} k_t} = \frac{\omega_n}{2\xi'}\frac{1}{\omega_1} = \frac{\omega_{c1}}{\omega_1}$ et $\omega_{c2} = 2\xi'\omega_n = k_{cons} k_t \frac{\omega_n^2}{\omega_1} = \omega_c$

Nous retrouvons bien l'expression recherchée de la fonction de transfert pour $\omega \gg \omega_{c1}$:

$$H_{cons}(p) \cong \frac{1}{k_t} \times \frac{1}{1+\frac{p}{\omega_c}}$$

Question 20. Calculer $I_{est}(p)$ en fonction des entrées $I_{ref}(p)$ et $\Omega_{mot}(p)$ ainsi que des constantes k_Ω, k_1 et τ_3.

$$I_{est}(p) = k_1\left\{\frac{I_{ref}(p)}{\tau_3 p} - k_\Omega \Omega_{mot}(p)\right\}$$

Question 21. A partir du précédent résultat et d'une équation supplémentaire sur les courants $I_{ref}(p), I_{est}(p)$ et $I_{cons}(p)$, en déduire la relation entre $I_{cons}(p), I_{est}(p)$ et $\Omega_{mot}(p)$ et les constantes du système.

$$I_{cons}(p) = I_{ref}(p) + I_{est}(p) \Leftrightarrow I_{ref}(p) = I_{cons}(p) - I_{est}(p)$$

$$\Rightarrow I_{est}(p) = k_1\left\{\frac{I_{cons}(p) - I_{est}(p)}{\tau_3 p} - k_\Omega \Omega_{mot}(p)\right\}$$

$$\Leftrightarrow \qquad I_{est}(p)\left\{1 + \frac{k_1}{\tau_3 p}\right\} = \frac{k_1}{\tau_3 p} I_{cons}(p) - k_1 k_\Omega \Omega_{mot}(p)$$

Question 22. Déduire des précédents résultats, la relation recherchée entre le courant $I_{est}(p)$, la vitesse $\Omega_{mot}(p)$ et le couple $C_{res}(p)$.

Equation du modèle de la boucle de courant :

$$\Omega_{mot}(p) = \left\{I_{cons}(p)\frac{K}{k_t} - C_{res}(p)\right\}\frac{1}{J_a p} \Leftrightarrow I_{cons}(p) = \{J_a p \Omega_{mot}(p) + C_{res}(p)\}\frac{k_t}{K}$$

Avec l'équation précédente, nous avons la relation recherchée :

$$I_{est}(p)\left\{1 + \frac{k_1}{\tau_3 p}\right\} = \left\{J_a \frac{k_1 k_t}{K\tau_3} - k_1 k_\Omega\right\}\Omega_{mot}(p) + \frac{k_1 k_t}{K\tau_3 p} C_{res}(p)$$

Question 23. Montrer que pour $\tau_3 = \frac{k_t J_a}{K k_\Omega}$, $i_{est}(t)$ est une estimation linéaire du couple $c_{res}(t)$. On rappelle que $H_{cons}(p) \cong \frac{1}{k_t}$.

Pour $\quad J_a \frac{k_1 k_t}{K\tau_3} - k_1 k_\Omega = 0 \Rightarrow \tau_3 = \frac{k_t J_a}{K k_\Omega}$,

$$I_{est}(p)\left\{1 + \frac{k_1}{\tau_3 p}\right\} = \frac{k_1 k_t}{K\tau_3 p} C_{res}(p)$$

Soit : $$I_{est}(p) = \frac{k_i}{K}\frac{1}{1+\frac{T_E}{k_1}p}C_{res}(p)$$

- Donner l'expression de la fonction de transfert $\frac{I_{est}(p)}{C_{res}(p)}$.

$$\frac{I_{est}(p)}{C_{res}(p)} = \frac{k_i}{K}\frac{1}{1+\frac{T_E}{k_1}p}$$

Question 24. Discuter des performances de l'architecture de commande proposée en la comparant à une commande sans estimateur du couple $c_{res}(t)$ soit pour $k_1 \to 0$.

On vous demande, dans cette question, de faire une synthèse qualitative des performances de la commande.

- Commande sans estimateur du couple $c_{res}(t)$ soit pour $k_1 \to 0$

L'expression de la vitesse, dans le domaine transformé, a pour expression :

$$\Omega_{mot}(p) = \frac{1}{1+\frac{T_E}{k_G}p} \times \left(\Omega_{ref}(p) - \frac{k_i}{Kk_Gk_\Omega} \times C_{res}(p)\right)$$

⇒ erreur de vitesse en régime établi.

- Commande avec estimateur du couple $c_{res}(t)$

$$\Omega_{mot}(p) = \frac{1}{1+\frac{T_E}{k_G}p} \times \left(\Omega_{ref}(p) - \frac{k_i}{Kk_Gk_\Omega} \times \frac{\frac{T_E}{k_1}p}{1+\frac{T_E}{k_1}p} \times C_{res}(p)\right)$$

⇒ pas d'erreur de vitesse en régime établi.

⇒ L'action dérivée réduit les composantes BF de $c_{res}(t)$.

Quatrième partie – Étude de l'embrayage

Question 25. *Déterminer l'inertie équivalente J_{eq} de l'ensemble {2, 3, 4} ramenée sur l'axe de rotation du solide 4 dans son mouvement par rapport à l'avion. Cette inertie équivalente sera exprimée en fonction de J_2, J_3, J_4 et Z_i.*

L'inertie équivalente de l'ensemble {2, 3, 4} ramenée sur l'axe de rotation du solide 4 :

$$\boxed{J_{eq} = J_4 + J_3\left(\frac{\omega_{3/1}}{\omega_{4/1}}\right)^2 + J_2\left(\frac{\omega_{2/1}}{\omega_{4/1}}\right)^2 = J_4 + J_3\left(\frac{Z_{4-3}}{Z_{3-4}}\right)^2 + J_2\left(\frac{Z_{4-3}\,Z_{3-2}}{Z_{3-4}Z_2}\right)^2}$$

Question 26. *Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble {2, 3, 4} et en déduire l'expression de F en fonction J_2, J_3, J_4, Z_i, R_{4-E} et $\dot{\omega}_{roue}$.*

Le mouvement de l'avion par rapport à la piste est un mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à la piste. Donc le repère R_a lié à l'avion est un repère galiléen.

Théorème de l'énergie cinétique (énergie puissance) appliqué à l'ensemble □ = {2, 3, 4} dans son mouvement par rapport au repère galiléen R_a : $\dfrac{d\,E_C(\Sigma/R_a)}{dt} = P(\overline{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) + \underbrace{Pint}_{0}$

On sait que : $E_C(\Sigma/R_a) = \dfrac{1}{2} J_{eq}\, \omega_{4/1}{}^2$ donc $\dfrac{d\,E_C(\Sigma/R_a)}{dt} = J_{eq}\, \omega_{4/1}\, \dot{\omega}_{4/1}$

Pour les puissances galiléennes des actions mécaniques extérieures exercées sur {2, 3, 4}.

$$P(\overline{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) = \underbrace{P(\text{pesanteur} \rightarrow \Sigma/R_a)}_{0} + P(5 \rightarrow 4/R_a) + \underbrace{P(1 \rightarrow \Sigma/R_a)}_{0}$$

$$P(\overline{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{5\rightarrow 4\text{-}5} = F\,\vec{u} \\ \overrightarrow{DI_{45}} \wedge F\,\vec{u} \end{matrix} \right\}_D \otimes \left\{ \begin{matrix} \vec{\Omega}_{4/1} = \omega_{4/1}\, \vec{x}_a \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_D$$

$$P(\overline{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) = \left(-R_{4\text{-}5}\, \vec{z}_a \wedge F\,\vec{u}\right) \bullet \omega_{4/1}\, \vec{x}_a = \omega_{4/1}\, R_{4\text{-}5}\, F \cos(20°)$$

On obtient : $J_{eq}\, \dot{\omega}_{4/1} = R_{4\text{-}5}\, F \cos(20°)$ Remarque $\dot{\omega}_{4/1} > 0$

De plus $\left| \dfrac{\dot{\omega}_{4/1}}{\dot{\omega}_{roue}} \right| = \dfrac{Z_5}{Z_{4\text{-}5}}$

Alors $F = \dfrac{J_{eq} \dfrac{Z_5}{Z_{4\text{-}5}} \left|\dot{\omega}_{roue}\right|}{R_{4\text{-}5} \cos(20°)} = \dfrac{J_{eq}\, Z_5 \left|\dot{\omega}_{roue}\right|}{Z_{4\text{-}5}\, R_{4\text{-}5} \cos(20°)}$

Or $J_{eq} = J_4 + J_3 \left(\dfrac{Z_{4-3}}{Z_{3-4}} \right)^2 + J_2 \left(\dfrac{Z_{4-3}\, Z_{3-2}}{Z_{3-4} Z_2} \right)^2$

On obtient : $\boxed{F = \dfrac{J_4 + J_3 \left(\dfrac{Z_{4-3}}{Z_{3-4}} \right)^2 + J_2 \left(\dfrac{Z_{4-3}\, Z_{3-2}}{Z_{3-4} Z_2} \right)^2 Z_5 \left|\dot{\omega}_{roue}\right|}{Z_{4\text{-}5}\, R_{4\text{-}5} \cos(20°)}}$

Question 27. *Sachant que le module de l'engrenage pignon 4-5 et roue dentée 5 est de 4 mm. Calculer la valeur de F et conclure.*

A.N. : *J_2=0,0152 kg.m^2 ; J_3=0,013 kg.m^2 ; J_4=0,0561kg.m^2 : Z_2=20 ; $Z_{3\text{-}2}$=79 ; $Z_{3\text{-}4}$=21 ; $Z_{4\text{-}3}$ = 71 ; : $Z_{4\text{-}5}$ = 32 et Z_5=127.*

$$\left|\dot{\omega}_{roue}\right| = \frac{1750 \times \dfrac{\pi}{30}}{0{,}1} = 1832{,}6\ \text{rad.s}^{-2}$$

$$R_{4\text{-}5} = \frac{m\, Z_{4\text{-}5}}{2} = \frac{4 \times 32}{2} = 64\ \text{mm}$$

$$J_{eq} = 0{,}0561 + 0{,}013 \times \left(\frac{71}{21} \right)^2 + 0.0152 \times \left(\frac{71 \times 79}{21 \times 20} \right)^2 = 2{,}92\ \text{kg.m}^2$$

$$\boxed{F = \frac{J_{eq}\, Z_5 \left|\dot{\omega}_{roue}\right|}{Z_{4\text{-}5}\, R_{4\text{-}5} \cos(20°)} \approx \frac{2{,}92 \times 127 \times 1832{,}6}{32 \times 64 \times 10^{-3} \times \cos(20°)} \approx 352602\ \text{N}}$$

Lors du « taxiage out », le couple maxi du moteur est d'environ 200 N.m, on obtient un effort dans l'engrenage 5/4-5 d'environ F_1 = 45000 N.

A partir du résultat de cette question, on constate que l'effort dans l'engrenage 5/4-5 est très important, environ 8 fois F_1.

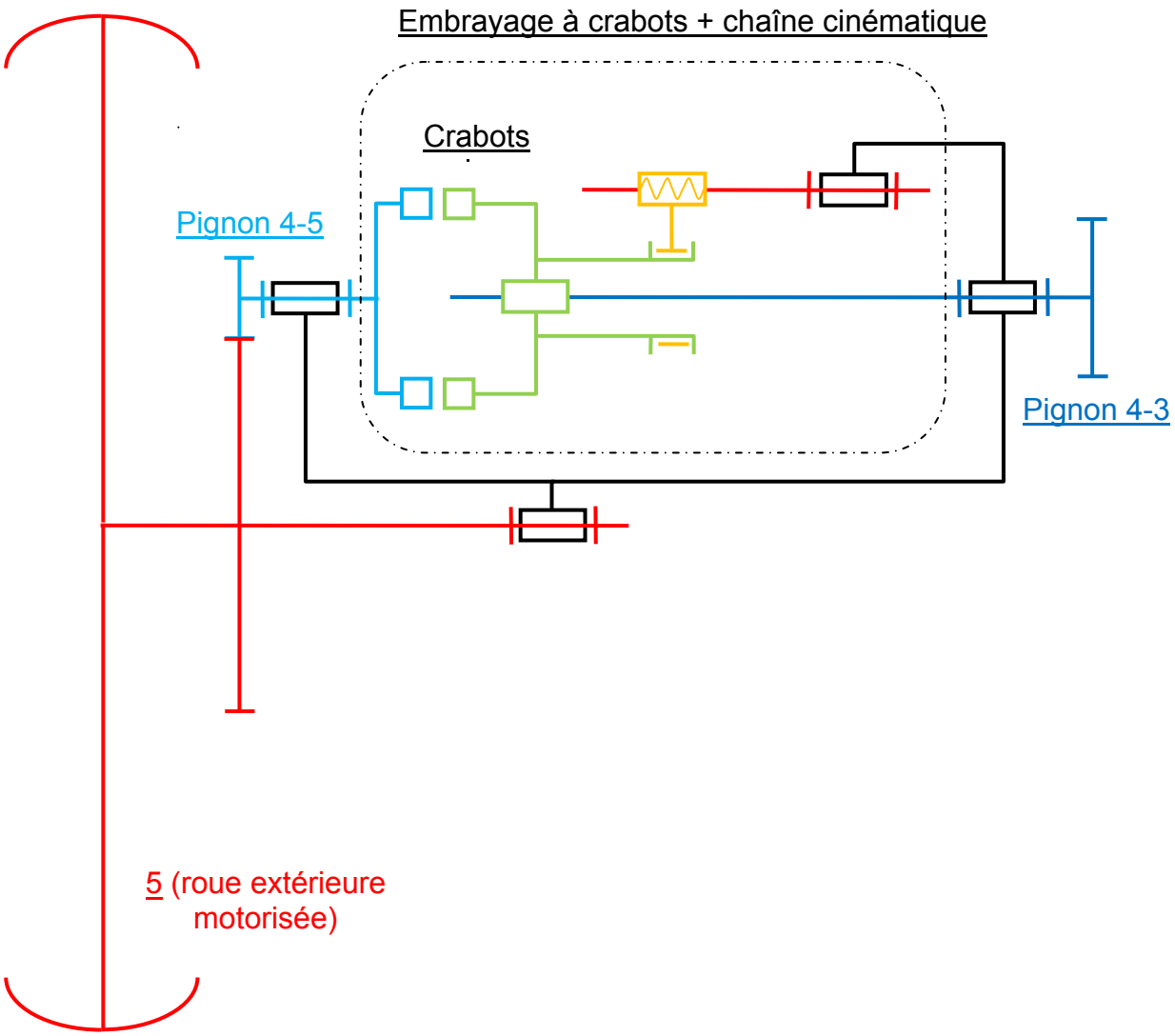
Question 28. *A partir des résultats de la question précédente et des exigences du CdCF, justifier l'utilisation de l'embrayage placé entre le pignon 4-5 et la sortie du réducteur GB12.*

A partir du résultat de la question précédente, on constate que l'effort dans l'engrenage 5/4-5 est très important.

