



# Concours de l'enseignement du second degré

## Rapport de jury

---

### **AGREGATION CONCOURS EXTERNE**

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

### **Option : ingénierie informatique**

### **Session 2019**

Rapport de jury présenté par : Pascale COSTA  
Inspectrice générale de l'éducation nationale  
Présidente du jury

## Sommaire

<b>Avant-propos</b> .....	<b>3</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>5</b>
<b>Résultats statistiques</b> .....	<b>6</b>
<b>Épreuve d’admissibilité de sciences industrielles de l’ingénieur</b> .....	<b>8</b>
A. Présentation de l’épreuve.....	8
B. Sujet .....	8
C. Éléments de correction.....	9
D. Commentaires du jury .....	22
E. Résultats.....	26
<b>Épreuve d’admissibilité de modélisation d’un système, d’un procédé ou d’une organisation</b> .....	<b>27</b>
A. Présentation de l’épreuve.....	27
B. Sujet .....	27
C. Éléments de correction.....	28
D. Commentaires du jury .....	43
E. Résultats.....	44
<b>Épreuve d’admissibilité de conception préliminaire d’un système, d’un procédé ou d’une organisation</b> .....	<b>45</b>
A. Présentation de l’épreuve.....	45
B. Sujet .....	45
C. Éléments de correction.....	46
D. Commentaires du jury .....	52
E. Résultats.....	53
<b>Épreuve d’admission d’exploitation pédagogique d’une activité pratique relative à l’approche globale d’un système pluritechnique</b> .....	<b>54</b>
A. Présentation de l’épreuve.....	54
B. Commentaires du jury .....	57
C. Résultats.....	60
D. Exemple de sujet.....	61
<b>Épreuve d’admission d’activité pratique et d’exploitation pédagogique relatives à l’approche spécialisée d’un système pluritechnique</b> .....	<b>71</b>
A. Présentation de l’épreuve.....	71
B. Commentaires du jury .....	73
C. Résultats.....	75
D. Exemple de sujet.....	76
<b>Épreuve d’admission de soutenance d’un dossier industriel</b> .....	<b>84</b>
A. Présentation de l’épreuve.....	84
B. Commentaires du jury .....	85
C. Résultats.....	87
<b>Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République</b> .....	<b>88</b>

## Avant-propos

La nécessité de développer l'enseignement de l'informatique en France est impérieuse dans une société de plus en plus numérique. Cette nécessité a été soulevée à plusieurs occasions et dans de nombreux rapports<sup>123</sup>. Les dernières réformes ont tenu compte de ces préconisations et ceci quel que soit le niveau d'enseignement. Citons :

- les nouveaux programmes de technologie et de mathématiques mis en place au collège, à la rentrée 2016. Ils introduisent des connaissances et compétences informatiques liées au domaine 1 du socle « les langages pour penser et communiquer (comprendre, s'exprimer en utilisant les langages mathématiques, scientifiques et informatiques) » ;
- un enseignement commun à tous les élèves de seconde générale et technologique de « sciences numériques et technologie » d'une heure et trente minutes, à la rentrée 2019 ;
- un enseignement de spécialité « numérique et sciences informatiques » en première (quatre heures) et terminale (six heures) dans la voie générale, à la rentrée 2019 ;
- l'enseignement spécifique « système d'information et numérique » en première et terminale STI2D, à la rentrée 2019 ;
- l'enseignement d'informatique introduit dans toutes les CPGE scientifiques lors de la rénovation des programmes à la rentrée 2013 ;
- la rénovation des STS à la rentrée 2014 avec la création du BTS « systèmes numériques » à deux options (informatique et réseaux, électronique et communication) ;
- les nouveaux référentiels des DUT « génie électrique et informatique industrielle » et « réseaux et télécommunications » revus en 2013 ;
- les enseignements d'informatique industrielle en école d'ingénieurs ou université.

La généralisation de ces enseignements lors de la scolarité obligatoire et l'attractivité des formations liées aux sciences informatiques créent des besoins en termes de ressources en enseignants et en personnels d'encadrement qualifiés. Pour répondre à ces besoins, il a été créé une quatrième option à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) intitulée « ingénierie informatique ». La première session de recrutement a eu lieu en 2017. Cette option s'appuie sur l'ingénierie numérique des systèmes pour analyser et résoudre des problèmes technologiques liés à l'électronique et l'informatique embarquées, les contraintes dues aux calculs en temps réels, et la réalisation des interfaces homme / machine.

La loi pour la refondation de l'école de la République<sup>4</sup> a affirmé les principes sur lesquels doivent être construits la formation et le recrutement des enseignants. Parmi ceux-ci, figure le fait que :

*« La qualité d'un système éducatif tient d'abord à la qualité de ses enseignants. (...) De nombreuses études attestent l'effet déterminant des pratiques pédagogiques des enseignants dans la réussite des élèves. Enseigner est un métier exigeant qui s'apprend. (...)*

*Le développement d'une culture commune à tous les enseignants et à l'ensemble de la communauté éducative doit permettre d'encourager le développement de projets transversaux et interdisciplinaires. (...) Le cadre national des formations dispensées et la maquette des concours de recrutement, élaborés*

---

<sup>1</sup>Académie des sciences, « L'enseignement de l'informatique en France, il est urgent de ne pas attendre », mai 2013.

<sup>2</sup>Conseil national du numérique, « Jules Ferry 3.0., Bâtir une école créative et juste dans un monde numérique », octobre 2014.

<sup>3</sup>Rapport de la mission conjointe IGEN, IGAENR, CGEIIET, IGAS, « Les besoins et l'offre de formation aux métiers du numérique », février 2016...

<sup>4</sup>Loi n° 2013-595 du 8 juillet 2013 d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école de la République (JORF du 9 juillet 2013)

*conjointement par les ministères de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur et de la recherche, seront fondés sur une plus grande prise en compte des qualités professionnelles des candidats et sur le développement des savoir-faire professionnels. »*

Cette session répond aux attentes de l'arrêté du 19 avril 2013, modifié par un arrêté du 19 avril 2016, fixant l'organisation des concours de l'agrégation. Les programmes des lycées généraux et technologiques changeant à la rentrée 2019, un nouvel arrêté est en cours de publication pour la session 2020.

Ces concours n'ont pas pour objectif de valider uniquement les compétences scientifiques et technologiques des candidats ; ils doivent aussi valider les compétences professionnelles qui sont souhaitées par l'État employeur qui recrute des professeurs.

Les trois épreuves d'admissibilité sont construites de manière à évaluer un spectre large de compétences scientifiques et technologiques ; la première épreuve est commune aux quatre options de l'agrégation SII, les deux autres spécifiques à l'option.

Les trois épreuves d'admission sont complémentaires des épreuves d'admissibilité. Elles permettent l'évaluation des compétences pédagogiques des futurs professeurs, elles s'appuient sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation (publié au BOEN du 25 juillet 2013). Elles comportent un entretien avec le jury qui permet d'évaluer la capacité du candidat à s'exprimer avec clarté et précision, à réfléchir aux enjeux scientifiques, technologiques, didactiques, épistémologiques, culturels et sociétaux que revêt l'enseignement du champ disciplinaire du concours.

Ces épreuves d'admission, dont le coefficient total est le double de celui des épreuves d'admissibilité, ont eu une influence significative sur le classement final. J'invite les candidats et leurs formateurs à lire avec application les commentaires et conseils donnés dans ce rapport afin de bien appréhender les compétences ciblées. La préparation à ces épreuves commence dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique à partir d'activités expérimentales ne s'improvise pas et nécessite une préparation rigoureuse. De même, la qualité du dossier dépend de la pertinence du choix du support. Elle impose aux futurs professeurs de s'engager, dès le début de leur carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise et de la recherche.

Ces épreuves permettent *« également d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République »*. Les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté trouvent toute leur place lors des entretiens avec le jury ; en effet, la mission première que fixe la Nation à ses enseignants est de transmettre et faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République ainsi que l'ensemble des dispositions de la charte de la laïcité.

Pour cette troisième session, 14 postes étaient offerts à l'agrégation sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie informatique, un poste en liste complémentaire a pu être proposé. Parmi les 240 inscrits, 104 candidats ont été présents aux trois épreuves d'admissibilité. Le nombre important d'inscrits pour cette session est un élément très positif. En effet, il est important que le vivier de candidats bien préparés se développe pour recruter les enseignants de haut niveau nécessaires à l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur en ingénierie informatique.

Lors des épreuves d'admission, les candidats peuvent accéder à Internet. Seuls les sites ne nécessitant pas d'identification sont autorisés.

Cette session s'est révélée être d'un très bon niveau. Les candidats ont su démontrer un sens de la pédagogie et une posture professionnelle compatibles avec l'exercice des missions d'enseignant ; le jury les en félicite.

L'agrégation est un concours prestigieux de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables.

Pour conclure cet avant-propos, je souhaite que ce rapport soit une aide efficace aux futurs candidats. Tous sont invités à se l'approprier par une lecture attentive.

Pascale COSTA  
Présidente du jury

## **Remerciements**

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2019 des quatre options de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur. Les membres du jury tiennent à remercier le proviseur du lycée, son directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques, ses collaborateurs et l'ensemble des personnels pour la qualité de leur accueil et l'aide efficace apportée tout au long de l'organisation et du déroulement de ce concours qui a eu lieu dans d'excellentes conditions.

Ces remerciements s'adressent également au proviseur du lycée Élixa Lemonnier à Paris qui a accueilli les membres du jury pour les réunions de préparation et d'admissibilité de ce concours.