Donc pour réduire cet effort, il faut limiter le nombre de solides à mettre en rotation pour diminuer l'inertie équivalente Jeq.

De plus le CdCF impose de ne pas perturber la rotation de la roue lors des phases d'atterrissage et de décollage d'où l'utilisation d'un embrayage placé le plus près possible de la roue motorisée.

Question 29. *Recopier sur votre copie le schéma cinématique ci-dessous (**figure 13**) et le compléter en proposant un modèle cinématique de l'embrayage à crabot en position débrayée ainsi que la chaîne cinématique relative au déplacement du crabot-M.*



Cinquième partie - Études des infrastructures aéroportuaires.

Question 30. Sachant que la masse totale de l'avion est de $79000kg$ et en utilisant les données de la ***figure 14,*** déterminer les efforts transmis à la piste par le train avant et les trains principaux d'un Airbus A320. Vous donnerez vos résultats en kN.

Poids Airbus A320 → 79000 x 9,81 = 774990 N → 775 kN

Symétrie de l'avion → 775/2 = 387,5 kN

$\sum M_f$ / train avant = 0

387,5 x 11,42 - $F_{train\ prin.}$ x 12,70 = 0

$F_{train\ prin.}$ = 4425,3/12,70 = <u>348,4 kN par train principal</u>

$\sum F / \vec{Y} = 0$

348,4 – 387,5 + $\frac{1}{2}$ x $F_{att.av}$ = 0

$F_{att.av.}$ = 39,1 x 2 = <u>78,2 kN pour le train avant</u>

Question 31. Calculer la répartition des charges en pourcentage entre le train avant et les trains principaux.

Charge sur les trains principaux : 348,4 x 2 = 696,8 kN

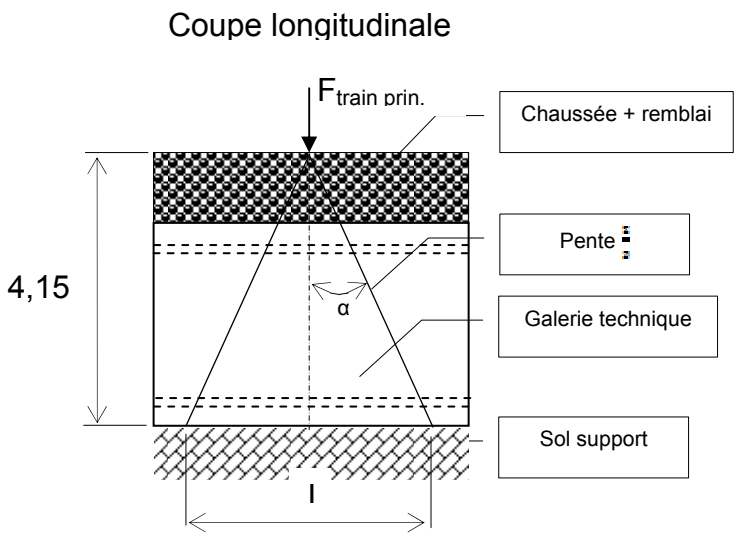
En % : (696,8 / 775) x 100 ≈ <u>90 %</u>

Charge sur le train avant : 78,2 kN

En % : (78,2 / 775) x 100 ≈ <u>10 %</u>

Question 32. Lorsque un train principal est positionné au droit de la galerie technique, et en admettant que la diffusion de la charge se fait avec une pente de 2/3 dans les couches de chaussée et dans la structure en béton de la galerie technique, calculer la longueur de galerie diffusant la charge d'un train principal sur le sol support.

Le document **DT3** comporte les données ayant trait à l'architecture de la galerie technique.



L = 2 /3 x 4,15 x 2 = <u>5,53 m</u>

ou

Pente 2/3 → α = 33,7°

L = (4,15 x tan 33,7) x 2 = <u>5,53 m</u>

Question 33. En considérant que l'ensemble des charges s'appliquent sur l'axe de symétrie de la galerie technique.

Calculer la pression verticale appliquée sur le sol par le radier. L'étude sera conduite pour une longueur de galerie égale à $5{,}00\ m$. Le sol support est supposé élastique et le radier infiniment rigide.

Poids propre d'un mètre de galerie :

Surface vide pour plein :

2,400 x 2,950	=		7,08 m^2	
Surface vide : 2,000 x 2,450	=	4,90 m^2		
Déduire : 4 fois (0,100 x 0,100) /2	=	0,02 m^2		
Ensemble :		4,88 m^2		
Reste :			2 ,20 m^2	
X 1 mètre				2,200 m^3
X poids propre B.A.				55 kN

Poids propre d'un mètre de chaussée : 0,300 x 2,400 x 1,000 x 25 = 18 kN

Poids propre d'un mètre de couche de forme : 0,400 x 2,400 x 1,000 x 19 = 18,3 kN

Poids propre d'un mètre de couche de remblai : 0,500 x 2,400 x 1,000 x 18 = 21,6 kN

Poids propre d'un mètre de réseaux = 5 kN

Résultante aux E.L.U. :

R = 1,35 x [(55 + 18 + 18,3 + 21,6 + 5) x 5] + (1,5 x 350)

R = (1,35 x 589,5) + (1,5 x 350)

R = 795,8 + 525 = 1320,8 kN

Calcul de la pression sur le sol :

q_{sol} = 1320,8.10^{-3} / (2,40 x 5,00) = <u>0,11 MPa</u>

Question 34. La contrainte ultime conduisant à la rupture du sol sous une fondation peut être évaluée à partir des résultats d'essais en laboratoire. Un essai de cisaillement à long terme (conditions drainées) à la boîte de Casagrande a été effectué sur le sol support. Calculer la contrainte ultime du sol.

Lecture sur la droite de Coulomb :

C' = 0,02 MPa

φ' = 0,200/0,40 = 0,50 → φ' = 26,6°

Calcul de q_u :

φ' = 26,6° → lecture sur les tableaux par interpolation linéaire

N_γ = 11,69 ; N_c = 23,26 ; N_q = 12,66

Le radier de la galerie peut être assimilé à une semelle filante ($L \approx \infty$)

S_γ = 1 ; S_c = 1 ; S_q = 1

$q_o = \sum_i h_i . \gamma_i$

q_o = (0,300 x 25) + (0,400 x 19) + (3,450 x18)

q_o = 7,50 + 7,60 + 62,10 = 77,20 kPa → 0,0772 MPa

q_u = (0,5 x 1 x 18.10^{-3} x 2,40 x 11,65) + (1 x 0,02 x 23,26) + (1 x 0,0772 x 12,66)

q_u = 0,251 + 0,465 + 0,977

q_u = 1,69 MPa

Question 35. En comparant votre résultat de la question 33 et celui de la question 34 et en incluant la notion de tassement, conclure sur la résistance du sol support.

Contrainte sur le sol : q_u = 0,11 MPa

Pour prendre en compte les tassements, si il n'y a pas d'étude spécifique, on estime q_d en prenant q_u / 2.

q_d → 1,69 / 2 = 0,84 MPa

0,11 < 0,84 MPa → conclusion : les conditions de résistance et de tassement sont vérifiées.

Question 36. Justifier par le calcul les valeurs des pressions retenues sur les piédroits.

Donnée complémentaire : Les efforts de poussée étant repris par le radier et la dalle, le déplacement de l'ouvrage n'existe pas (paroi rigide). Le calcul de la poussée se fera avec le coefficient K_0 (coefficient des terres au repos). La formule de Jaky donne une valeur de K_0 en fonction de l'angle de frottement φ'.

Coefficient des terres au repos :

$$K_0 = 1 - sin38$$

$$K_0 = 0{,}38$$

Contrainte verticale en en haut des piédroits :

$$\sigma'_v = \gamma_i \times h_i$$

$$\sigma'_v = (18 \times 0{,}500) + (19 \times 0{,}400) + (25 \times 0{,}300)$$

$$\sigma'_v = 9 + 7{,}6 + 7{,}5$$

$$\sigma'_v = 24{,}1\ kPa$$

Pression en haut des piédroits :

$\underline{\sigma'_h = 0{,}38 \times 24{,}1 = 9{,}15\ kPa}$ → Valeur arrondie à 10 kPa

Contrainte verticale en en bas des piédroits :

$$\sigma'_v = \gamma_t \times h_t$$

$$\sigma'_v = (18 \times 3{,}450) + (19 \times 0{,}400) + (25 \times 0{,}300)$$

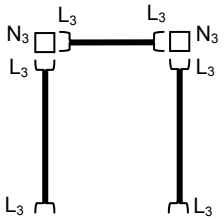
$$\sigma'_v = 62{,}1 + 7{,}6 + 7{,}5$$

$$\sigma'_v = 77{,}2\ kPa$$

Pression en bas des piédroits :

$\underline{\sigma'_h = 0{,}38 \times 77{,}2 = 29{,}3\ kPa}$ → Valeur arrondie à 30 kPa

Question 37. Définir de façon rigoureuse, le degré d'hyperstaticité de la structure.
On se place dans un système plan, on décompose la structure en barres et en nœuds :



$$3 \times b - \sum N_t - \sum L_t$$

3 x 3 + (2 x 3) – (6 x 3) = - 3 → <u>la structure est hyperstatique de degré 3.</u>

Question 38. Calculer les inconnues de liaison verticale en A et en B.

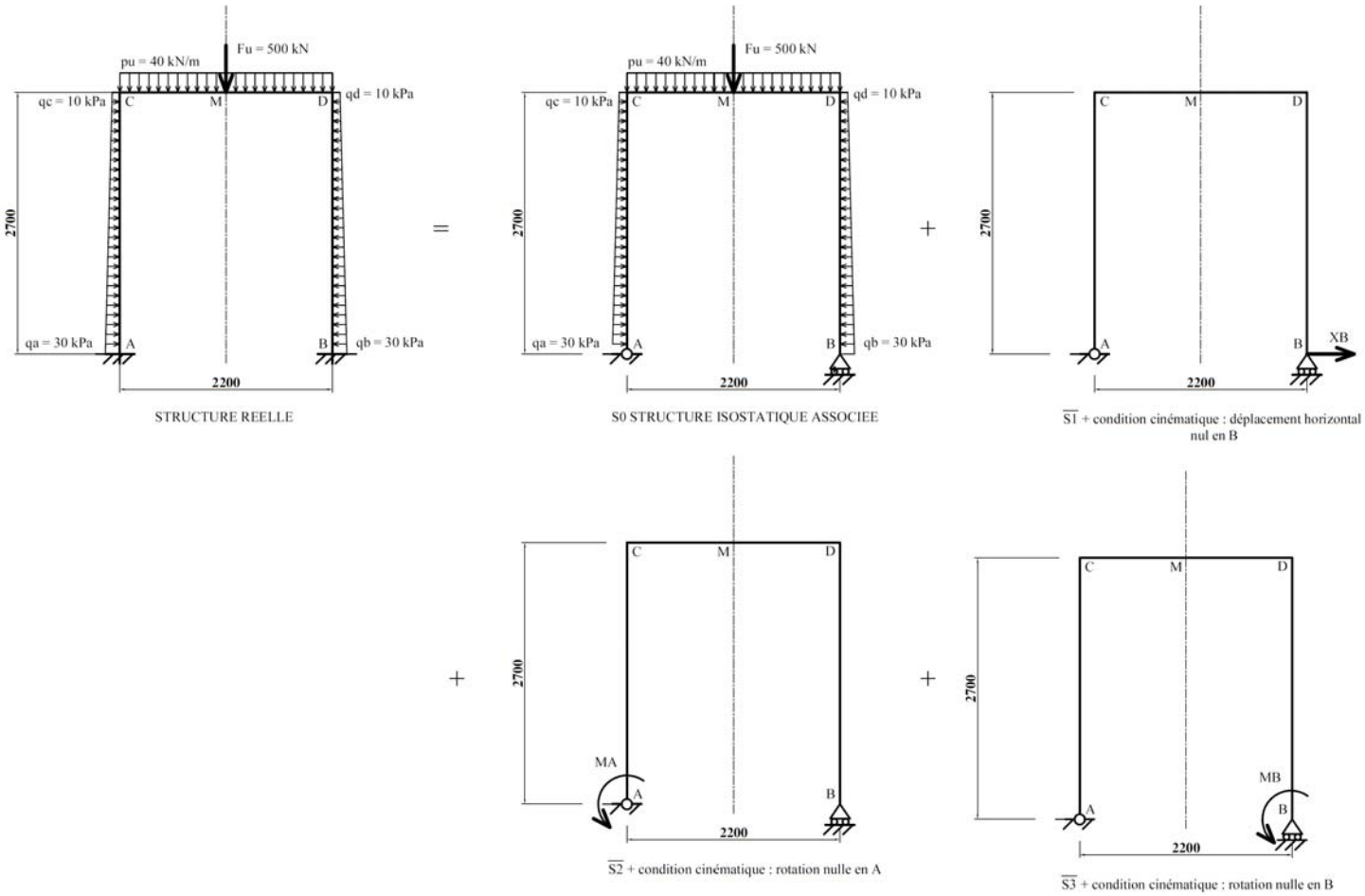
Structure symétrique, symétriquement chargée :
$Y_A = Y_B$ = [500 + (40 x 2,200)] /2 = <u>294 kN</u> ↑

Question 39. En utilisant le principe de superposition et des conditions cinématiques, proposer le principe de résolution de cette structure hyperstatique pour cela :

- Vous effectuerez les schémas des différentes structures associées.
- Vous tracerez les diagrammes du moment fléchissant sur vos différentes structures.
- Vous écrirez le système d'équations à résoudre. Par contre la résolution numérique du système n'est pas demandée.

La structure est hyperstatique d'ordre 3.

- On choisit une structure isostatique associée S_0.
- En appliquant le principe de superposition et des conditions cinématiques, on définit 3 structures auxiliaires permettant de recréer les liaisons supprimées.
- On se fixe des conditions cinématiques : déplacements et rotations nuls aux points A et B.
- On trace les diagrammes de moment fléchissant de S_0 ; $\overline{S_1}$; $\overline{S_2}$; $\overline{S_3}$.



Équations de Mf sur la demi-structure isostatique associée auxiliaire S_0.

Entre AC :

$$\sum Mf/_{\bar{G}} - 0$$

$$Mf(x) + \frac{10x^2}{2} + 20 \times \frac{(2{,}70 - x)}{2{,}70} \times x \times \frac{x}{2} + [20 - (20 - 7{,}41x)] \times x \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} x = 0$$

$$Mf(x) = 1{,}23x^3 - 15x^2$$

Valeurs :

$$x = 0 \rightarrow Mf(0) = 0$$

$$x = 2{,}700\ m \rightarrow Mf(2{,}700) = -85\ kN \cdot m$$

Entre CM :

$$\sum {}^{Mf}/_{G} = 0$$

$$Mf(x) + 27 \times 1{,}35 + 27 \times 1{,}60 - 294x + \frac{40x^2}{2} = 0$$

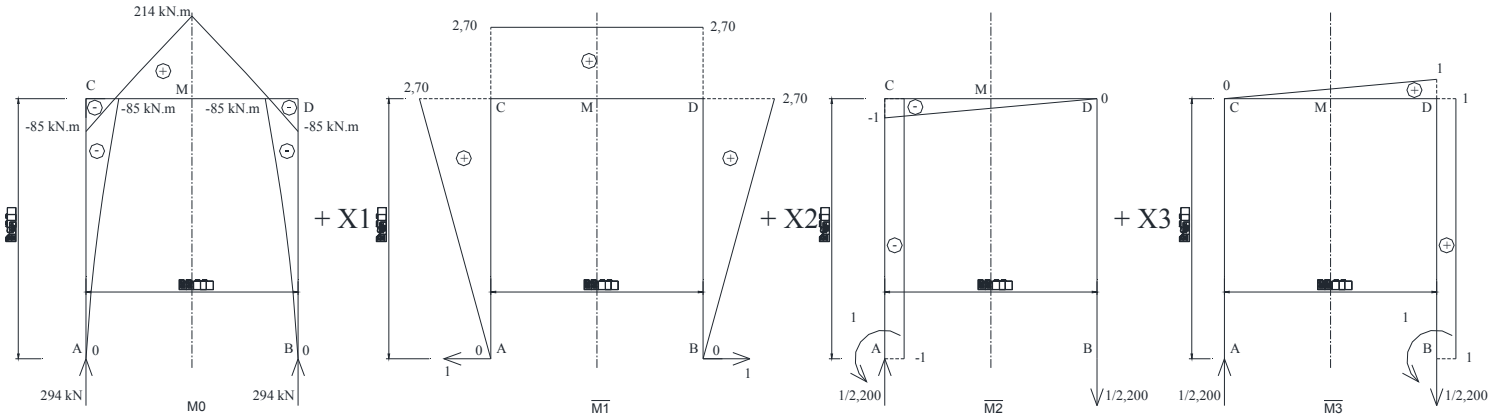
$$Mf(x) = -20x^2 + 294x - 85{,}05$$

Valeurs :

$$x = 0 \rightarrow Mf(0) = -85\,kN \cdot m$$

$$x = 1{,}100 \rightarrow Mf(1{,}100) = 214\,kN \cdot m$$

Pour les structures $\overline{S_1}$; $\overline{S_2}$; $\overline{S_3}$ → tracé des diagrammes sans les équations.



- On applique le théorème de Muller-Breslau. En négligeant N et V devant Mf, on peut écrire :

$$\Delta_{10} = \int_S \frac{M_0 \times \overline{M_1}}{EI} \cdot ds + X1 \int_S \frac{\overline{M_1} \times \overline{M_1}}{EI} \cdot ds + X2 \int_S \frac{\overline{M_1} \times \overline{M_2}}{EI} \cdot ds + X3 \int_S \frac{\overline{M_1} \times \overline{M_3}}{EI} \cdot ds = 0$$

$$\Delta_{20} = \int_S \frac{M_0 \times \overline{M_2}}{EI} \cdot ds + X1 \int_S \frac{\overline{M_2} \times \overline{M_1}}{EI} \cdot ds + X2 \int_S \frac{\overline{M_2} \times \overline{M_2}}{EI} \cdot ds + X3 \int_S \frac{\overline{M_2} \times \overline{M_3}}{EI} \cdot ds = 0$$

$$\Delta_{30} = \int_S \frac{M_0 \times \overline{M_3}}{EI} \cdot ds + X1 \int_S \frac{\overline{M_3} \times \overline{M_1}}{EI} \cdot ds + X2 \int_S \frac{\overline{M_3} \times \overline{M_2}}{EI} \cdot ds + X3 \int_S \frac{\overline{M_3} \times \overline{M_3}}{EI} \cdot ds = 0$$

- On calcule ces intégrales (primitives, tableau d'intégrales de Mohr, théorème de Véréchaguine).
- On résout le système suivant : en posant X2 = X3 et en simplifiant par EI.

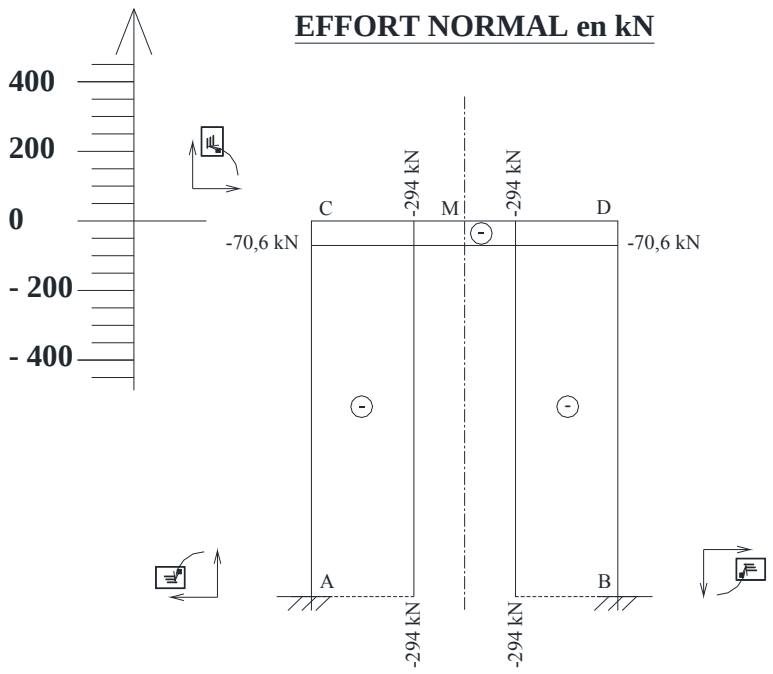
- On trouve X1 ; X2 ; X3 égal à X_B ; M_A ; M_B.

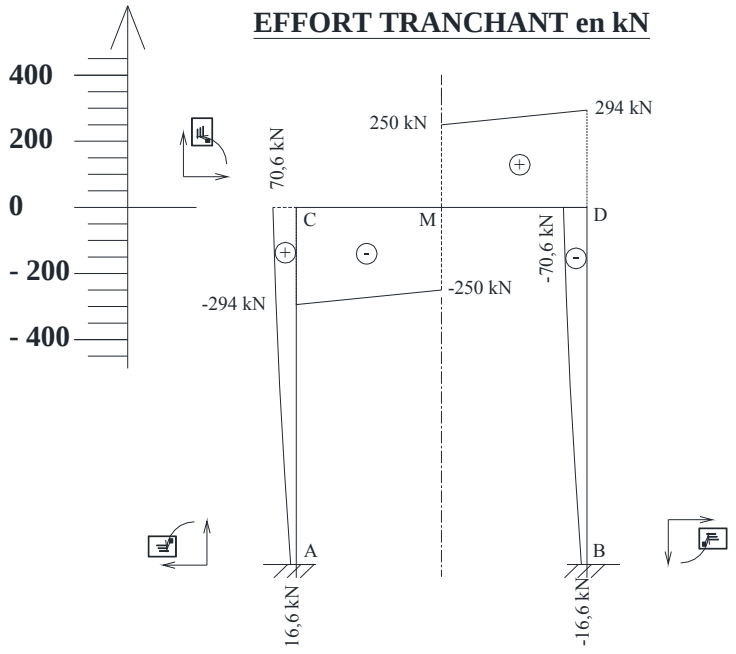
$$X1\delta_{11} + X2\delta_{12} + X3\delta_{13} = -\Delta_{10}$$

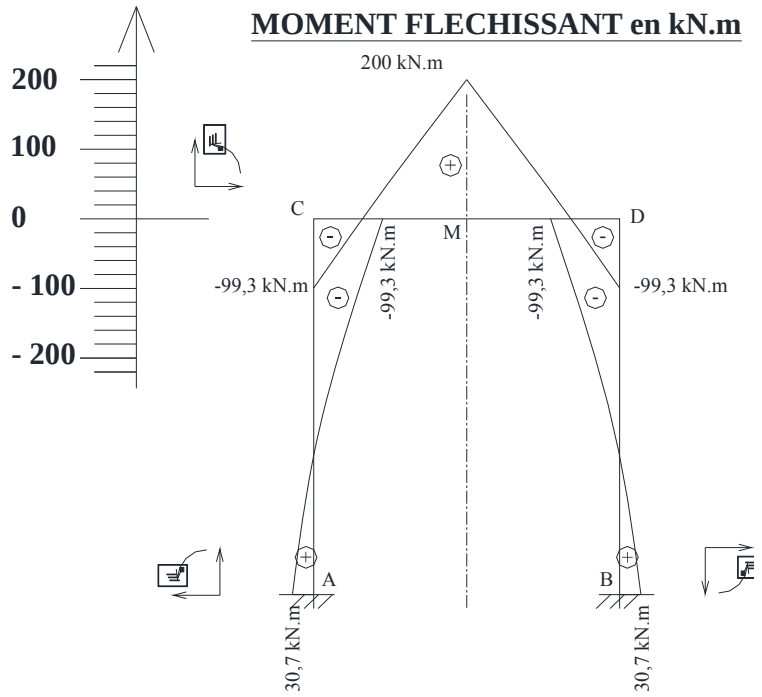
$$X1\delta_{21} + X2\delta_{22} + X3\delta_{23} = -\Delta_{20}$$

$$X1\delta_{31} + X2\delta_{32} + X3\delta_{33} = -\Delta_{30}$$

Question 40. Tracer les diagrammes de variations des efforts internes [effort normal $N(x)$, effort tranchant $V(x)$ et moment fléchissant $Mfz(x)$] dans les piédroits et la dalle. Pour cela vous utiliserez les résultats du calcul informatique fournis dans le **DT7**.
Vous compéterez les documents réponses **DR3** à **DR5** en indiquant sur vos diagrammes les valeurs particulières.







Question 41. Déterminer la section d'armature en travée pour la dalle supérieure. Les efforts de compression dans la dalle étant faibles, on se placera dans le cas de la flexion simple. Vérifier la valeur réelle de d, la section minimale et maximale des armatures. Le document **DT6** présente un organigramme de calcul respectant l'Eurocode 2. Le document **DT8** donne les caractéristiques des aciers de construction.

Armatures en travée :

$$d \leq 0{,}9 \times h \rightarrow 0{,}9 \times 0{,}300 = 0{,}270\ m$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \rightarrow \frac{35}{1{,}5} = 23{,}3\ MPa$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \rightarrow \frac{500}{1{,}15} = 434{,}8\ MPa$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} \rightarrow \frac{0{,}200}{1{,}000 \times 0{,}270^2 \times 23{,}3} = 0{,}1177 \leq 0{,}3717$$

Pivot B les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha_u = 1{,}25 \times \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) \rightarrow 1{,}25 \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}1177}\right) = 0{,}157$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{d \times (1 - 0{,}4\alpha_u) \times f_{yd}} \rightarrow \frac{0{,}200}{0{,}27 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}157) \times 434{,}8} = 18{,}18.10^{-4}\ m^2$$

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w \times d} \rightarrow \frac{18{,}18.10^{-4}}{1{,}000 \times 0{,}270} = 0{,}0067 \rightarrow 0{,}67\ \%$$

Choix des armatures : En travée : 12 HA 14 / m → 18,48 cm^2 / m

Les armatures seront réparties en deux lits.