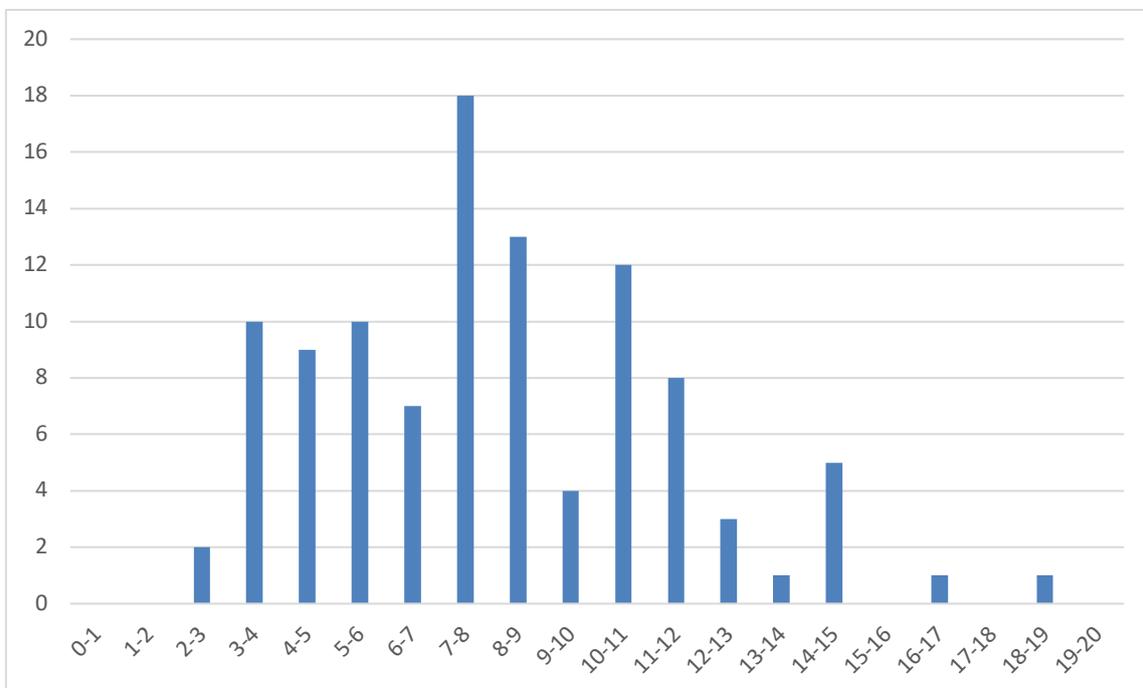
## Résultats statistiques

Session	Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents aux trois épreuves d'admission	Admis
2017	264	15	106	35	33	15
2018	280	12	105	28	23	12
<b>2019</b>	<b>240</b>	<b>14</b>	<b>104</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>15*</b>

\* un candidat a été admis en liste complémentaire

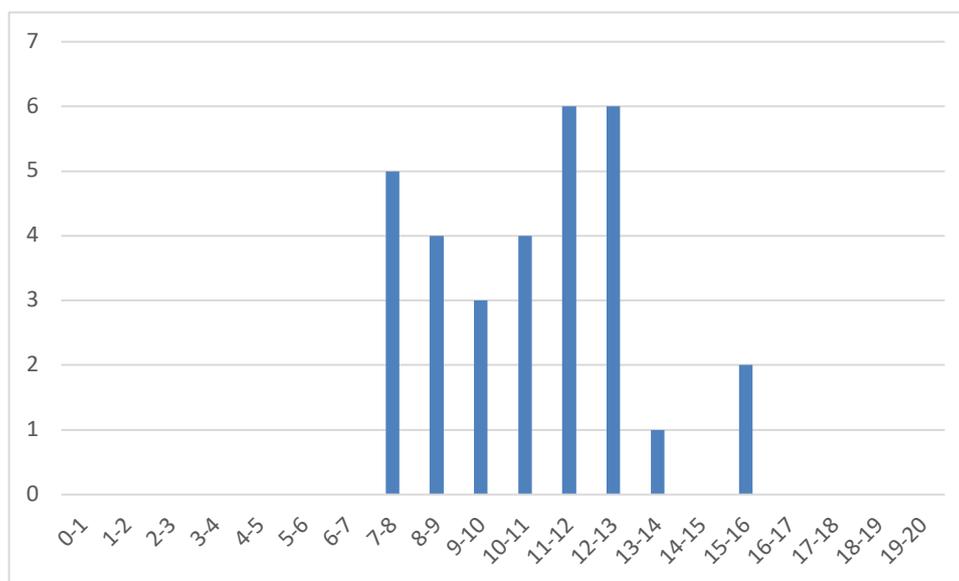
### Statistiques et histogramme des notes obtenues à l'admissibilité à la session 2019

<b>Note obtenue par le premier candidat admissible</b>	<b>18,63</b>
<b>Note obtenue par le dernier candidat admissible</b>	<b>9,07</b>
Moyenne des candidats présents	8,09
Moyenne des candidats admissibles	11,84
Écart-type des candidats présents	3,31
Écart-type des candidats admissibles	2,16



## Statistiques et histogramme des notes obtenues à l'admission à la session 2019

<b>Note obtenue par le premier candidat admis</b>	<b>15,5</b>
<b>Note obtenue par le dernier candidat admis</b>	<b>11,19</b>
Moyenne des candidats présents	10,69
Moyenne des candidats admis	12,68
Écart-type des candidats présents	2,22
Écart-type des candidats admis	1,37



# Épreuve d'admissibilité de sciences industrielles de l'ingénieur

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 19 avril 2013 et arrêté du 19 avril 2016

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

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.

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 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 automatique.

## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation\\_externer/87/4/s2019\\_agreg\\_externer\\_sii\\_1\\_1093874.pdf](http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation_externer/87/4/s2019_agreg_externer_sii_1_1093874.pdf)

Il s'appuie sur le changement de configuration du stade Pierre Mauroy de Lille de stade de sport en salle de spectacle. Cet ouvrage a la particularité de posséder une toiture mobile et une arène sous la pelouse.



Le sujet s'intéresse au passage de stade à salle de spectacle qui débute par une étape de levage d'une demi-pelouse de 4500 tonnes par le biais de 12 vérins puis se poursuit par une étape de translation de ce plateau de façon à l'empiler sur l'autre demi-pelouse au moyen d'unités de translation à pas de pèlerin.

L'objectif général est la vérification de divers points de dimensionnement du système pour les phases de levage et de translation afin de valider une exigence relative à la durée de changement de configuration. Il en découle 4 parties permettant d'aborder chacune des exigences permettant en fin de sujet, lors d'un exercice de synthèse, de conclure quant à la validité de la durée d'un changement de configuration :

- l'étude de la structure du plateau mobile permet de valider des exigences liées à la résistance à la rupture pendant la phase de levage ;

- l'étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage amène à valider une exigence relative à l'interface homme-machine durant un changement de configuration ;
- l'étude du levage du plateau mobile se conclut par la validation d'exigences de dimensionnement et de pilotage du système de levage ;
- l'étude de la phase de translation consiste en la détermination d'un modèle d'asservissement en position du système hydraulique lors de la translation du plateau ;
- la synthèse générale prend en compte les durées de chacune des phases d'un changement de configuration étudiées précédemment pour conclure sur l'exigence de sa durée.

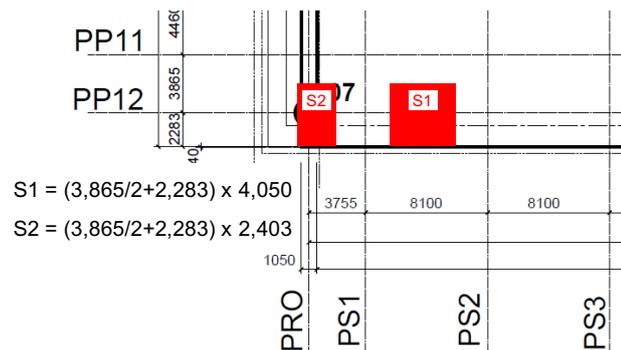
## C. Éléments de correction

### Étude de la structure du plateau mobile

#### Prédimensionnement d'une poutre principale du plateau

##### Question 1 :

Les surfaces et les longueurs d'influence des éléments sont évaluées à partir des surfaces et des longueurs d'influence des éléments sur chaque nœud :



$F_{1-2} = S1 \times \text{charge majorée}$

$$F_{1-2} = \left( \left( \frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 4,05 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 204,2 \text{ kN}$$

Pour  $F_2$ ,  $S2$  est déterminée, au choix, à partir de la figure 8 ou à partir du DT2. Selon le cas, le résultat est :

$F_2 = S2 \times \text{charge surfacique majorée}$

Figure 8 :  $F_2 = \left( \left( \frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 1,876 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 94,6 \text{ kN}$

DT2 :  $F_2 = \left( \left( \frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 2,403 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 121,2 \text{ kN}$

##### Question 2 :

Les réactions d'appuis en A et B peuvent être déterminées par application du Principe Fondamental de la Statique (PFS) en isolant, comme système, le treillis complet :

$X_A = 0$  (pas de composante de force selon  $\vec{x}$ )

$Y_A = Y_B = -(-204,2 \times 17 - 94,6 \times 2 - 111,7 \times 2 - 152,5 \times 9) / 2 = 2\,628,2 \text{ kN}$  (ou  $2\,654,8 \text{ kN}$  si DT2)

**Question 3 :**

Les intensités des efforts normaux dans la diagonale la plus sollicitée, soit la barre 3, sont déterminées en utilisant le principe fondamental de la statique par une méthode de résolution au choix.

Seul l'équilibre des efforts selon  $\vec{y}$  est nécessaire pour résoudre :

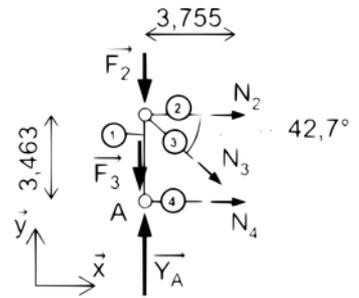
$$\sum \vec{F} \cdot \vec{y} = 0$$

$$\text{Projection selon } Y_A - F_2 - F_3 - N_3 \sin(42,7^\circ) = 0$$

$$\text{AN : } N_3 = (2\,628,2 - 94,6 - 111,5) / \sin(42,7^\circ)$$

$$N_3 = 3\,571,5 \text{ kN} \quad (\text{idem si DT2})$$

Le résultat est positif, la barre 3 est tendue.



**Question 4 :**

Les contraintes normales sont obtenues par la relation  $\sigma = N/S$  pour chaque barre.

La démarche étant réalisée vis-à-vis de la rupture (à l'ELU : Etats Limites Ultimes), la limite à la rupture est utilisée pour le coefficient de sécurité (« Le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture »).

Coefficient de sécurité =  $f_u / \text{abs}(\sigma)$  :

	$\sigma$ (MPa)	N (kN)	Sections (mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (MPa)	coef. sécurité
27 (sup)	-129,3	-13130,5	101590	470	3,64
26 (inf)	172,3	12921,8	75000	470	2,73
3 (diag)	178,6	3571,3	20000	470	2,63
23 (mont)	-34,0	-204,2	6000	470	13,81

Les coefficients sont tous supérieurs à 2,5. Le prédimensionnement est validé.

**Question 5 :**

Les phénomènes mécaniques à évaluer et à contrôler sont les suivants :

- flambement des barres (diagonales et montants) ;
- cisaillement des barres (accepter efforts tranchants et contraintes tangentielles) ;
- déformations et déplacements limités. Démarche ELS (Etats Limites de Service) ;
- qualité des liaisons entre barres (visseries, soudures) ;
- fluage ;
- torsion ;
- déversement.

**Simulation et analyse des sollicitations dans la poutre principale PP12 - modèle aux éléments finis**

**Question 6 :**

D'après les résultats des simulations, le critère de Von Mises est respecté pour l'ensemble des éléments étudiés.

	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	Von Mises (MPa)
Memb. sup.	174	22	178,1
	153	41	168,7
Memb. inf.	89	11	91,0
	19	27	50,5
diagonales	281	129	<b>359,0</b>
	210	72	244,2

La limite élastique de l'acier est  $f_y=355$  MPa. Les membrures supérieures et inférieures semblent correctement dimensionnées pour l'étude du levage. On constate qu'une diagonale est sous dimensionnée : la diagonale 7.

**Question 7 :**

Augmenter de 20 % la section assure la diminution de la contrainte normale dans la diagonale en des proportions équivalentes, soit une contrainte normale de 225 MPa dans l'élément le plus sollicité. La contrainte de cisaillement diminue également, donc la contrainte de Von Mises sera au maximum de 317 MPa. Ce qui permet de valider le critère.

**Question 8 :**

Liste des exigences à vérifier :

- coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture pour le prédimensionnement : 2,5 aux ELU. Ce critère est respecté ;
- limite élastique de l'acier : 355 MPa. Cette limite élastique ne doit jamais être dépassée, lors du levage, dans toutes les configurations de chargement possibles. Ce critère est respecté dans les membrures inférieures et supérieures. En revanche, ce critère n'est pas respecté dans le cas des diagonales. Une solution possible est de remplacer les HEM 240 par des HEM 280.

Le modèle aux éléments finis permet de réaliser une étude en tenant compte :

- des efforts tranchants dans les éléments constitutifs du plateau ;
- des moments fléchissants dans les éléments constitutifs du plateau ;
- d'une étude mécanique tridimensionnelle intégrant la tôle, les augets, les poutres secondaires, les poutres de rive ;
- d'une approche des charges extérieures appliquées au plateau, plus proche de la réalité et dans différentes configurations ;
- des efforts horizontaux appliqués au plateau, lors du recentrage et lors du début de la translation.

## Étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage

### Étude du cycle de chauffe au sein du cycle de levage

**Question 9 :**

Risque d'échauffement :

- lors de la descente gravitaire où le fluide est « laminé » au travers du régulateur de débit (élévation peu importante de la température) ;
- lors du levage à pleine charge ;
- s'il y a dysfonctionnement d'un groupe motopompe qui fonctionnerait à pleine puissance un long moment.

Conséquences : s'il y a échauffement (Capteur T\_EST\_25), les conditions permanentes ne seront pas validées.

**Question 10 :**

Le calcul du temps nécessaire pour le chauffage des lignes prend en compte les volumes d'huile dans les circuits aller et retour et la nécessité de parcourir 10 fois la ligne avant d'atteindre la température en régime permanent :

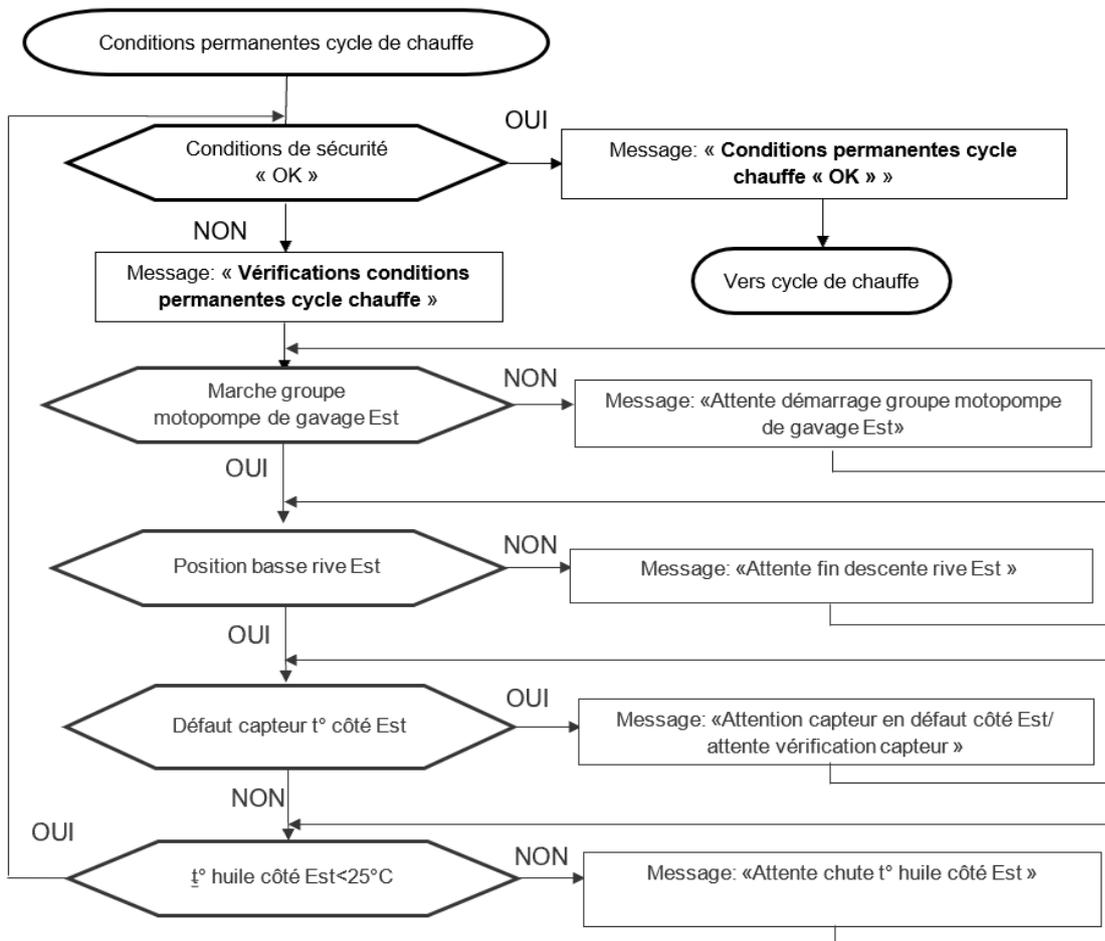
- circuit aller :  $2,1 \times 75 = 157,5$  l ;
- circuit retour :  $(4,6 + 2,1) \times 75 = 502,5$  l ;
- volume total équivalent pour 10 parcours : 6600 l.

Pour un débit total de  $260 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , il faut une durée de chauffe de 25,4 min soit 1524 s.

La consigne de programmation est supérieure à celle nécessaire à la régénération prévue  $1524\text{ s} < 1800\text{ s}$ , afin d'assurer la température requise de  $12^{\circ}\text{C}$  en tout point du circuit et ainsi limiter les pertes de charges. L'écart provient aussi de l'approximation faite sur le débit estimé.

**Question 11 :**

Le logigramme de vérification des conditions permanentes du fonctionnement d'un cycle de chauffe pour la rive Est permet de faire apparaître les messages à afficher sur l'écran de l'IHM de façon à guider l'opérateur dans le suivi des étapes.



**Question 12 :**

Liste des variables nécessaires à la mise en place d'un algorithme de commande du cycle de chauffe de la rive Est :

Variables identifiées à partir de l'IHM :

BP_OMCC (Bouton Poussoir Ordre de Marche Cycle de Chauffage)	binaire
tempo_chauffe_lignes	entier
BP_OACC (Ordre d'Arrêt Cycle de Chauffage)	binaire
tempo_chauffe_bloc	entier
tempo_filtration	entier

Variables identifiées à partir du séquençage :

GMPGAV_ES	binaire
EST_BAS	binaire
T_EST_25	binaire
T_EST: binaire ou TEMP_°C_EST	flottant

Variables identifiées à partir des documentations techniques

EV_RD	binaire
EV_SA	binaire
EV_N	binaire
EV_IG	binaire
GMPHP	binaire

**Question 13 :**

Liste des conditions initiales nécessaires à la mise en place d'un algorithme de commande du cycle de chauffe de la rive Est :

Conditions initiales des variables identifiées à partir de l'IHM :

BP\_OMCC=0  
tempo\_chauffe\_ligne = 1800  
BP\_OACC=0  
tempo\_chauffe\_bloc = 1800  
tempo\_filtration = 60

Conditions initiales des variables identifiées à partir du séquençement :

GMPGAV\_EST=0  
EST\_BAS=1  
T\_EST\_25=1 ou TEMP\_°C\_EST <25  
T\_EST=1

Conditions initiales des variables identifiées à partir des documentations techniques

EV\_RD=0  
EV\_SA=0  
EV\_N=0  
EV\_IG=0  
GMPHP=0

L'initialisation de la consigne de température est également possible : température\_chauffe = 12.