Vérification de d :

$d_{réel}$ = 0,300 - (0,030 + 0,014) = 0,256 m ≠ 0,270 m

On redimensionne avec le $d_{réel}$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} \rightarrow \frac{0{,}200}{1{,}000 \times 0{,}256^2 \times 23{,}3} = 0{,}131 \leq 0{,}3717$$

Pivot B les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha_u = 1{,}25 \times \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) \rightarrow 1{,}25 \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}131}\right) = 0{,}176$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{d \times (1 - 0{,}4\alpha_u) \times f_{yd}} \rightarrow \frac{0{,}200}{0{,}256 \times (1 - 0{,}4 \times 0{,}176) \times 434{,}8} = 19{,}33.10^{-4}\ m^2$$

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w \times d} \rightarrow \frac{19{,}33.10^{-4}}{1{,}000 \times 0{,}256} = 0{,}0076 \rightarrow 0{,}76\ \%$$

Nouveau choix en travée : <u>6 HA 16 + 6 HA 14 / m → 12,10 + 9,24 = 21,34 cm^2 / m</u>

Vérification armatures min

$$A_{s1} > A_{s1min} = max\left[0{,}26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_w \times d\ ;0{,}0013 \times b_w \times d\right]$$

$$A_{s1} > A_{s1min} = max\left[0{,}26 \times \frac{3{,}2}{500} \times 1{,}000 \times 0{,}256\ ;0{,}0013 \times 1{,}000 \times 0{,}256\right]$$

$$A_{s1} > A_{s1min} = max[4{,}26.10^{-4}\ m^2; 3{,}33.10^{-4}\ m^2]$$

<u>$21{,}34\ cm^2 > 4{,}26\ cm^2 \rightarrow$ condition vérifiée</u>

Vérification armatures max

$$A_{s1} < 0{,}04 \times A_c = 0{,}04 \times 1{,}000 \times 0{,}300$$

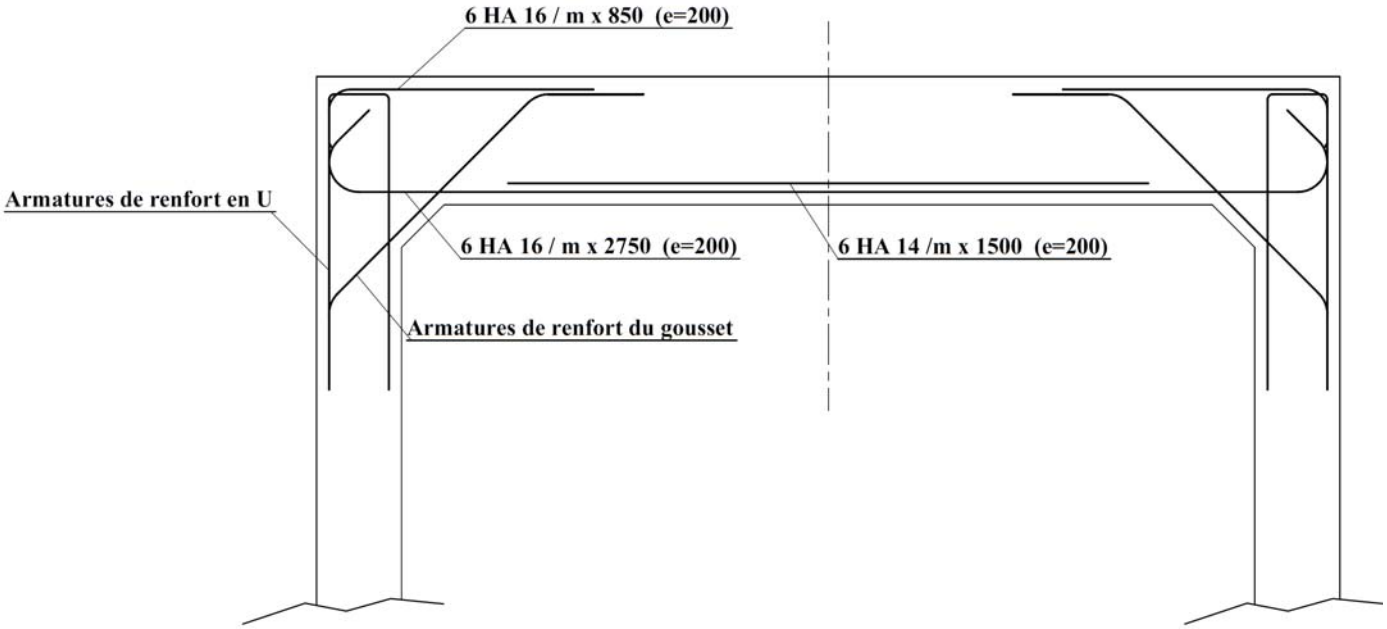
$$A_{s1} < 0{,}0120\ m^2$$

<u>$120\ cm^2 > 21{,}34\ cm^2 \rightarrow$ condition vérifiée</u>

Question 42. Déduire de la question 41 la section d'armature sur les appuis. Proposer un schéma de principe des armatures pour la dalle supérieure sur le document réponse **DR5**. Vous préciserez les diamètres des armatures choisies. Le document **DT8** donne les caractéristiques des aciers de construction.

Sur appuis :
19,33 / 2 = 9,67 cm^2 / m → 6 HA 16 (12,10 cm^2 / m)

Schéma de principe des armatures pour la dalle de la galerie technique

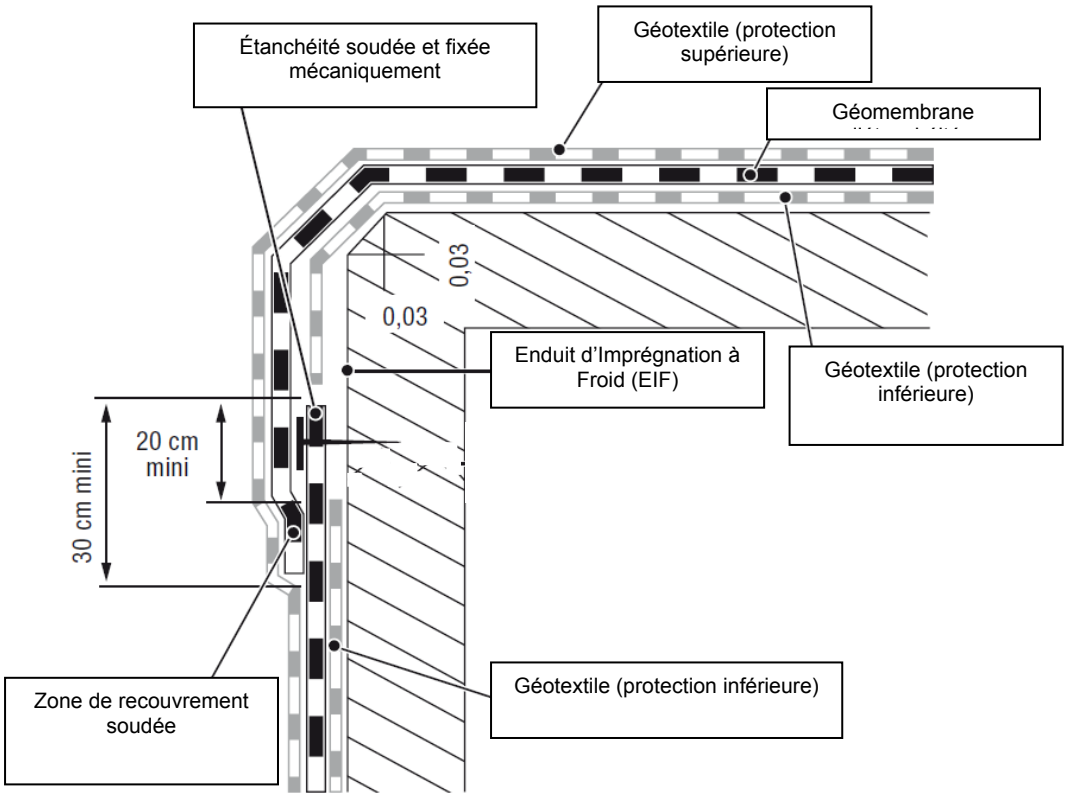


Proposer une solution permettant d'assurer l'étanchéité de la galerie.

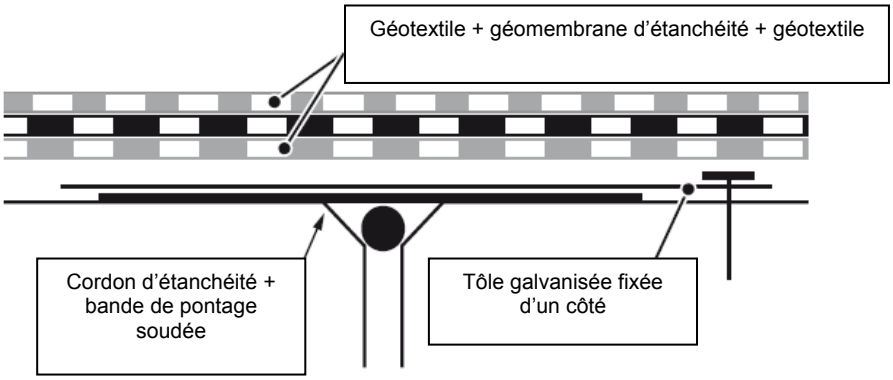
Vous proposerez deux croquis de votre solution : le premier à la liaison piédroits / dalle supérieure et le second au droit d'un joint entre deux cadres préfabriqués.

L'étanchéité peur être réalisée à l'aide d'une géomenbrane en bitume élastomère armée par un voile de verre. Cette géomenbrane est fixée par soudage et clouage en tête de voile. Elle est protégée par 2 géotextiles (protection inférieure et supérieure). La protection supérieure peut être renforcée par une feuille de polypropylène embossée + écran thermocollé en non tissé polypropylène.

Liaison voile / dalle supérieure



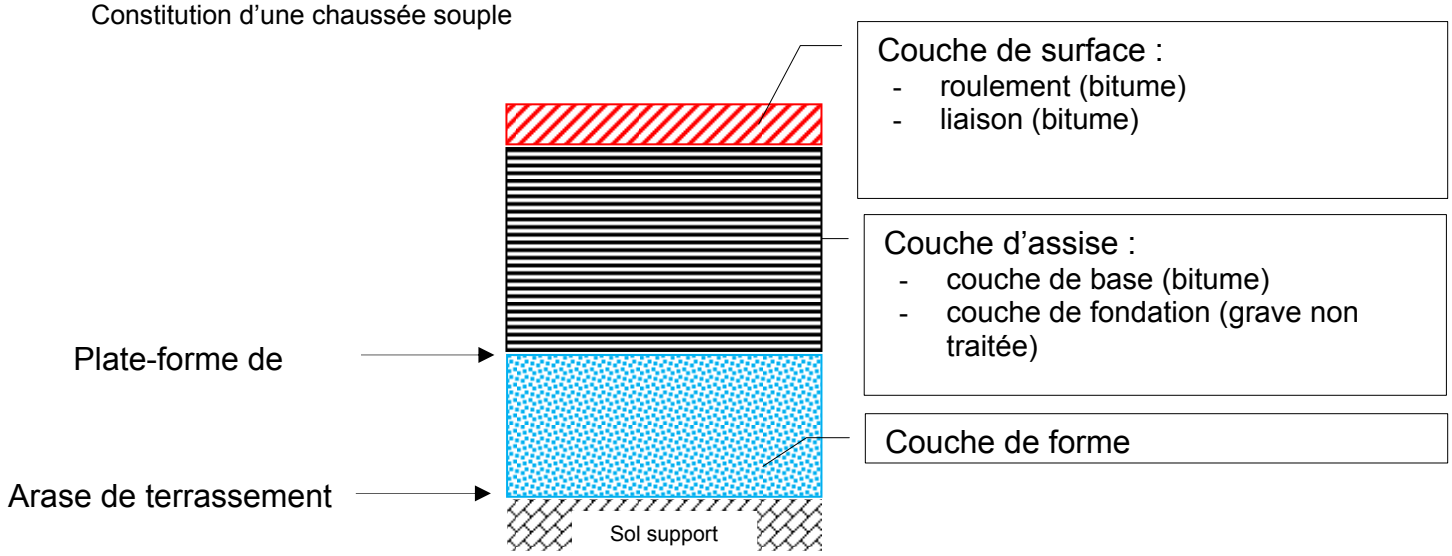
Traitement des joints

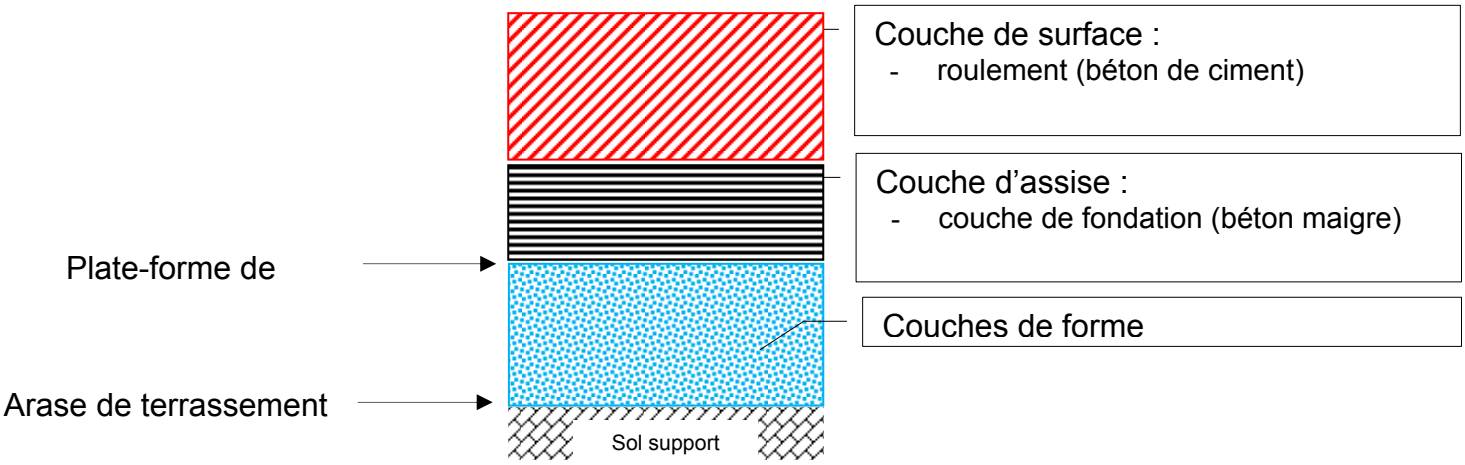


Question 43. Le CCTP préconise la réalisation d'une chaussée souple pour la piste et une chaussée rigide en béton pour les aires de stationnement.

A l'aide de schémas légendés, préciser la constitution de ces deux chaussées, puis justifier le choix de la chaussée rigide en béton pour les aires de stationnement.

Constitution d'une chaussée souple





Constitution d'une chaussée rigide

L'emploi d'une structure souple bitumineuse est déconseillé pour les aires de stationnement pour plusieurs raisons :

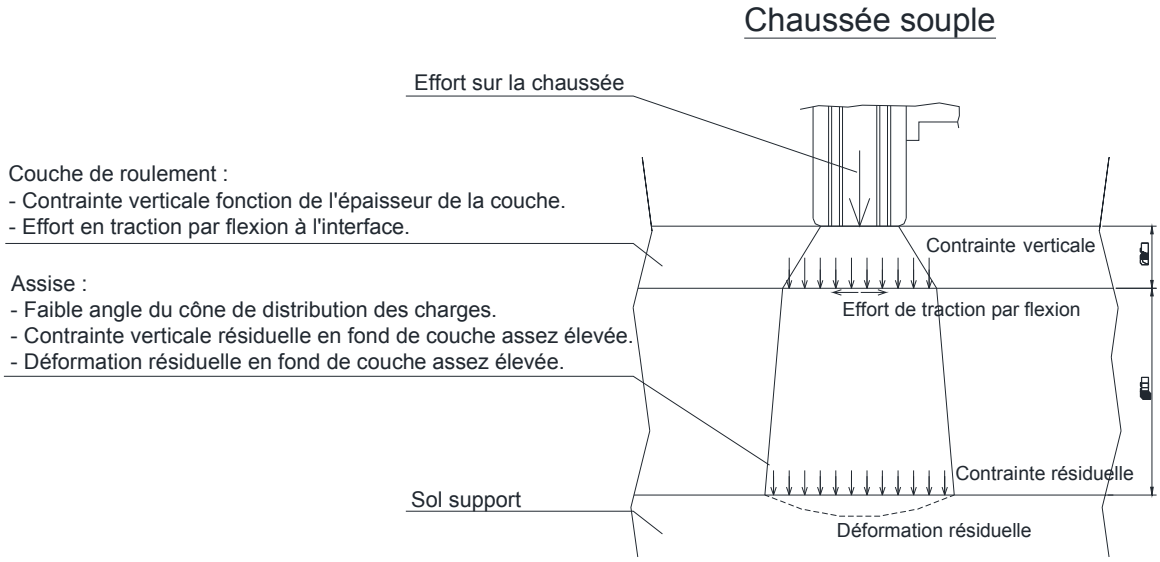
1) Il y a des risques de poinçonnement importants sous l'effet des charges transmises par les trains principaux. Par nature même, le béton ne s'ornière pas. De plus, la forte rigidité du béton permet de mobiliser des efforts notables de traction par flexion. La répartition des efforts au niveau des couches de fondation conduit à une faible sollicitation de ces dernières et donc à l'élimination de tout risque de déformation.

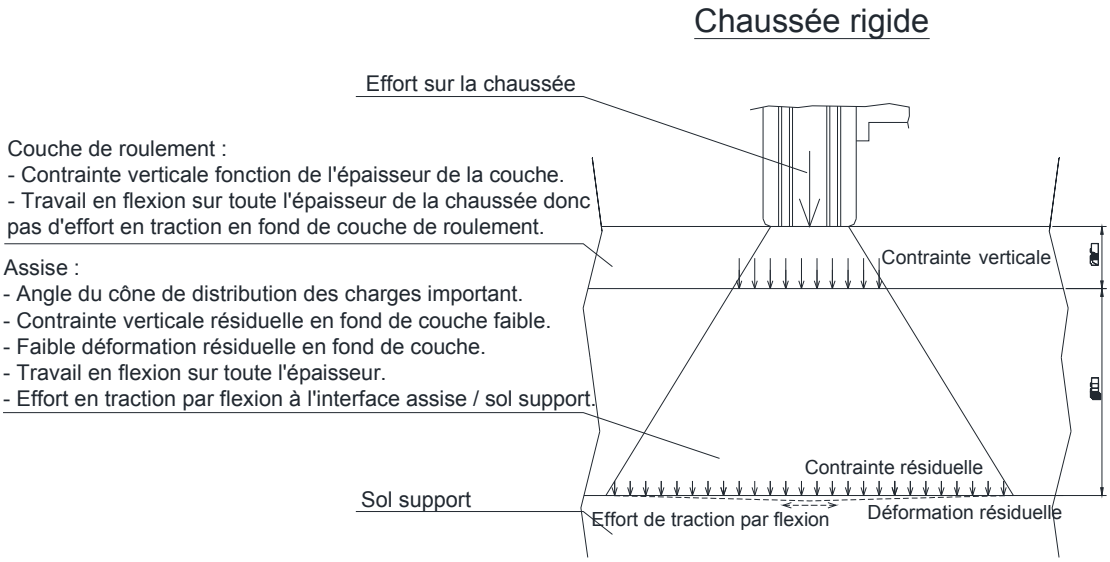
2) Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés sont sensibles aux hydrocarbures, le matériau béton ne subit aucune dégradation suite à l'attaque des hydrocarbures.

3) Le matériau béton est insensible aux variations de températures.

Question 44. D'une façon générale, schématiser le principe de fonctionnement mécanique d'une chaussée souple et d'une chaussée rigide. Vous adopterez un modèle de comportement élastique linéaire.

Pour cela, sur le document réponse **DR6**, vous dessinerez le cône de distribution des charges, vous préciserez sans les calculer, la nature des efforts, des contraintes et des déformations, aux interfaces des couches.





Question 45. En utilisant la méthode exposée dans le **DT9**, effectuer la vérification au gel-dégel de la partie courante de la piste pour une protection totale.

Conclure sur l'intégrité de la chaussée vis à vis des conditions climatiques.

La protection thermique Q_{ng} apportée par les matériaux non gélifs de la couche de forme vaut :

$$Q_{ng} = \frac{A_n \times h_n^2}{h_n + 10} \rightarrow \frac{0{,}12 \times 40^2}{40 + 10} = 3{,}84\ (°c \cdot jour)^{1/2}$$

Quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme de la chaussée vaut :

$$Q_{PF} = Q_{ng} + Q_g \rightarrow 3{,}84 + 0 = 3{,}84\ (°c \cdot jour)^{1/2}$$

Q_g = 0 car on souhaite une protection totale.

Quantité de gel transmise à la surface de la chaussée :

$$Q_s = \sqrt{0{,}7 \times (I - 10)} \rightarrow \sqrt{0{,}7 \times (170 - 10)} = 10{,}58\ (°c \cdot jour)^{1/2}$$

Quantité de gel transmise au niveau de la plate-forme de la chaussée :

$$Q_s = (1 + a \times h) \times Q_r + b \times h$$

$$h = \sum h_i \rightarrow 6 + 12 + 40 = 58\,cm$$

$$a = \frac{1}{h}\sum(a_i \times h_i) \rightarrow \frac{1}{58}(0{,}008 \times 6 + 0{,}008 \times 12 + 0{,}008 \times 40) = 0{,}008\ (°c \cdot jour)^{1/2} cm^{-1}$$

$$b = \frac{1}{h}\sum(b_i \times h_i) \rightarrow \frac{1}{58}(0{,}06 \times 6 + 0{,}06 \times 12 + 0{,}10 \times 40) = 0{,}088\ (°c \cdot jour)^{1/2} cm^{-1}$$

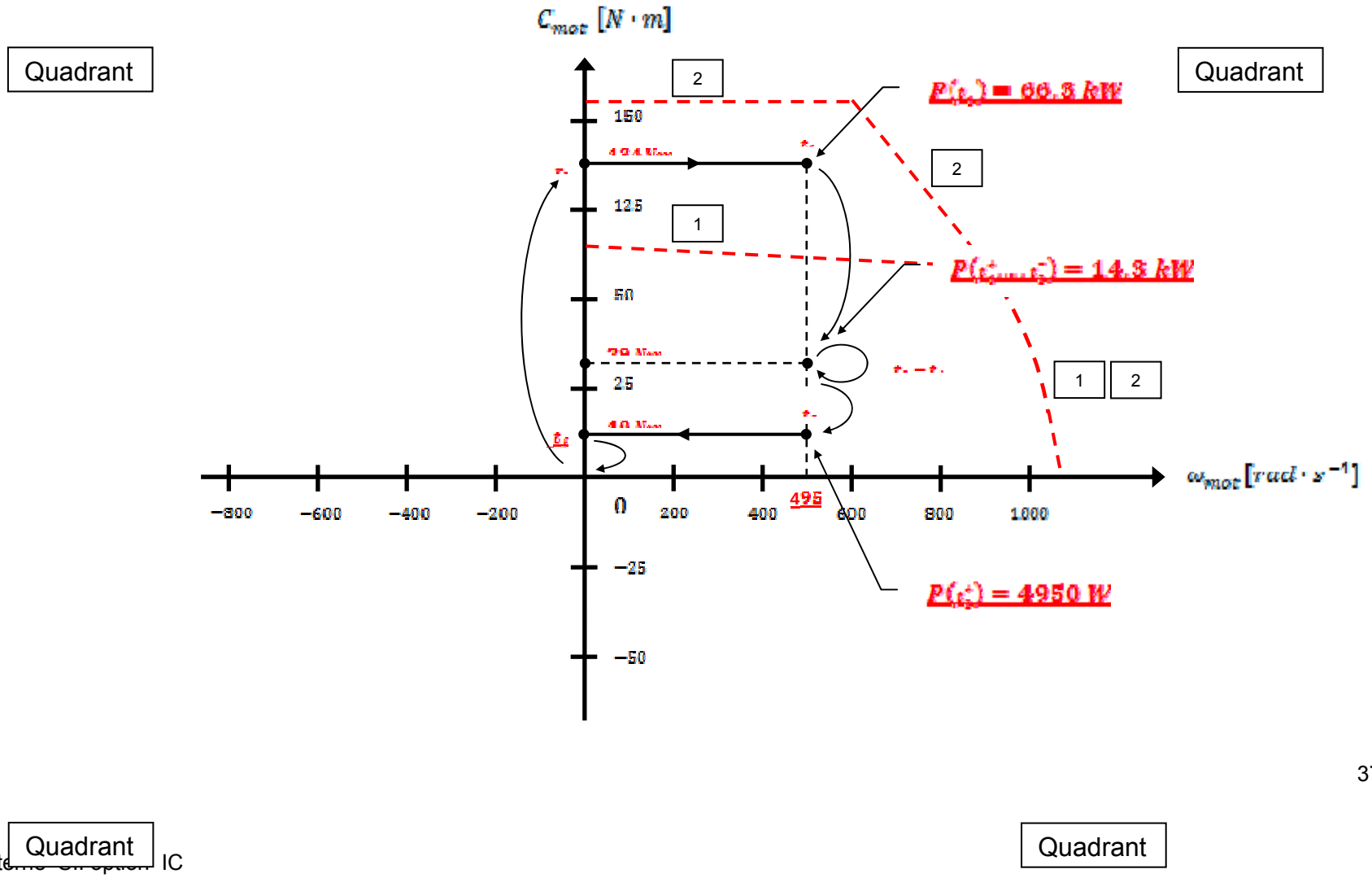
$$Q_r = \frac{Q_s - (b \times h)}{1 + (a \times h)} \rightarrow \frac{10{,}58 - (0{,}088 \times 58)}{1 + (0{,}008 \times 58)} = 3{,}74\ (°c \cdot jour)^{1/2}$$

On doit vérifier que : $\underline{Q_r < Q_{RF} \rightarrow 3{,}74 < 3{,}84\ (°c \cdot jour)^{1/2}}$

Conclusion : La structure de chaussée est donc bien vérifiée au gel-dégel pour une protection totale.