**Question 14 :**

L'algorithme permettant la gestion de l'état de BP\_OMCC consiste en une boucle d'attente du bouton poussoir d'ordre de marche de type « tant que » en ayant au préalable précisé les conditions initiales. Par exemple :

Tant que BP\_OMCC est égal à 0  
|  
Fin tant que  
programme « cycle de chauffe »

**Question 15 :**

L'algorithme partiel du cycle de chauffe peut, par exemple, utiliser deux boucles de type « tant que » pour la gestion des variables GMP\_GAV et EV\_RD.

sous-programme « cycle de chauffe »

Début

|  
| toptime = time  
| Tant que (time - toptime ) < tempo\_filtration  
| | Afficher («Filtration en cours »)  
| | GMP\_GAV = 1  
| Fin tant que

```

|
|   Tant que TEMP_°C_EST < 12°C
|   |   Afficher («Chauffage réservoir en cours »)
|   |   GMP_GAV = 1
|   |   EV_RD = 1
|   Fin tant que
|
|   .....
|
|
Fin

```

## Étude du capteur de température et de la transmission de données

### Question 16 :

Une étude classique du pont de Wheatstone permet d'établir :

$$U_{CB} = \frac{R_{Pt100}}{R + R_{Pt100}} U_{cc} \text{ (diviseur de tension)}$$

$$U_{DB} = \frac{R'}{R + R'} U_{cc} \text{ (diviseur de tension)}$$

$$U_{mes} = U_{CB} - U_{DB} = \left( \frac{R_{Pt100}}{R + R_{Pt100}} - \frac{R'}{R + R'} \right) U_{cc}$$

Le pont est dit équilibré lorsque  $U_{mes} = 0$  c'est-à-dire lorsque  $R' = R_{Pt100}$ .

$$R_{Pt100}(-10^\circ) \approx 100 \times (1 + 3,98 \cdot 10^{-3} \times (-10)) = 96 \Omega$$

Conclusion : pour obtenir  $U_{mes} = 0$  V à  $-10^\circ\text{C}$ , il faut choisir  $R' = 96 \Omega$ .

### Question 17 :

Une relation de type pont diviseur de tension permet d'écrire :

$$U_r = \frac{R_{r1}}{2R_{L1} + R_{r1}} U_t = \frac{1}{1 + \frac{2R_{L1}}{R_{r1}}} U_t \approx \left( 1 - \frac{2R_{L1}}{R_{r1}} \right) \times U_t \text{ avec } R_{r1} \text{ supposée grande devant } R_{L1}.$$

$$\varepsilon_{\%} = \frac{U_t - U_r}{U_t} \times 100 = \frac{2R_{L1}}{R_{r1}} \times 100$$

AN : pour une distance de 150 m,  $R_{L1} = 0,1 \times 150 = 15 \Omega$  et  $\varepsilon_{\%} = \frac{2 \times 15}{2500} \times 100 = 1,2 \%$ .

Conclusion : l'erreur de liaison est supérieure à la condition sur la tension au niveau du récepteur. De plus, cette erreur est fonction de la longueur de fil, ce qui n'est pas satisfaisant.

### Question 18 :

Application de la loi des mailles :  $U_s = U_{DC} - R_{r2} \times I_b$

$$\text{Valeur de tension minimale : } U_{s_{max}} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_{min}} = 24 - 500 \times 4 \cdot 10^{-3} = 22 \text{ V}$$

$$\text{Valeur de tension maximale : } U_{s_{min}} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_{max}} = 24 - 500 \times 20 \cdot 10^{-3} = 14 \text{ V}$$

La plage de tension indiquée par le constructeur étant de 12 V à 30 V, l'exigence est vérifiée.

### Question 19 :

Pour respecter la valeur minimale de 12 V en sortie du conditionneur, il faut s'assurer que la chute de tension liée aux fils de la boucle n'excède pas 2 V.

Soit L la longueur maximale de boucle, pour un courant maximal de 20 mA, on a :

$$U_{s_{min}} = 12 \text{ V} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_{max}} - 2 \times L \times 0,1 \times I_{b_{max}}$$

D'où  $L = \frac{(24 - 12 - 10)}{2 \times 0,1 \times 20 \cdot 10^{-3}} = 500$  m. Cette distance est nettement supérieure aux 150 m qui séparent le capteur de l'automate de contrôle. Cette solution est donc valide.

**Question 20 :**

Soit  $I_b$  l'intensité du courant dans la boucle 4-20 mA.

Avantages d'une transmission analogique par boucle de courant :

- transmission sur de grande distance. Le courant est constant le long d'un câble et ne dépend pas de la longueur de la ligne ;
- très bonne immunité aux bruits électromagnétiques (fils torsadés) ;
- seulement 2 fils pour l'alimentation du capteur et le codage de l'information ;
- détection de panne du capteur intégrée (lorsque  $I_b < 4$  mA ou  $I_b > 20$  mA). La détection du défaut capteur est gérée comme demandée dans les conditions permanentes.

**Étude du levage du plateau mobile****Dimensionnement du système hydraulique de levage****Question 21 :**

Pour l'huile référencée PANOLIN HLP SYNTH 32, courbe bleue, les valeurs de viscosité sont :

- 150 cSt à 0°C : température minimale en salle hydraulique ;
- 50 cSt à 20°C : température ambiante normale ;
- 22 cSt à 40°C : température maximale de fonctionnement normal ;
- 14 cSt à 60°C : température de coupure du circuit.

La viscosité dynamique étant une fonction décroissante de la température, la viscosité retenue pour le modèle de dimensionnement est celle correspondant à la température minimale de la salle hydraulique (soit 0°C) et donc une viscosité de 150 cSt.

**Question 22 :**

Vérification des données numériques pour la portion de ligne hydraulique V4/V3 :

- vitesse moyenne d'écoulement  $v_m = 4 \times \frac{Q_v}{\pi D^2} = 4 \times \frac{210 \cdot 10^{-3} / 60}{\pi \times (50,80 \cdot 10^{-3})^2} = 1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- avec  $u = 150 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
nombre de Reynolds  $R_e = \frac{v_m D}{u} = \frac{1,7 \times 50,80 \cdot 10^{-3}}{150 \cdot 10^{-6}} = 576$ ;
- pertes de charge régulières :  $\lambda = \frac{64}{R_e} = \frac{64}{576} = 0,11$  et  $\Delta p = \lambda \frac{\rho v_m^2 L}{2 D} = 0,35 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,35 \text{ bar}$ .

Au total, les pertes de charges régulières de la ligne de gavage s'élèvent à  $\Delta p = 0,09 + 0,20 + 0,38 + 0,42 + 0,40 + 1,40 = 2,89 \text{ bar}$

La valeur retenue pour le dimensionnement est bien cohérente avec les valeurs annoncées par le bureau d'étude.

**Question 23 :**

Il s'agit de la résistance à l'écoulement provoquée par les accidents de parcours (coudes, élargissements ou rétrécissement de la section, organes de réglage, filtre électrovanne etc.) ; ce sont les pertes de charge accidentelles ou singulières.

**Question 24 :**

Il faut appliquer le théorème de Bernoulli entre (1) le point d'aspiration et (2) l'entrée de la pompe de levage V6 la plus éloignée de la centrale.

$$\underbrace{\left(p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2\right)}_{\text{charge à la sortie}} - \underbrace{\left(p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1\right)}_{\text{charge à l'entrée}} = \underbrace{\frac{P_H}{Q_v}}_{\substack{\text{pression hydraulique} \\ \text{de la pompe}}} - \underbrace{\Delta p}_{\text{perte de charge}}$$

Calcul des pertes de charges totales :  $\Delta p_{\text{total}} = 2,9 + 14 + 2 + 1 + 1 + 1 = 21,9 \text{ bar}$  ;

Données en aval de la ligne de courant :  $p_2=10^5 \text{ Pa}$  ;  $v_2=0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;  $z_2=-7 \text{ m}$  ;  
 Données en amont de la ligne de courant :  $p_1=1,9\cdot 10^5 \text{ Pa}$  ;  $v_1= 3,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;  $z_1= 0 \text{ m}$  ;

$$\rho g=0,93\times 1000\times 10=9300 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$$

$$\frac{P_H}{Q_v}=(p_2-p_1) + \frac{1}{2}\rho(v_2^2-v_1^2) + \rho g(z_2-z_1) + \Delta p_{\text{total}}$$

$$\frac{P_H}{Q_v}=(1-1,9)\cdot 10^5 + \frac{1}{2}\times 0,93\times 1\ 000\times(0,6^2-3,4^2) + 0,93\times 1\ 000\times 10\times(-7-0) + 21,9\cdot 10^5$$

$$\frac{P_H}{Q_v}=20,3\cdot 10^5 \text{ Pa} = 20,3 \text{ bar}$$

Avec une majoration de 20%, la valeur de pression est alors de 24,4 bar. Le choix d'une pompe de 30 bar est validé.

### Validation mécanique d'un choix de vérin

#### Question 25 :

Les efforts  $\vec{F}_L$  et  $\vec{F}_T$  s'appliquent en tête de tige de vérin et sont les valeurs maximales en situation dégradée. Le cas le plus défavorable correspond à la situation dégradée 12 sur le vérin 2.

D'après la figure 21 :  $\|\vec{F}_L\| = 9\ 412 \text{ kN}$  ;  $\|\vec{F}_T\| = 188 \text{ kN}$ .

#### Question 26 :

Plusieurs conventions sont possibles. Par exemple, en utilisant la convention « dite » de l'ingénieur, à savoir :

- l'effort normal N est positif en traction ;
- l'effort tranchant V est positif lorsqu'il est directement orthogonal à l'effort normal ;
- le moment fléchissant M est positif lorsqu'il tend la fibre inférieure.