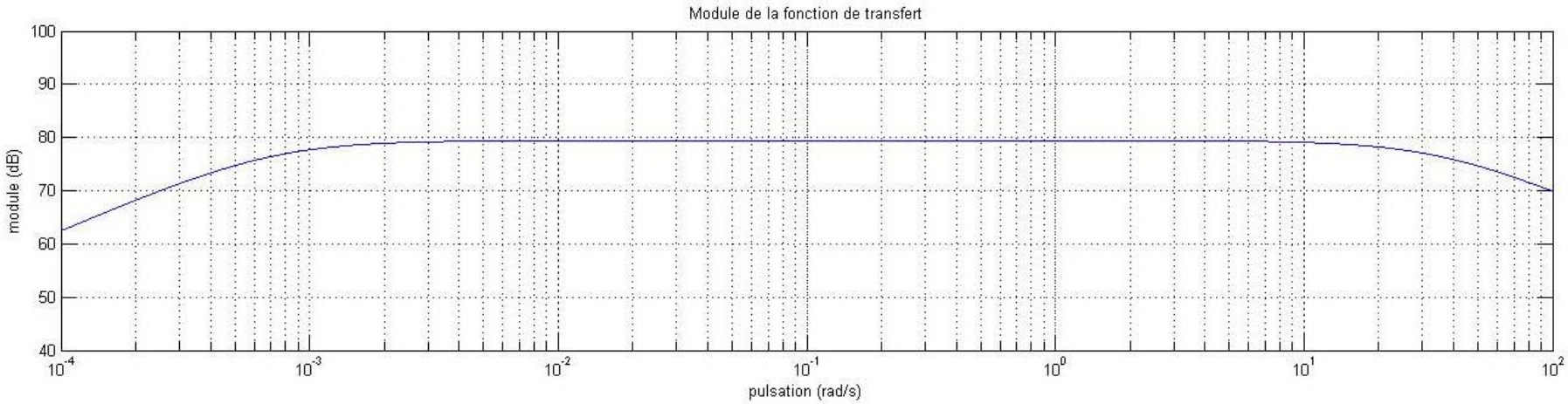
Document Réponse DR1

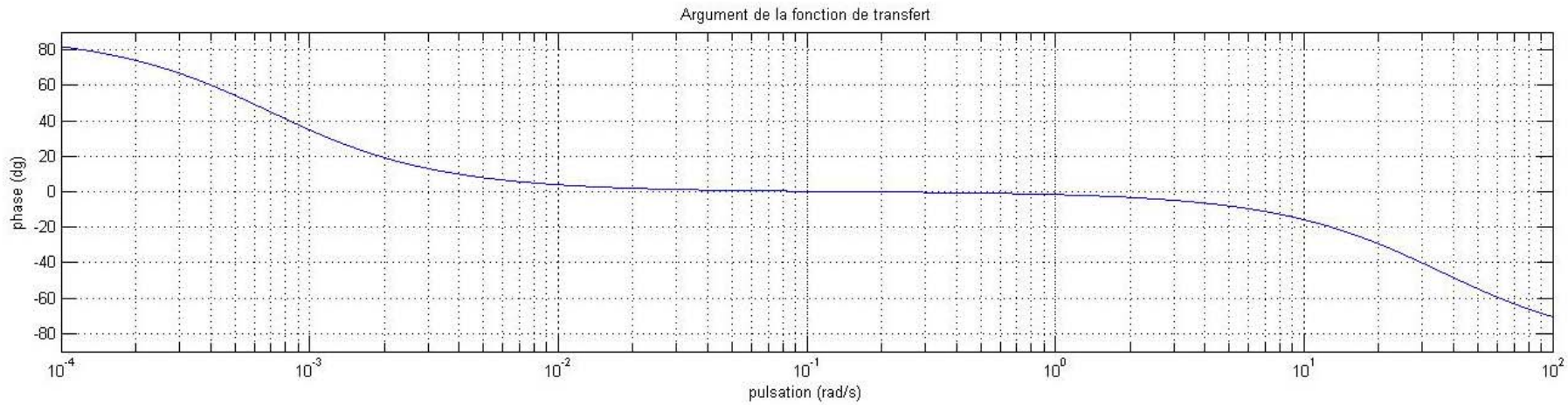
Evolution du point de fonctionnement dans le plan couple-vitesse



Document Réponse DR2

Représentation du module et de la phase dans le plan de Bode de la fonction de transfert $H_{cons}(j\omega)$





Rapport du jury de l'épreuve commune de sciences industrielles de l'ingénieur

Présentation du sujet

L'Electric Green Taxiing System est un actionneur électromécanique permettant de déplacer les avions au sol sans avoir recours à l'utilisation des réacteurs.

Le système vient prélever l'énergie nécessaire à son fonctionnement au niveau de l'APU (groupe auxiliaire de puissance, générateur d'énergie électrique lorsque les réacteurs sont à l'arrêt).

Sur l'A320 actuellement utilisé dans le cadre de la conception de l'EGTS, on trouve un seul actionneur électromécanique par train principal, donc 2 actionneurs au total pour l'avion. Un train principal comporte deux roues mais seule la roue extérieure est motorisée.

La phase appelée « taxi out » regroupe tous les déplacements de l'avion au sol à partir de son point de stationnement jusqu'à la piste en vue du décollage. Le système Green taxiing doit fonctionner durant toute la phase de taxiage de l'emplacement jusqu'au point d'arrêt. C'est à partir du point d'arrêt que les réacteurs sont mis en route. A ce moment-là, l'EGTS est désactivé afin ne pas entraver le bon déplacement de l'avion. Le système doit donc devenir transparent à partir de cette phase et pendant toute la phase de vol.

La phase de « Taxi In » regroupe tous les déplacements de l'avion à partir du moment où l'avion a dégagé la piste après l'atterrissage et dès que les réacteurs ont été éteints. Cette phase prend fin lorsque l'avion atteint son point de stationnement. L'EGTS est activé pendant cette phase.

Le sujet a été décomposé en 5 parties indépendantes, afin de ne pas pénaliser les candidats.

Première partie – Étude de la chaîne cinématique

Eléments statistiques sur l'ensemble des copies

Questions	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5
Pourcentage de candidats qui ont abordé la question.	52 %	47 %	47 %	27 %	21 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses justes.	30 %	24 %	25 %	4 %	8 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question partiellement.	3 %	10 %	10 %	15 %	10 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses fausses.	19 %	13 %	12 %	8 %	4 %
Pourcentage de candidats qui n'ont pas traité la question.	48 %	53 %	53 %	73 %	79 %

Commentaires : les questions de 1 à 3 permettaient d'aborder des notions de cinématique. Après avoir déterminé le nombre de dents de la roue liée à la jante, il fallait déterminer la vitesse de rotation des moteurs en fonction des réducteurs. La moitié des candidats ont abordé ces questions de façon plutôt satisfaisante. L'application numérique a parfois posé aux candidats des problèmes d'unités.

Les questions 5 et 6 devaient permettre de trouver la vitesse des moteurs lorsque l'avion effectuait un virage. Peu de candidats ont traité ces questions de façon satisfaisante, car les équations n'ont pas été formulées avec rigueur.

Deuxième partie – Étude de la motorisation

Eléments statistiques sur l'ensemble des copies

Questions	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10	n°11	n°12	n°13	n°14
Pourcentage de candidats qui ont abordé la question.	27 %	19 %	12 %	11 %	16 %	14 %	8 %	6 %	3 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses justes.	2 %	2 %	2 %	5 %	1 %	3 %	0 %	1 %	0 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question partiellement.	19 %	10 %	5%	1 %	10 %	6 %	4 %	2 %	2 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses fausses.	7 %	8 %	5%	6 %	5 %	5 %	5 %	4 %	1 %
Pourcentage de candidats qui n'ont pas traité la question.	73 %	81 %	88 %	89 %	84 %	86 %	92 %	94 %	97 %

Commentaires : Peu de candidats ont traité cette partie, qui mobilisait des connaissances dans les domaines mécanique et électrique. Le Principe Fondamental de la Dynamique est souvent mal maîtrisé par les candidats ayant abordé ces questions. Les dernières questions concernaient les notions de couple et de couple thermique, permettant de déboucher sur le choix d'une motorisation spécifique.

Troisième partie – Étude de l'asservissement

Eléments statistiques sur l'ensemble des copies

Questions	n°15	n°16	n°17	n°18	n°19	n°20	n°21	n°22	n°23	n°24
Pourcentage de candidats qui ont abordé la question.	18 %	13 %	6 %	2 %	1 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses justes.	3 %	0 %	1 %	0 %	1 %	2 %	2 %	1 %	1 %	0 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question partiellement.	8 %	8 %	2 %	2 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	1 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses fausses.	8 %	5 %	3 %	1 %	0 %	2 %	0 %	1 %	0 %	0 %
Pourcentage de candidats qui n'ont pas traité la question.	82 %	87 %	94 %	98 %	9 9%	97 %	98 %	98 %	99 %	99 %

Commentaires : Quasi aucun candidat n'a pu traiter cette partie qui mobilisait des connaissances du domaine du génie électrique et nécessitait une bonne connaissance des lois de comportement des modèles électriques.
On constate que les candidats non issus de la discipline ont eu des difficultés de compréhension de la problématique. De plus les notions mathématiques requises pour traiter ces questions semblent avoir bloqué les candidats. Des connaissances sur les fonctions de transfert et les transformées de Laplace sont donc nécessaires pour aborder ce type de problématique.

Quatrième partie – Étude de l'embrayage

Eléments statistiques sur l'ensemble des copies

Questions	n°25	n°26	n°27	n°28	n°29
Pourcentage de candidats qui ont abordé la question.	15 %	7 %	5 %	5 %	16 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses justes.	2 %	0 %	0 %	2 %	2 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question partiellement.	3 %	1 %	2 %	2 %	12 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses fausses.	10 %	6 %	2 %	2 %	2 %
Pourcentage de candidats qui n'ont pas traité la question.	85 %	93 %	95 %	95 %	84 %

Commentaires : Très peu de candidats n'ont su traiter cette partie qui mobilisait des connaissances du domaine du génie mécanique. Dans un premier temps, il fallait déterminer l'inertie équivalente du réducteur. Ensuite en appliquant le théorème de l'énergie cinétique, il fallait déterminer l'expression de l'effort dans l'engrenage. Le schéma cinématique de l'embrayage a été abordé par un peu plus de candidats. Comme il n'y avait pas de solution unique, les candidats qui ont proposé un schéma mécanique cohérent ont pu avoir un maximum de points.

Cinquième partie - Études des infrastructures aéroportuaires
Eléments statistiques sur l'ensemble des copies

Étude 1

Questions	n°30	n°31	n°32	n°33	n°34	n°35	n°36	n°37	n°38	n°39	n°40	n°41	n°42	n°43
Pourcentage de candidats qui ont abordé la question.	87%	85%	72%	76%	65%	51%	46%	59%	54%	35%	52%	37%	41%	30%
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses justes.	63%	73%	21%	11%	8%	3%	16%	44%	49%	1%	3%	7%	8%	2%
Pourcentage de candidats qui ont traité la question partiellement.	18%	0%	37%	44%	48%	5%	26%	2%	0%	24%	43%	29%	27%	24%
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses fausses.	6%	11%	13%	21%	8%	43%	4%	13%	5%	11%	6%	1%	5%	4%
Pourcentage de candidats qui n'ont pas traité la question.	13%	15%	28%	24%	35%	49%	54%	41%	46%	65%	48%	63%	59%	70%

42

Commentaires : Cette partie a été traitée par le plus grand nombre. Elle nécessitait des connaissances dans le domaine du génie civil et sur les infrastructures aéroportuaires.
Les thèmes abordés dans cette première partie sont :

- l'application du P.F.S.,
- des calculs de charges,
- les relations pression-surface-force,
- la diffusion des charges,
- le principe de superposition,
- le principe de résolution d'un système hyperstatique,
- les tracés des diagrammes des sollicitations internes,
- le dimensionnement d'ouvrage en béton armé,
- la mise en œuvre d'une solution technologique.

Les candidats qui ont fait preuve de méthode et de structuration dans leurs analyses ont pu traiter l'ensemble de cette partie et ont en général obtenu de bons résultats.

Les premières questions ont été plutôt bien traitées, on peut cependant regretter que certains candidats aient des difficultés à fournir des unités cohérentes pour leurs résultats.

Les questions suivantes permettaient d'aborder les sollicitations dans une structure hyperstatique. On constate qu'un grand nombre de candidats ne maîtrisent pas les principes de résolution de ce type de structure. De plus, très peu de candidats sont en mesure de tracer les diagrammes des sollicitations internes avec précision. Trop souvent les valeurs, les signes, sont erronés. Les relations entre effort tranchant et moment fléchissant semblent ignorées et les allures des courbes sont trop approximatives.
La détermination des armatures et le schéma de principe ont montré également que certains candidats utilisaient un organigramme de calcul sans avoir compris dans quel sens portait la dalle.
La solution technique permettant d'assurer l'étanchéité de l'ouvrage manque de précision. Les schémas sont souvent très sommaires.

Eléments statistiques sur l'ensemble des copies

Étude 2

Questions	n°44	n°45	n°46
Pourcentage de candidats qui ont abordé la question.	27 %	24 %	14 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses justes.	2 %	1 %	2 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question partiellement.	21 %	15 %	9 %
Pourcentage de candidats qui ont traité la question avec des réponses fausses.	3 %	8 %	3 %
Pourcentage de candidats qui n'ont pas traité la question.	73 %	76 %	86 %

Commentaires : Cette partie abordait le domaine des travaux publics. Les questions 44 et 45 permettaient de définir les structures de la piste et le principe de comportement d'une chaussée souple et d'une chaussée rigide. La question 46 était basée sur le raisonnement et l'aptitude à résoudre une problématique qui ne relève pas forcément de son champ de compétence à travers l'analyse d'un document technique. Malheureusement peu de candidats ont effectué cette démarche.

43

Conseils du jury :

Le jury a particulièrement apprécié les copies des candidats qui ont su mettre en avant à travers leurs qualités rédactionnelles, un raisonnement cohérent et une formulation claire des réponses et des conclusions.

Le jury regrette que de trop nombreuses copies n'aient pas été rédigées avec le soin et l'attention nécessaires et qui pour certaines s'apparentent à des brouillons. Ce type de copies, mal présentées, ne permettent pas au jury d'appréhender les capacités du candidat à rédiger, à formuler clairement ses conclusions ou d'interpréter ses résultats. La correction et l'évaluation de ce type de copies devient, au final, préjudiciable au candidat.

Le jury regrette profondément que des notions élémentaires du domaine de l'Ingénierie des Constructions ne soient pas maitrisées par tous les candidats qui se présentent à une épreuve d'agrégation de l'Ingénierie des Constructions.

A l'issue des corrections des copies et au vu des résultats, le jury propose plus globalement aux futurs candidats :

- De s'attacher à rédiger avec soin et d'utiliser un vocabulaire technique adapté aux circonstances de l'étude.

- De porter une attention toute particulière aux unités et aux grandeurs physiques proposées dans le sujet.

- De prendre le temps de bien lire et d'analyser les attendus des questionnements, afin d'identifier clairement le type de réponses à apporter et de ne pas perdre de temps.

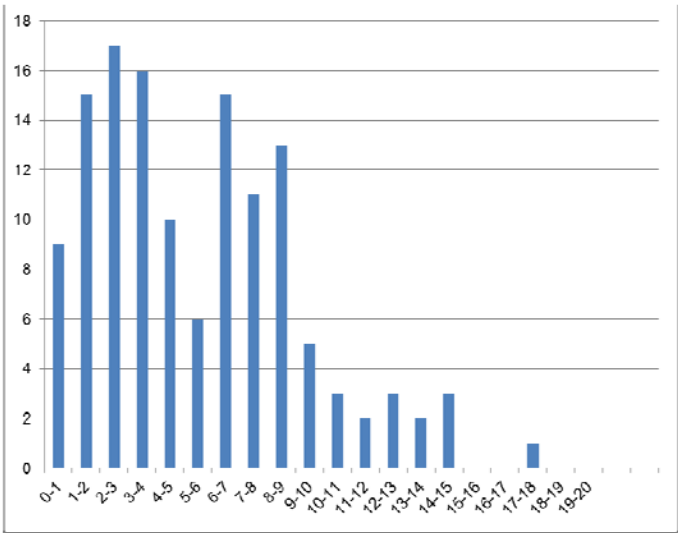
- La graduation de la complexité de chacune des parties doit permettre à tous les candidats de composer sur l'ensemble du sujet. Il est donc nécessaire de travailler les domaines ne relevant pas de sa discipline principale et notamment les notions de base de l'électricité, de la mécanique et de l'énergétique.

- de travailler les aspects élémentaires de la construction civile et du comportement des structures, domaines dans lesquels un futur Professeur Agrégé des Sciences Industrielles de l'Ingénieur dans le domaine de l'Ingénierie des Constructions se doit d'être performant.

Résultats

131 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 5,4/20 et l'écart type est de 3,7 avec :

- 17 comme meilleure note ;
- 2 comme note la plus basse.



Épreuve d'exploitation pédagogique d'un dossier technique

Coefficient 1 – Durée 6 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

Les supports techniques du questionnement de cette épreuve se situent sur la commune de Fouras-les-Bains (17450 - Charente Maritime). Le sujet et les dossiers techniques précisent le contexte et définissent les travaux envisagés pour :

- aménager les rues du quartier « Chevalier » ;
- restaurer le pont du fort Vauban et les maçonneries attenantes.

Le questionnement est organisé en deux grandes parties et il fixe le niveau d'enseignement à des élèves de Baccalauréat STI2D option Architecture et Construction (classe : première ou terminale).

- Revue de potentialités pédagogiques.
  Les candidats sont amenés dans un premier à présenter le terme BIM (Building Information Modeling) en prenant en compte les points de vue des différents acteurs de la construction : Maitre d'Ouvrage, Maitre d'Œuvre, Bureaux d'Études Techniques, Concessionnaires, Usagers, etc. Puis, les candidats doivent définir quelques activités d'enseignement regroupées en centres d'intérêt en prenant pour support la maquette numérique des travaux localisés place des Tilleuls.

- Élaboration d'une séquence pédagogique.
  Les candidats doivent proposer une séquence d'enseignement faisant apparaitre l'étude mécanique du pont levis et détailler finement une séance en proposant les documents ad hoc. A cette partie est adossée une proposition d'accompagnement personnalisé (AP) en collaboration avec un collègue de Sciences Physiques visant à décrire des pistes méthodologiques d'apprentissage des mécanismes de dégradations des matériaux.

Quelques remarques générales

Bien qu'elle s'adresse à des enseignants en poste, cette épreuve du concours à caractère pédagogique ne s'improvise pas et elle ne peut pas être abordée sans une préparation conséquente. La diversité des formations dans lesquelles un lauréat à l'agrégation peut intervenir nécessite qu'il investisse d'une part, les contenus de l'ensemble des référentiels de la filière (du baccalauréat STI2D aux BTS).
D'autre part, il convient que le candidat connaisse différentes méthodes ou démarches pédagogiques et qu'il soit en mesure d'exposer clairement leur mise en œuvre dans un contexte donné d'enseignement avec le vocabulaire adéquat. Car il ne s'agit pas dans cette épreuve d'une recopie des textes officiels ou d'une simple énumération d'objectifs.
Par son exposé écrit, le candidat doit montrer ses compétences afin de faire acquérir aux élèves les connaissances et les compétences exigées par les référentiels de formation.
Le jury attend des candidats à l'agrégation interne un recul sur leurs pratiques et une expertise

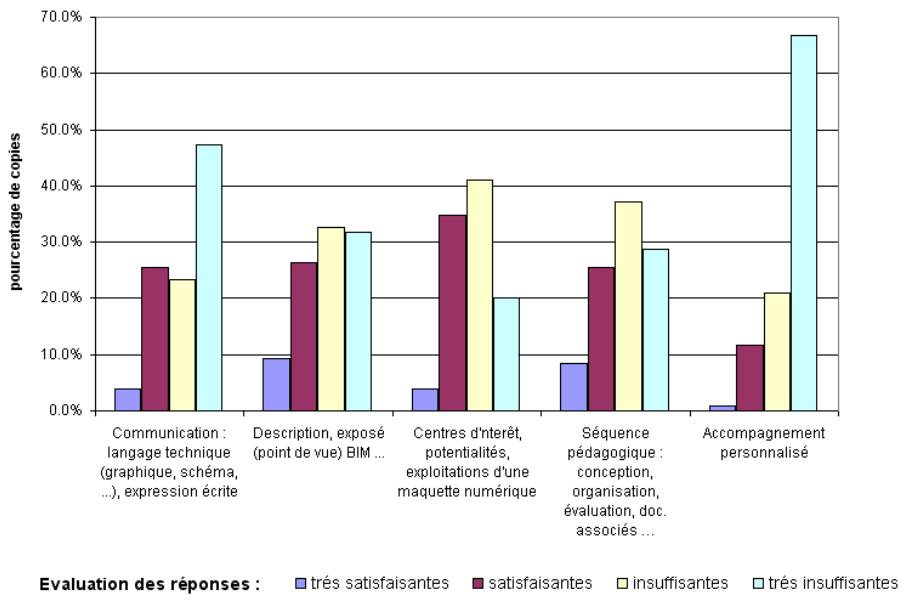
suffisante afin d'éviter les poncifs et l'emploi d'outils didactiques non raisonnés. De plus, la copie lue

par le jury est en quelque sorte l'image de ce que le candidat est capable de produire dans une classe face à des élèves. Le jury a sanctionné les copies présentant : des incohérences scientifiques et pédagogiques, de nombreuses fautes de grammaire et d'orthographe, des schémas et des croquis déplorables.

Revue de potentialités pédagogiques

La question portant sur le « BIM » dévoile que de (trop) nombreux candidats ne connaissent ni le terme, ni les tenants et les aboutissements, ni les méthodes de travail liées à une maquette numérique paramétrique 3D qui contient des données intelligentes et structurées des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un ouvrage.
La grande majorité des candidats s'est contentée d'évoquer l'aspect « représentation 3D ». D'une part, les candidats négligent la notion de partage d'informations fiables tout au long de la durée de vie d'une construction (de sa conception à sa démolition).
D'autre part, ils occultent le fait que la réalisation d'une maquette numérique est directement liée aux méthodes de travail de chaque acteur dans l'acte de construire et qu'elle nécessite de définir « qui fait quoi, comment et à quel moment ».
En raison de l'importance croissante du « BIM », le jury invite les candidats à investir davantage les problématiques liées à une maquette numérique. De plus, les compétences d'un agrégé ne peuvent se limiter à la simple utilisation d'outils de représentation. La connaissance des pratiques sociotechniques de référence du domaine d'activités est un gage de qualité.

La partie traitant des potentialités pédagogiques offertes par le support technique (aménagement des rues du quartier Chevalier et de la place des Tilleuls) a été correctement traitée par 35% des candidats.
Les spécificités du projet permettaient de dégager de nombreux points technologiques et scientifiques supports à des apprentissages permettant d'acquérir les connaissances et les compétences définies par le référentiel de formation. Seules quelques activités, judicieusement choisies, devaient être développées en s'appuyant sur le dossier support.
Un tiers des candidats a clairement exposé les démarches pédagogiques qu'ils envisageraient tout en décrivant et en explicitant leurs propositions d'activités de formation regroupées en centres d'intérêt (volumes horaires, supports didactiques cohérents, description des démarches).
Le jury a valorisé les développements pédagogiques cohérents, les copies clairement présentées et rédigées de façon structurées. Cependant, beaucoup de candidats ont complètement occulté le BIM. De plus, des candidats (≈10%) inventent un nouveau support hypothétique pour convenance personnelle (serre, kiosque à musique, jardin tropical, sonorisation des rues, passage souterrain ...), ce qui n'est pas acceptable.
Le jury insiste sur le fait que citer « en vrac » le nom de logiciels informatiques ne répond pas à la problématique. Un logiciel est une « aide didactique » dans le contexte scolaire et son emploi contribue à faire acquérir des connaissances et des compétences aux élèves. Aussi, les candidats doivent davantage s'attacher à définir les démarches et les méthodes permettant aux élèves d'acquérir les connaissances et les compétences visées par le curriculum prescrit, qu'à décrire les principes d'utilisation et de fonctionnement des logiciels.



Élaboration d'une séquence pédagogique et développement d'une séance

Le thème et le niveau de la séquence pédagogique étaient imposés. Il s'agissait de « l'étude mécanique du pont levis », à traiter en classe de 1^{iere} ou de terminale STI2D. Ce thème classique en ingénierie des constructions devait permettre à l'ensemble des candidats de composer.
Le jury attend des candidats, en plus d'une bonne maîtrise des connaissances dans le domaine scientifique traité, qu'ils fassent preuve de rigueur et montrent leurs capacités à synthétiser et hiérarchiser des concepts. Ils doivent notamment être capables :

- d'élaborer une séquence d'enseignement :
  - énoncer les objectifs visés en conformité avec le référentiel de formation ainsi que les prérequis nécessaires ;
  - créer des scénarios pédagogiques construits autour d'une problématique engageant les élèves dans une démarche formatrice leur permettant d'acquérir les connaissances et de développer les compétences visées ;
  - organiser spatio-temporellement la classe (ou groupes) durant la séquence et définir les moyens matériels ;
  - choisir et décrire sommairement les autres activités connexes à la séquence ;
  - décrire les modalités envisagées pour la restitution et la synthèse des travaux et pour la structuration des connaissances ;
- d'analyser des documents pour en dégager les apports techniques, scientifiques et pédagogiques ; les didactiser et les adapter au niveau d'enseignement choisi pour créer des situations d'apprentissages pertinentes ;
- de concevoir et de rédiger une situation d'évaluation ;
- de proposer un accompagnement personnalisé.

Cette partie a été traitée de façon inégale. Cependant, 37% des candidats ont donné des réponses globalement satisfaisantes en intégrant dans leur exposé, d'une manière plus ou moins prégnante, les éléments cités ci-dessus (objectifs et prérequis définis, hypothèses de travail clairement formulées, progression et volume horaire cohérent, support judicieusement exploité, ...).
Seulement cinq candidats ont été en mesure de présenter une exploitation cinématique convenable du système mécanique avec la prise en compte du contrepoids.
La grande majorité des candidats a opté pour une étude statique du pont levis avec plus ou moins

d'errements et d'imprécisions. En effet, hormis 6 copies de très bonne qualité, les autres révèlent des manques et des insuffisances dans les principes de modélisations et dans le traitement statique du problème exposé aux élèves (liaisons, degrés de liberté, hyperstaticité, types et natures des actions mécaniques, modèle scalaire, modèle vectoriel, ...).
La volonté d'associer un outil informatique (calcul statique) sans clairement énoncer les compétences à faire acquérir aux élèves, a conduit de nombreux candidats à des incohérences (liaisons, tension dans les chaines, ...).
De plus, certains candidats ont basculé vers des études comparatives de solutions mettant en jeu différents matériaux pour le tablier : bois, acier, béton armé. Rappelons que l'ouvrage est classé par les monuments historiques rendant ces variantes superfétatoires et erronées.
A noter également, la confusion entre « pont levis / pont dormant » et « existant / travaux projetés » qui a conduit des candidats à mener des études « hors sujet ».
Le jury rappelle que cette épreuve n'est pas une épreuve de calculs, mais un exposé permettant de juger les compétences des candidats à élaborer une séquence d'enseignement. Aussi, le jury attache beaucoup d'importance à la cohérence technologique et la rigueur scientifique ainsi qu'à la chronologie des tâches demandées dans l'objectif de faire acquérir des connaissances et des compétences aux élèves.