L'application du PFS sur la poutre donne :

$$X_A=F_L \cdot Y_A=F_T \cdot a/L$$

$$Y_B=-F_T \cdot (L+a)/L$$

$$\text{Entre A et B : } N(x)=-F_L$$

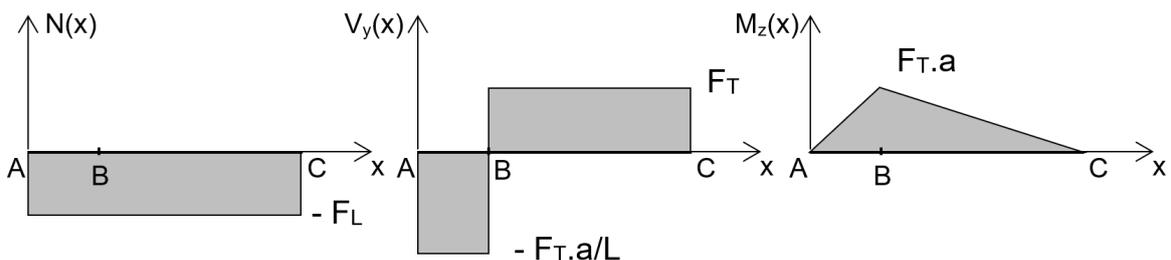
$$V_y(x)=-F_T \cdot a/L$$

$$M_z(x)=F_T \cdot (a/L)x$$

$$\text{Entre B et C : } N(x)=-F_L$$

$$V_y(x)=F_T$$

$$M_z(x)=-F_T \cdot x+F_T \cdot (L+a)$$



#### Question 27 :

Soit  $v(x)$  est le déplacement de la poutre selon  $\vec{y}$  en fonction de  $x$ .

La relation de comportement E.Iz.  $\frac{d^2v}{dx^2}=M_z(x)$  permet de calculer la flèche. L'expression de  $v(x)$  peut alors être déterminée en intégrant deux fois la relation  $\frac{M_z(x)}{E.Iz}$  dans le tronçon AB et dans le tronçon BC.

La détermination des 4 constantes d'intégration est obtenue en utilisant les conditions aux limites :

- tronçon AB :  $v_{AB}(0)=0$  et  $v_{AB}(L)=0$  ;
- tronçon BC :  $v_{BC}(L)=0$  ;
- continuité de  $v'(L)$  à l'interface entre les deux tronçons :  $v'_{AB}(L)=v'_{BC}(L)$ .

La flèche en C est égale à  $v(L+a)$ .

Ce même résultat peut être obtenu par d'autres méthodes : méthode des déplacements, intégrales de Mohr, etc.

**Question 28 :**

La tige du vérin est un tube de diamètre extérieur 580 mm et intérieur 410 mm.

Le moment quadratique d'un tube est  $\frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$  car les disques formant la section du tube sont concentriques en G. Soit  $4\,167 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 = 4,167 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ .

**Question 29 :**

Une application numérique à partir des données permet de déterminer la valeur du déplacement de la poutre au point C :

$$\frac{FT \cdot a^2 \cdot (a+L)}{3 \cdot E \cdot I_z} = \frac{188\,000 \times 6,436^2 \cdot (6,436 + 1,332)}{3 \times 210 \cdot 10^9 \times 4,167 \cdot 10^{-3}} = 0,024 \text{ m soit } 24 \text{ mm.}$$

Ce déplacement est inférieur à 50 mm et conforme aux exigences.

**Validation de la pression de fonctionnement du groupe motopompe haute pression de levage**

**Question 30 :**

Lecture du diamètre d'alésage sur le DT6 :  $d_{\text{alésage}} = 640 \text{ mm}$ .

Surface de répartition de l'effort de levage :  $S = \pi \frac{d_{\text{alésage}}^2}{4} = \pi \times 0,320^2 = 0,322 \text{ m}^2$

Deux possibilités de validation :

- Calcul de l'effort maximal à partir de la pression maximale 350 bar :

$$F_{\text{max}} = P_{\text{max}} \times S = 11\,300 \text{ kN} > 9\,500 \text{ kN.}$$

- Calcul de la pression nécessaire en prenant un effort de 9 500 kN :

$$P = \frac{F}{S} = 295 \text{ bar} < 350 \text{ bar.}$$

**Validation du choix du transformateur HT/BT du poste énergie levage**

**Question 31 :**

A partir des données, il est possible de calculer la puissance électrique absorbée par chaque moteur :  $P = \frac{P_u}{\eta}$ .

- groupe motopompe gavage (GMP GAV) :

$$P = \frac{P_u}{\eta} = \frac{33}{0,89} = 37 \text{ kW ;}$$

- groupe motopompe haute pression levage (GMP HP) :

$$P = \frac{P_u}{\eta} = \frac{16,5}{0,89} = 18,5 \text{ kW .}$$

De même, la puissance réactive associée à chaque charge est obtenue par la relation :  $Q = P \tan \varphi$ .

- groupe motopompe gavage (GMP GAV),  $\cos \varphi = 0,9$  :

$$Q = 17,9 \text{ kVAR}$$

- groupe motopompe haute pression levage (GMP HP),  $\cos \varphi = 0,85$  :

$$Q = 11,5 \text{ kVAR}$$

Bilan de puissance (théorème de Boucherot) : la puissance active/réactive totale est égale à la somme des puissances actives/réactives. Ici, on doit compter 2 GMP GAV et 12 GMP HP, d'où :

$$P_t = 2 \times 37 + 12 \times 18,5 = 296 \text{ kW}$$

$$Q_t = 2 \times 17,9 + 12 \times 11,5 = 174 \text{ kVAR}$$

On en déduit alors la puissance apparente totale :  $S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = 343 \text{ kVA}$ .

Le choix d'un transformateur de puissance apparente 500 kVA est validé.

**Question 32 :**

Conversion vitesse :  $70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

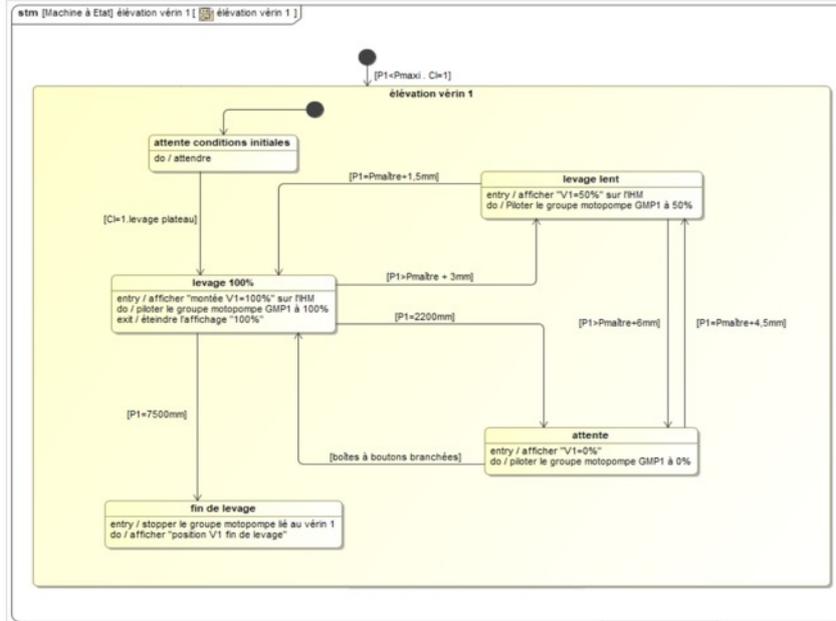
Puissance utile en sortie :  $P_u = \eta \times P_t = 12 \times F \times v = 12 \times 9\,500 \cdot 10^3 \times 1,17 \cdot 10^{-3} = 133,4 \text{ kW}$

D'où l'effort au niveau de chaque vérin :  $F = \frac{\eta \times P_t}{12 \times v} = \frac{0,45 \times 296 \cdot 10^3}{12 \times 1,17 \cdot 10^{-3}} = 9\,487 \text{ kN}$

Conclusion : le système est correctement dimensionné pour  $F=9\,500 \text{ kN}$  (soit  $P=11\,083 \text{ W}$  pour un vérin).

## Étude de la synchronisation en position des vérins en phase de levage

### Question 33 :



Notations :

P1 : position du vérin 1

Cl : conditions initiales (non détaillées ici)

## Étude de l'acquisition de la position des vérins

### Question 34 :

Résolution du capteur :  $r = \frac{5\,700}{(2^n - 1)}$  et  $r \leq 5 \mu\text{m}$

d'où un nombre de bits nécessaire de codage  $n \geq 21$  bits.

Le capteur doit transmettre au minimum 21 bits de données.

### Question 35 :

- Capacité de transmission :

En SSI24 le format de transmission est de 24 bits, en tenant compte du bit de parité et des bits 22 et 23 qui sont à 0. Il y reste bien 21 bits disponibles pour coder une position.

- Résolution du capteur :

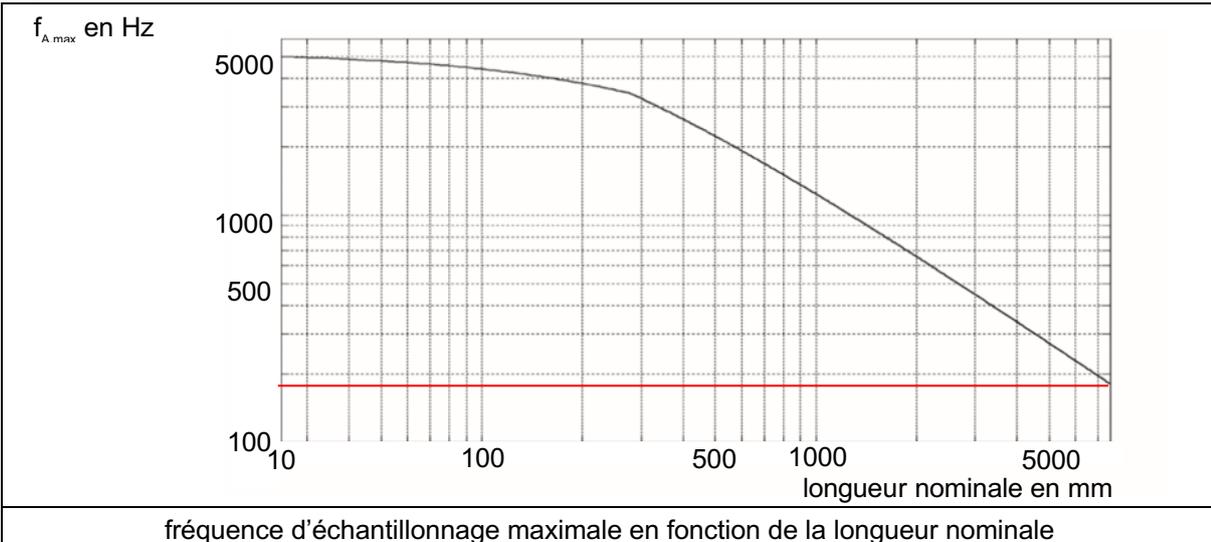
La course du capteur étant de 6350 mm, sa résolution est de  $r = \frac{6350}{(2^{21} - 1)} = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ .

$r \leq 5 \mu\text{m}$  donc la résolution du capteur est valide.

- Principe et intérêt du bit de parité :

Le bit de parité (pair ou impair) permet de vérifier la justesse du message en comptant le nombre de bits à 1 et en indiquant par un 0 (ou un 1) si ce nombre est pair ou impair. Il s'agit d'une méthode de vérification de message transmis en détectant une éventuelle erreur de transmission durant la communication.

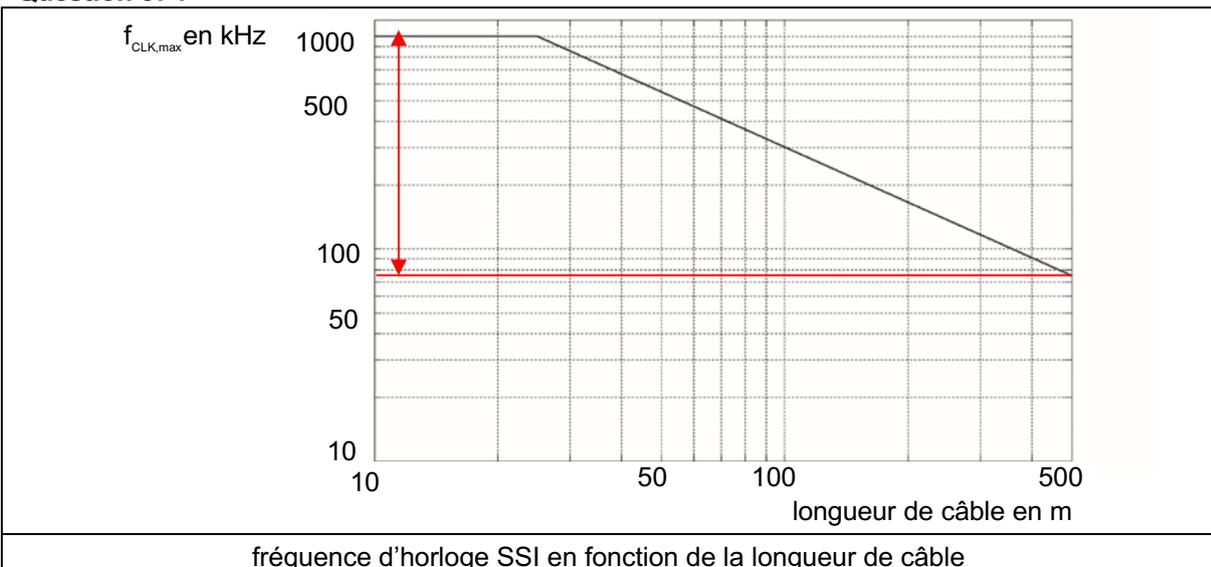
**Question 36 :**



Dans le pire des cas on a :  $f_{A,max} > 150 \text{ Hz}$  soit  $T_{A,min} > 0,006 \text{ s}$  donc  $T_{A,min} > 0,016 \text{ s}$ .

Le comportement synchrone est validé.

**Question 37 :**



Dans le pire des cas  $75 \text{ kHz} < f_{CLK,max} < 1000 \text{ kHz}$  donc  $0,001 \text{ ms} < T_{CLK,max} < 0,013 \text{ ms}$ .

Or, pour une transmission complète des données il faut

$$24T_{CLK,max} + 2T_{CLK,max} = 26 \times 0,013 \cdot 10^{-3} = 0,347 \text{ ms}$$

Cette durée est suffisante pour assurer la transmission et le traitement des données avant la fin d'une période d'échantillonnage ( $T_{A,min} = 0,006 \text{ s}$ ).

Les exigences de fonctionnement (synchrone), de résolution ( $r \leq 5 \mu\text{m}$ ), de durée de transmission ( $T_{A,min} > 24T_{CLK,max}$ ) et de course (course capteur > course vérin) sont validées.

**Question 38 :**

Position à coder : position initiale + 6 = 200 + 6 = 206 mm.

Avec une résolution de 5  $\mu\text{m}$ , il faut coder

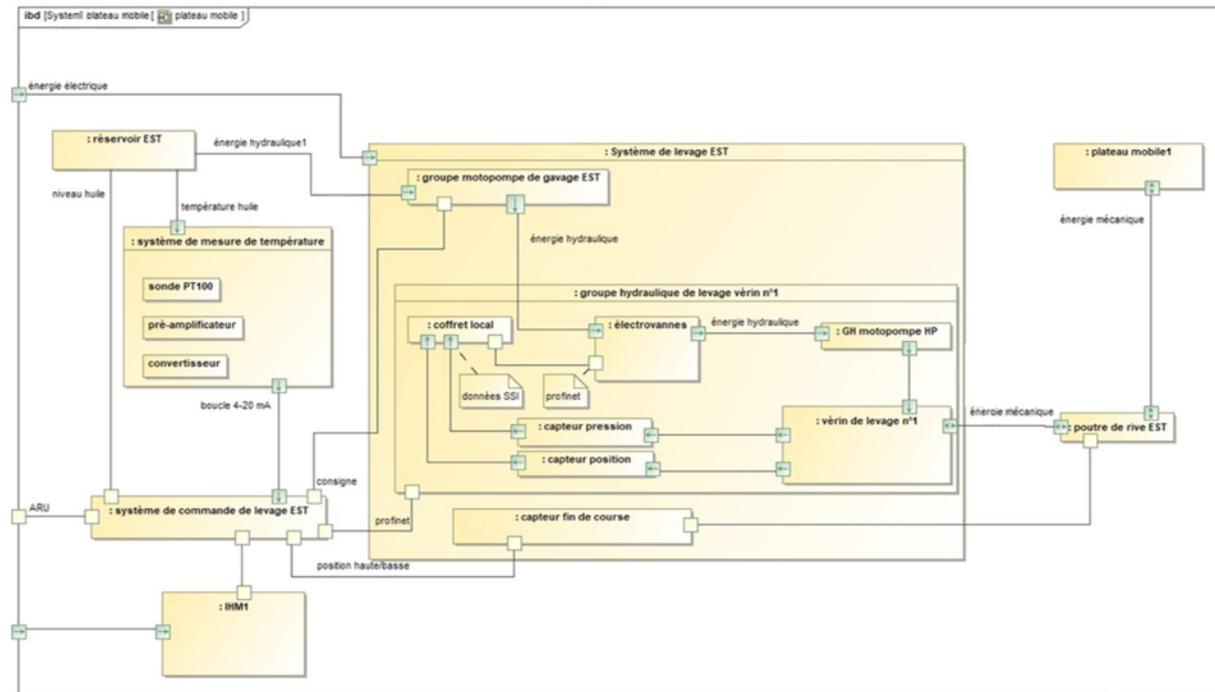
$$(41200)_{10} = (1010000011110000)_2 = (1111000010001000)_{\text{gray}}$$

La trame transmise par le capteur d'un vérin à la limite du passage de la commande de 50 % à 0 % doit être : 00 00001111000010001000.

### Synthèse phase de levage

#### Question 39 :

Le diagramme des blocs internes partiel est le suivant :



#### Question 40 :

L'effort total supporté par le chariot rouleur le plus chargé en mode nominal est :  $228,6 \cdot 10^4 + 58,1 \cdot 10^4 \times 4 = 461 \cdot 10^4 \text{ N}$ .

Conclusion : les bras ne peuvent pas supporter cette charge au regard du cahier des charges. Il est nécessaire de mettre en place un dispositif qui répartit les surcharges sur l'ensemble des bras de façon équitable.

#### Question 41 :

L'équation de continuité pour les 2 chambres, dans le cas où le fluide est compressible, est :

$$Q_1 = S \frac{dz(t)}{dt} + \frac{V_1}{\beta} \frac{dP_1(t)}{dt} \quad \text{et} \quad Q_2 = S \frac{dz(t)}{dt} - \frac{V_2}{\beta} \frac{dP_2(t)}{dt}$$

En appliquant le théorème de la résultante dynamique appliqué à la tige du vérin en projection selon  $\vec{z}$ , on trouve :

$$-m \frac{d^2z(t)}{dt^2} = -S \cdot P_1(t) + S \cdot P_2(t) + F_z(t) + f_v \frac{dz(t)}{dt}$$

Dans le domaine de Laplace :

$$Q_1(p) = S \cdot p \cdot Z(p) + \frac{V_1}{\beta} \cdot p \cdot P_1(p) \quad \text{et} \quad Q_2(p) = S \cdot p \cdot Z(p) - \frac{V_2}{\beta} \cdot p \cdot P_2(p).$$

En exprimant les deux pressions  $P_i(p)$ , et en remplaçant dans l'expression du théorème de la résultante :

$$[mp^2 + f_v p] \cdot Z(p) = S \cdot \frac{\beta}{V_1 p} [Q_1(p) - S p Z(p)] - S \cdot \frac{\beta}{V_2 p} [-Q_2(p) + S p Z(p)] + F_z(p)$$

L'expression peut se factoriser sous la forme :

$$Z(p) \left[ mp^2 + f_v p + \beta S^2 \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} \right] - F_z(p) = \frac{\beta S}{p} \left[ \frac{V_2 Q_1(p) + V_1 Q_2(p)}{V_1 V_2} \right]$$

**Question 42 :**

Par simplification de l'expression précédente :

$$Z(p) \left[ mp^2 + f_v p + \frac{2\beta S^2}{V_0} \right] \cdot F_z(p) = \frac{\beta S}{p} \left[ \frac{2Q(p)}{V_0} \right] \quad (1)$$

La fonction de transfert est de la forme :  $Z(p) = H_1(p)Q(p) + H_2(p)F_z(p)$

$$Z(p) = \frac{2\beta S}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} Q(p) + \frac{V_0 p}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} F_z(p)$$

**Question 43 :**

L'expression de  $Z(p)$  étant donnée,  $Z(p) = \frac{2\beta S}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} Q(p) + \frac{V_0 p}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} F_z(p)$

En utilisant le principe de superposition :

$$Z(p) = \frac{2\beta \cdot S_{eq} \cdot Q(p) - V_0 \cdot p \cdot F_z(p)}{p \cdot (2\beta S_{eq}^2 + V_0 \cdot p \cdot (mp + f_v))} \text{ et par identification on obtient : } G(p) = \frac{1}{p \cdot (mp + f_v)}$$

**Question 44 :**

Le temps de levage est  $\frac{L}{V} = \frac{63}{1,08} = 58,3$  min, soit 0,04 jour, ce qui est inférieur à l'exigence 0,07 jour.