Les formes d'évaluation des savoirs et des compétences ont été négligées et seulement 8 candidats ont convenablement traité cette partie. Trop de candidats se contentent de signaler les formes d'évaluation par un vocable simpliste : évaluation formative, évaluation sommative. Le jury a été sensible à la contextualisation, à la cohérence du questionnement proposé eu égard à la séquence proposée, à la pertinence du choix des critères et des indicateurs de performances.

Dans le cadre de l'accompagnement personnalisé, on demandait aux candidats de fournir une proposition d'accompagnement personnalisé (AP) en collaboration avec un collègue de Sciences Physiques visant à décrire des pistes méthodologiques d'apprentissage des mécanismes de dégradations des matériaux.
Cette partie a été traitée convenablement par 12% des candidats. Le jury invite les futurs candidats à investir les mécanismes de dégradations des principaux matériaux de la construction, car un agrégé en ingénierie des constructions ne peut se contenter de dire à des élèves que « le bois pourrit », « le fer rouille » et « la pierre gèle ».

Conseils aux candidats

Le jury insiste sur la nécessité pour le candidat de connaître :

- les programmes des enseignements technologiques au lycée; aussi bien au niveau pré-baccalauréat qu'au niveau post-baccalauréat ;
- les notions « d'approche », de « centre d'intérêt », de « domaine d'application » telles que définies dans les documents ressources pour faire la classe, disponible sur le site Eduscol ;
- les démarches d'investigation, de résolution de problème technique, de projet, communes à tous les enseignements technologiques.

Il n'y a pas de proposition pédagogique unique pour répondre au questionnement du sujet. Cependant le choix des activités développées lors de la séquence doit être pertinent et propice à mettre en évidence les points suivants :

- le niveau de connaissances et de compétences à atteindre ;
- les objectifs pédagogiques ainsi que les prérequis nécessaires pour aborder les activités. Le choix des activités doit être argumenté par la mise en perspective des objectifs pédagogiques

assignés à la séquence ;

- la place de la séquence dans la progression annuelle ;
- l'organisation et le déroulé de la séquence pédagogique.

Il est important de mettre en relief tous les éléments didactiques permettant au jury de se forger une opinion claire sur les intentions du candidat. Parmi ceux-ci, il conviendra d'apporter des éléments sur :

- les organisations temporelle, spatiale et matérielle et les partitions de la classe lors des activités ;
- le mode de transmission des connaissances et les démarches pédagogiques mises en œuvre ;
- le choix des outils numériques et la mise à disposition des ressources ;
- les dispositions favorisant le travail collaboratif des équipes ;
- les méthodes d'évaluation retenues afin de vérifier si les objectifs sont atteints, ainsi que le type de remédiation envisagé pour aider les élèves ;
- la manière dont est traitée l'hétérogénéité du public et la façon d'individualiser l'acte pédagogique pour mettre tous les élèves en situation de réussite.

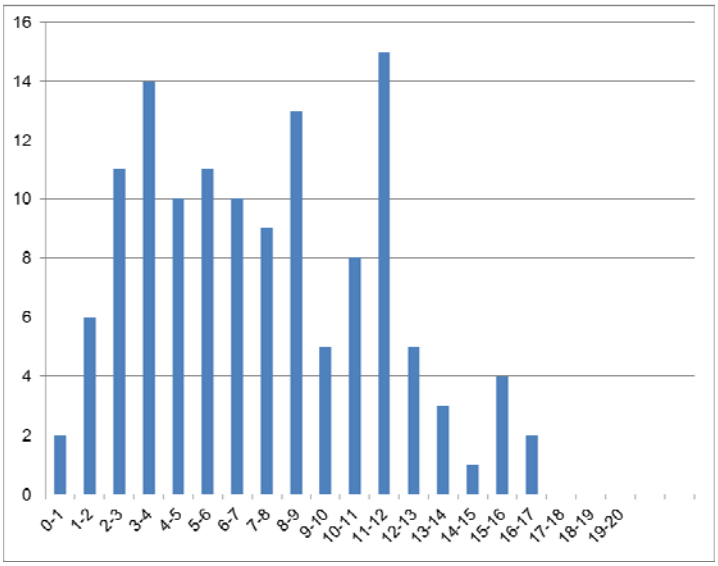
Compte-tenu des remarques ci-dessus, le jury fonde son évaluation sur :

- la pertinence des choix didactiques ;
- la construction de situations concrètes d'enseignement basées sur les documents techniques du dossier ressource ;
- la cohérence de l'articulation entre technologies et sciences ;
- la conduite de la classe pour favoriser les apprentissages par tous les élèves ;
- l'adéquation entre les activités décrites et la structuration des connaissances qui en résulte ;
- les moyens mis en œuvre pour évaluer les progrès des élèves ;
- le degré de maîtrise des savoirs disciplinaires ainsi que sur la clarté et la qualité du rendu écrit.

Résultats

129 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 7,2/20 et l'écart type est de 3,9 avec :

- 16,5 comme meilleure note ;
- 0,5 comme note la plus basse.



Épreuves d'admission

Activités pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique

Coefficient 2 – Durée 6 heures

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique prend appui sur un système technologique du domaine de la spécialité. Elle vise à évaluer les compétences que les candidats mettent en œuvre pour concevoir une activité pédagogique à caractère expérimental avec généralement des usages professionnels ou pédagogiques du numérique.

Pour cela, les candidats sont amenés à analyser un objectif pédagogique posé au niveau d'exigence de l'agrégation, à analyser les potentialités pédagogiques de ressources fournies, à élaborer des stratégies pédagogiques, à tester expérimentalement les démarches mises en œuvre et à analyser les résultats obtenus.

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

- 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-clefs 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.
- 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 ;

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 compétences, et les connaissances associées, à mettre en œuvre dans le cadre d'un enseignement pouvant être confié à un professeur agrégé SII d'ingénierie des constructions. Pour répondre à cet objectif, les supports utilisés lors de cette épreuve sont relatifs aux champs du comportement des ouvrages, de leur conception, de la préparation et exécution de chantier.

Déroulement de l'épreuve

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

- phase 1 – analyse de l'objectif pédagogique et mise en œuvre des ressources (durée 4 h) ;
- phase 2 - préparation dans la salle de mise en loge (durée 1 h) ;
- phase 3 - présentation des travaux devant un jury (durée 1 h).

Durant toute cette épreuve les candidats ont accès à Internet.

Première phase – Préparation pédagogique en laboratoire (durée 4 h 00)

Première partie (durée 0 h 30) : découverte de l'objectif et des ressources
L'objectif de cette partie est de découvrir l'objectif pédagogique et les ressources utilisables par le candidat. Ces ressources peuvent comprendre un système expérimental à utiliser, des ressources documentaires et des logiciels. À la fin de cette première partie, l'examinateur s'assure que le candidat s'est bien approprié la problématique pédagogique et les ressources à disposition.

Deuxième partie (durée 1 h 00) : préparation pédagogique
Dans cette partie, le candidat élabore une stratégie pédagogique permettant de construire une séquence pédagogique répondant aux objectifs fixés, et amenant à utiliser les dispositifs expérimentaux et logiciels.

Troisième partie (durée 2 h 30) : expérimentations et finalisation de la séquence
Le candidat réalise les expérimentations qu'il a préparées et qui sont nécessaires à sa construction pédagogique. Il en tire des observations qui seront analysées pour préciser ou améliorer la construction pédagogique de sa séquence.

Deuxième phase – Conclusion et préparation pédagogique en loge (durée 1 h 00)

Le candidat prépare en loge son intervention devant le jury. Il n'a plus la possibilité de manipuler le système expérimental.

Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1 h 00)

L'exposé oral doit comporter :
- la présentation de la problématique pédagogique et des ressources fournies, expérimentales et informatiques (durée maximale 5 minutes) ;
- l'analyse des potentialités des ressources fournies, la présentation de la stratégie pédagogique, (durée maximale 10 minutes)
- le compte-rendu des manipulations effectuées de manière expérimentale ou informatique (durée maximale 10 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique de la trame de séquence et le détail d'une séance expérimentale (durée maximale 15 minutes) ;

Un entretien avec le jury (durée maximale 20 minutes) suit l'exposé oral du candidat.

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.

Compétences attendues et évaluées par le jury

Lors de cette épreuve d'activité pratique et orale, le jury évalue chez les candidats les compétences suivantes.

Pour la partie expérimentale :

- Etre autonome, organisé, consciencieux, critique
- S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter
- S'approprier les ressources pédagogiques disponibles
- Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation…)
- 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
- Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique.
- 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 …)
- Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité …)
- Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses.
- Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)

Pour l'oral :

- 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
- Présenter la séance, son positionnement et les activités des élèves
- Présenter les apports du numérique pour les apprentissages
- Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves
- Présenter les modalités de différentiation des parcours et activités
- Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts …)

Autres critères d'évaluation utilisés par le jury :

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

- Captiver l'auditoire

Supports retenus et activités demandées

Pour la session 2016, les supports retenus pour cette épreuve d'activité pratique ont été les suivants :

- banc d'essai en mécanique des sols/géotechnique – Détermination des paramètres de cisaillement d'un sol en vue d'estimer la contrainte de rupture sous une fondation superficielle;
- banc d'essai du béton – Caractérisation expérimentale de la résistance à la compression d'un béton de chantier sur éprouvettes normalisées ;
- banc d'essai en acoustique – Qualité acoustique d'une paroi, isolation acoustique des salles et caractérisation de matériaux absorbants ;
- banc d'étude en énergétique – Etude d'un système Eau Chaude Sanitaire ;
- banc d'étude de structures – Etude expérimentale de la flexion 4 points ;
- banc d'étude de structures – Etude théorique et expérimentale d'une poutre treillis.

2. Commentaires et conseils aux futurs candidats

A l'issue de la session 2016, 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 mais la contextualisation pédagogique d'une problématique donnée, basée sur une manipulation expérimentale ;
- 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 40 minutes maximum. Le jury regrette une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n'utilisent pas pleinement les 40 minutes. A contrario, d'autres candidats cherchent à meubler ce temps de parole au détriment de la qualité et de la rigueur de leur exposé ;
- les candidats doivent connaître les principales composantes des référentiels des formations dans lesquelles un professeur agrégé peut enseigner, pré bac et post bac, en BTS et à l'IUT. Il n'est donc pas normal qu'un candidat ne connaisse pas les différences de modalité d'enseignement entre un BTS et un IUT.
- 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 ;
- les usages du numérique professionnel et pédagogique doivent être davantage analysés, notamment pour permettre des modalités avancées de suivi, différentiation, évaluation …
- Il n'est pas demandé de compétence sur un logiciel particulier sorti des principaux logiciels de bureautique, des notices ou didacticiels d'utilisation des autres logiciels sont fournis. Cependant, le jury invite les candidats à développer leurs compétences dans le domaine du numérique, en manipulant avant le concours quelques logiciels professionnels de type modélisation, simulation, analyse expérimentale … Pour une agrégation du domaine de la construction, les logiciels de type BIM (Building Simulation Modeling) font désormais partie des outils professionnels et pédagogiques.
- 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 la majorité des candidats. Les candidats doivent s'attacher :
    - à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique (combinaison de CM, TD, TP) 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.

3. Résultats

16 candidats ont été évalués sur cette épreuve.

	Moyenne	Mini	Maxi
Partie expérimentale (/10)	5,1	2,0	7,7
Oral avec le jury (/10)	3,0	0,4	8,6
Total de l'épreuve (/20)	8,1	2,3	15,0

Épreuve de soutenance 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 en collège ou en lycée. L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants.

L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), 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. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes en collège ou en lycée.

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

Les dossiers, dans leur majorité, sont bien présentés et leur construction est assez souvent cohérente.. Il n'y a pas de modèle unique tant les préoccupations, et donc les poids relatifs des parties, peuvent être différentes. Le jury regrette principalement la pauvreté des développements technologiques et rappelle 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 documents graphiques aux normes en relation avec l'étude menée. Le jury pourra toutefois 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.

Voici quelques conseils pour la rédaction du dossier écrit :

- le dossier commence par une page de garde contenant, entre autre, un titre, le nom du candidat et son numéro d'inscription ;
- ;
- le numéro d'inscription du candidat est rappelé en pieds de pages ;
- le plan du dossier peut avantageusement dégager 3 parties :
- la première partie contextualise et justifie l'intérêt du dossier support choisi ;
- une seconde partie développe les aspects techniques et scientifiques. 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. 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. 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, des documents élève sont présentés, les modalités d'évaluation. Cette partie doit montrer une bonne maîtrise des programmes et des méthodes d'apprentissage.
- les plans de l'ouvrage support du dossier (propres et cotés) sont placés en annexe.

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.

Le jury souligne néanmoins que certains dossiers étaient de qualité exceptionnelle. Les exploitations pédagogiques ainsi que les thèmes développés doivent montrer l'intérêt du dossier technique support choisi.

Les fichiers informatiques font partie du dossier. Ils ne peuvent donc pas se limiter au dossier proprement dit. S'ils peuvent aider à une présentation du contexte, ils doivent aussi contribuer à une

bonne perception des études et des simulations avec les conditions de leur réalisation.

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 ne peut pas être entièrement décorrélée de 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 prendre en compte la réforme du lycée et particulièrement celles des séries STI2D et S SI.

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, CD-ROM) 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 installé 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 conviendraient 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,
- attendre la fin de la question avant de répondre,
- présenter précisément ce qui a été produit par le candidat,
- à adopter une posture d'humilité professionnelle : capacité à prendre en compte un point de vue

différent, chercher à convaincre plus qu'à leurrer…

Notes obtenues à l'épreuve

16 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 10,5/20 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 1 comme note la plus basse.