**Question 45 :**

D'après le DT4, la course de levage est 5 700 mm et la vitesse de levage est  $70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Le temps de levage est  $5700/70 = 81,4$  min soit une durée arrondie à 90 min.

D'après la partie 5, le transfert complet du plateau mobile sur 63 m se déroule en cycles successifs de 0,9 m. Chaque cycle a une durée de 50 secondes et il n'y a aucun délai entre deux cycles successifs.

Le temps de translation est  $(63/0,9) \times 50 = 3\,500 \text{ s} = 58,3$  min soit environ 60 min.

**Question 46 :**

D'après le diagramme de Gantt simplifié :

- la durée de la phase 2 est de 2h car la fin du levage correspond à la fin des 2h de mise en place des chariots rouleurs ;
- la durée de la phase 4 est de  $1 + 1 = 2$  h, soit 1h de translation et 1h de sécurisation ;
- la durée totale correspond à la durée des phases moins les chevauchements de phases.

Or les phases 1 et 2 se chevauchent de 0,5 h et les phases 4 et 5 se chevauchent de 1h.

La durée totale de changement de configuration vaut donc  $3+2+6,5+2+4-0,5-1=16$  h. Elle est bien inférieure à l'exigence de 24 h.

Vue la durée d'un changement de configuration (48h pour ouverture et fermeture), et sa logistique (matériel et coût), cette opération est réalisée pour des événements exceptionnels.

## D. Commentaires du jury

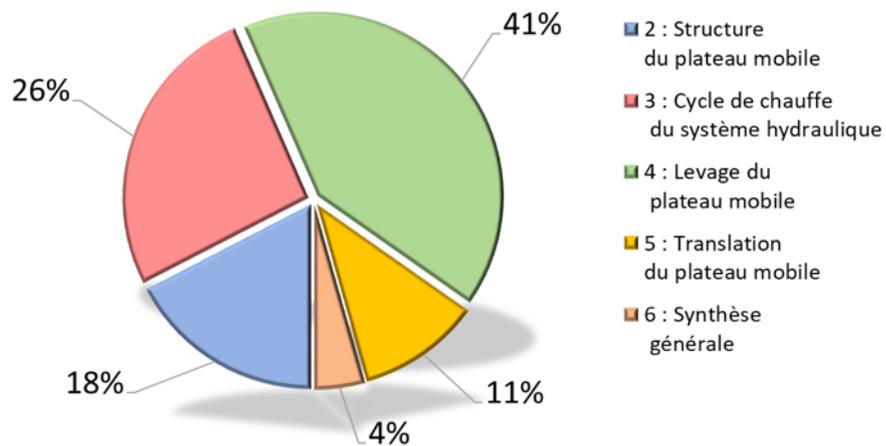
### Analyse globale des résultats

Quelle que soit l'option, réussir cette épreuve demande :

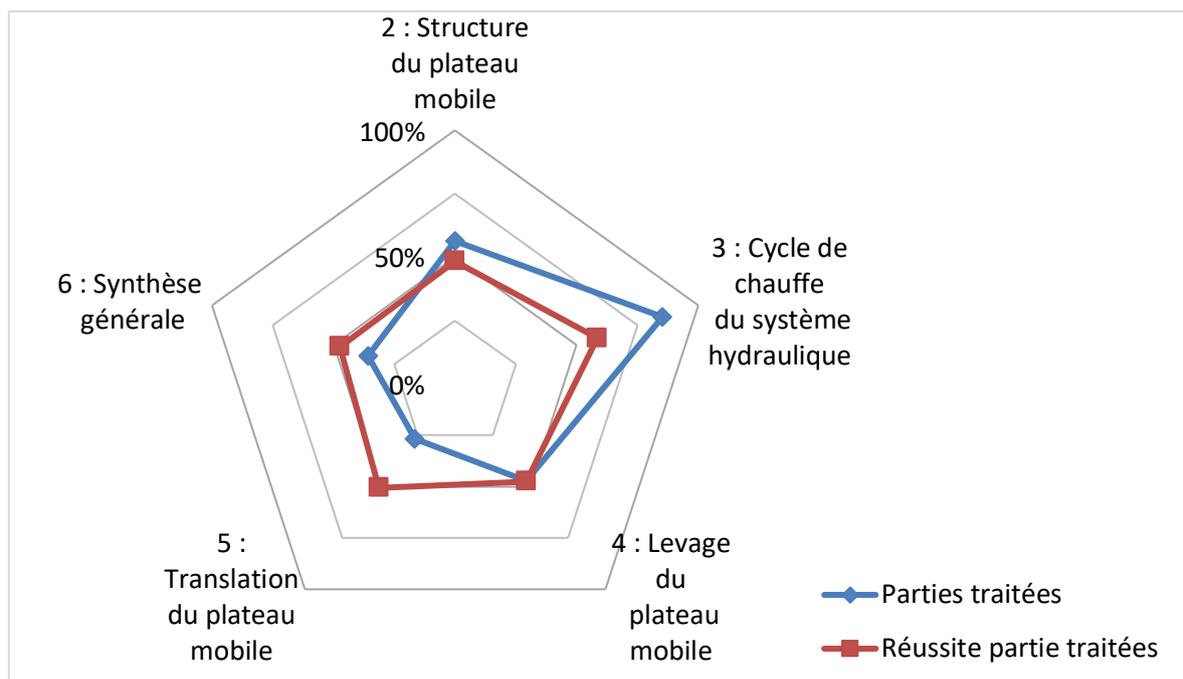
- de s'approprier en un temps limité un sujet technique pluridisciplinaire décrit avec les outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- de maîtriser les modèles de connaissance des différents domaines d'étude de l'ingénierie ;
- d'analyser et d'interpréter des résultats d'étude, afin de formuler des conclusions cohérentes et pertinentes.

Afin de mieux cibler l'analyse, un découpage selon différentes thématiques est proposé, fidèle à la structuration du sujet en grande majorité, dont la répartition associée au questionnement et les résultats correspondants sont donnés.

Volume des parties en % des questions



Découpage du sujet par thématiques



Résultats de l'option II par thématiques

L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

- les 3 premières parties ont été traitées environ par 50 % des candidats. Le jury constate que le profil des candidats tend à s'équilibrer sur les différents domaines de connaissances des sciences de l'ingénieur et incite les futurs candidats à poursuivre dans ce sens ;
- l'étude de la structure du plateau mobile demandait des compétences de base dans le domaine de la mécanique et de la résistance des matériaux. Cette partie qui débutait le sujet a été traitée par plus de la moitié des candidats avec un taux de réussite proche de 50 %. Le jury note cette relative réussite avec intérêt et encourage les futurs candidats à approfondir leurs connaissances et compétences dans toutes les champs pluritechnologiques ;
- l'étude du cycle de chauffe du système hydraulique a été traitée par 85,3 % des candidats avec une réussite certaine atteignant les 60 %. Cette partie qui mobilisait des compétences du domaine de l'informatique industrielle est celle qui obtient logiquement les meilleurs résultats pour l'option. Ainsi la mise en place de logigrammes et d'algorithmes n'a pas posé de problème pour la majorité des candidats, les études du capteur de température et de la transmission de données ont cependant souvent manqué de rigueur ce qui n'est pas admissible à ce niveau d'exigence ;
- la 4<sup>ème</sup> partie représentait plus d'un tiers du questionnement du sujet abordant des domaines divers. La moitié des candidats ont traité cette partie avec une bonne réussite mais le jury remarque que pour chaque sous-partie seules les premières questions ont été abordées. Le jury déplore cet état de fait qui démontre des connaissances et compétences parcellaires particulièrement dans le domaine des matériaux ;
- l'étude de la phase de translation, arrivant en fin de sujet n'a été abordée que par un quart des candidats. Cette partie, centrée sur des compétences de modélisation, a été réussie par la moitié d'entre eux. Le jury note que les candidats ont, d'une manière générale, trop peu développé leur raisonnement ;
- la synthèse générale, ainsi que les synthèses des différentes parties, sont rarement traitées avec réussite. Le jury rappelle qu'il s'agit pour cet exercice d'être en capacité de prendre du recul par rapport aux réponses apportées et de se placer dans le contexte du sujet.

### **Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats**

*Étude de la structure du plateau (Q1 à Q8) – Partie traitée par 56,4% des candidats*

Détermination des efforts dans les barres du treillis (Q1 à Q3) :

Certains candidats ont déterminé les efforts demandés en évaluant de manière très approximative les poids en jeu. La méthode des surfaces d'influence était celle attendue. Des candidats n'ont pas pris en compte le modèle isostatique ni les symétries de géométrie et de chargement qui permettait une résolution correcte. De même le choix de la section du treillis à isoler a rarement été optimisé amenant de nombreuses erreurs de calculs analytiques. Le jury rappelle que, quel que soit le domaine, les formules et méthodes de résolution doivent être connues et maîtrisées.

Contrôle des choix de prédimensionnement (Q4 et Q5) :

Il s'agissait ici de ne pas confondre limite élastique et limite à la rupture, erreur souvent rencontrée, et de mentionner le phénomène de flambement, caractéristique de la situation étudiée.

Simulation et analyse à l'aide d'un modèle aux éléments finis (Q6 à Q8) :

Cette analyse de simulation a particulièrement été réussie pour l'ensemble des candidats qui se sont lancés dans cette étude puisqu'il s'agissait d'une simple comparaison de valeur, même si les justifications proposées étaient souvent uniquement qualitatives. Par ailleurs, le jury rappelle que la question de synthèse de partie impose de la part du candidat une prise de recul face à la problématique

énoncée en début de partie, un rappel des résultats importants, et une réflexion étayée par les résultats de son étude.

*Étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage (Q9 à Q20) : Partie traitée par 85,3 % des candidats*

Étude du cycle de chauffe au sein du cycle de levage (Q9 à Q15) :

Comme attendu, cette partie a été traitée par pratiquement l'ensemble des candidats avec une certaine réussite. Le jury remarque que les candidats ont parfois oublié de tenir compte d'un des trajets (aller ou retour) et que peu d'entre eux ont fait référence à la notion d'estimation du débit qui était indiquée dans l'énoncé pour expliquer l'écart calculé. Il est conseillé aux candidats de revenir sur l'énoncé des questions avant de conclure.

Pour l'écriture de l'algorithme, certains se sont souvent limités aux seules variables issues de l'IHM, oubliant particulièrement celles provenant de la documentation technique (EV\_RD, EV\_SA, EV\_N...). Par ailleurs, les candidats ont souvent mal compris la gestion de l'ordre de commande du cycle de chauffe mais ils ont su proposer l'algorithme attendu dans des formalismes divers. Le jury souligne que la compréhension des réponses est facilitée quand elles utilisent des normes d'écriture. Des erreurs ont été commises par l'absence de distinction entre les entrées (par exemple TEMP\_°C\_EST) et les sorties (par exemple GMP\_GAV). Ces notions de base doivent être pleinement maîtrisées par les candidats.

Étude du capteur de température et de la transmission de données (Q16 à Q20) :

Les candidats ont su déterminer la valeur escomptée, mais peu ont justifié leur raisonnement, ne faisant pas référence à l'équilibrage du pont de Wheatstone. Ils ont régulièrement confondu Us et la tension du récepteur et n'ont pas vérifié l'exigence. Le déroulement d'un raisonnement aboutit nécessairement à une conclusion répondant à une problématique posée.

Pour la synthèse de cette partie, les candidats ont su faire référence à leur culture technologique personnelle en parlant par exemple de l'immunité aux bruits de la solution proposée, mais ils ont rarement fait le lien avec les conditions permanentes de fonctionnement du cycle de chauffe, à savoir la détection nécessaire du défaut capteur. Le jury insiste sur l'importance du travail de synthèse qui illustre la hauteur prise par les candidats face aux problématiques posées.

*Étude du levage du plateau mobile (Q21 à Q39) : Partie traitée par 47,2 % des candidats*

Dimensionnement du système hydraulique de levage (Q21 à Q24) :

Le jury note le peu de réussite sur cette partie.

Les candidats ont parfois été déstabilisés par le fait que la référence du fluide n'apparaissait pas sur les courbes du DT5. Cependant, le graphe permettait aisément de déterminer des intervalles de valeurs de viscosité dynamique pour chacune des températures et de conclure.

De plus les candidats n'ont pas compris l'attente des étapes de calculs permettant d'obtenir les valeurs données et ont ainsi été pénalisés. Le jury réaffirme aux candidats l'importance de la compréhension des consignes.

Et enfin, rares sont les candidats à avoir utilisé le formulaire de mécanique des fluides. Le jury rappelle qu'il s'agit d'une épreuve transversale intégrant par définition de nombreux domaines que les candidats sont amenés à pratiquer et que la mécanique des fluides en fait partie.

Validation mécanique d'un choix de vérin (Q25 à Q29) :

Cette partie centrée sur le champ de la résistance des matériaux a été peu traitée et avec une faible réussite. Le jury répète l'importance de la transversalité qui doit nourrir les futurs professeurs de SII. Seule la première question, basée sur une lecture de tableau, a été réussie. La détermination de l'expression littérale de  $M_z(x)$ , surtout entre B et C, a posé le plus de problèmes aux candidats.

Validation de la pression de fonctionnement du groupe motopompe haute pression de levage (Q30) :

Les candidats qui ont traité la question ont eu du mal à trouver la surface de répartition de l'effort de levage, soit par mauvaise lecture du diamètre d'alésage, soit en considérant que la surface n'était pas un disque. Il est regrettable que les formules de base de composants classiques ne soient pas maîtrisées à ce niveau de concours.

Validation du choix du transformateur HT/BT du poste énergie levage (Q31 et Q32) :

Le bilan de puissance a été globalement traité avec réussite. Le jury note cependant que les notions de base sur les puissances actives, réactives et apparentes restent encore trop souvent confuses.

Étude de la synchronisation en position des vérins en phase de levage (Q33) :

La maîtrise du formalisme SysML est exigée. Les candidats ayant répondu à cette question l'ont généralement correctement traitée.

Étude de l'acquisition de la position des vérins (Q34 à Q38) :

Cette étude classique d'un capteur a été réussie par la majorité des candidats.

Cependant, les candidats ont souvent confondu la course du plateau (5 700mm) avec la course du capteur (6 350mm) ou ont oublié la prise en compte de la résolution pour valider le capteur. Les explications données par les candidats sur le bit de parité ont manqué de clarté.

Par ailleurs, les candidats se sont trouvés en difficulté pour justifier le fonctionnement synchrone du capteur. Certains l'ont expliqué par la simple présence de l'horloge, or l'énoncé annonçait clairement une condition au fonctionnement synchrone ( $T_A < 16$  ms). Le raisonnement consistant à se placer dans le pire des cas permettait de valider l'exigence. Le jury a tenu compte de la cohérence des explications à ce niveau.

La question centrée sur la trame à coder a posé problème aux candidats : la position initiale a souvent été erronée, il en découlait une position à coder fautive. Rares sont les candidats qui ont réussi à passer en code Gray, qui semble ne pas être connu, et qui ont pensé au bit de parité.

Synthèse (Q39) :

Les réponses des candidats montrent à nouveau une méconnaissance du formalisme SysML, mais aussi des confusions plus graves sur la notion de nature de flux.

*Étude de la phase de translation (Q40 à Q44) : Partie traitée par 26,8 % des candidats*

Cette partie, très peu traitée, a posé des difficultés aux candidats qui l'ont abordée, la réussite est assez faible. Certes, il s'agissait de la fin du sujet, mais les notions de fonction de transfert et le domaine de Laplace sont clairement non maîtrisés.

*Synthèse générale (Q45 et Q46) : Partie traitée par 35,8 % des candidats*

Des erreurs d'arrondis et de chevauchement de phases sont à noter. Le jury encourage aussi les candidats à fournir des justifications appuyées vis-à-vis des exigences à valider.

## Conseils aux futurs candidats

Comme indiqué dans l'ensemble des commentaires, les candidats doivent préparer cette épreuve sans laisser de domaines des sciences de l'ingénieur non maîtrisés. Le caractère transversal de cette épreuve est une réelle difficulté à laquelle les candidats doivent travailler dans la perspective d'une bonne préparation à leur futur métier.

Le jury signale que les copies des candidats doivent être lisibles tant au niveau de l'écriture que de la présentation des réponses qui deviennent extrêmement confuses souvent. La rigueur d'un raisonnement ne peut se faire sans rigueur dans sa présentation. Toute réponse doit être justifiée par des éléments du sujet, des références à des résultats précédents dans une langue française construite et donc compréhensible.

## E. Résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve sont données ci-dessous.



# Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 19 avril 2013 et arrêté du 19 avril 2016

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie en vue de prédire ou de vérifier son comportement et ses performances.

## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation\\_externer/87/9/s2019\\_agreg\\_externer\\_sii\\_informatiq\\_ue\\_2\\_1\\_1093879.pdf](http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation_externer/87/9/s2019_agreg_externer_sii_informatiq_ue_2_1_1093879.pdf)

[http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation\\_externer/88/0/s2019\\_agreg\\_externer\\_sii\\_informatiq\\_ue\\_2\\_2\\_1093880.pdf](http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation_externer/88/0/s2019_agreg_externer_sii_informatiq_ue_2_2_1093880.pdf)

Ce sujet porte sur un simulateur 3D de conduite d'un camion-citerne. Les thématiques principalement abordées sont :

- la modélisation numérique d'un système physique décrit par des équations différentielles ;
- l'analyse des principes de programmation d'un moteur physique 3D ;
- la modélisation d'une scène en 3 dimensions.



## C. Éléments de correction

Q1 Système différentiel du modèle simplifié

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \varphi \\ \frac{d\varphi}{dt} = \frac{-g}{l_2} \sin \theta \end{cases}$$

Q2 Résolution avec le module odeint de Scipy

```
#pendule simple odeint
import numpy
import math
import matplotlib.pyplot
from scipy.integrate import odeint
#Constantes du problème
g=9.81
l2=0.386
#Pas de temps et intervalle
b=10;N=5000
h=b/float(N-1)
t=numpy.linspace(0,b,N)

def fphitheta(y,t,g,l2):
    theta,phi=y
    dydt=[phi,(-g/l2)*math.sin(theta)]
    return dydt

y0=[0.1,0.0]
#appel odeint avec paramètres
sol=odeint(fphitheta,y0,t,args=(g,l2))
matplotlib.pyplot.plot(t,sol[:,0],'b',label='theta(t)')
```

Q3 Schéma d'Euler explicite

$$y_{i+1} = y_i + h \times F(t_i, y_i)$$

Q4 Application au pendule simple

$$\begin{cases} \theta_{i+1} = \theta_i + h \times \varphi_i \\ \varphi_{i+1} = \varphi_i - h \times \frac{g}{l_2} \sin \theta_i \end{cases}$$

Q5 Programme Python de la méthode d'Euler explicite

```
#pendule simple Euler explicite
import numpy ;import math;import matplotlib.pyplot
#Constantes du problème
g=9.81;l2=0.386
#Pas de temps et intervalle
b=10;N=5000
h=b/float(N-1)
#Tableaux
phi=numpy.zeros(N,float);theta=numpy.zeros(N,float)
t=numpy.linspace(0,b,N)
#Conditions initiales
phi[0]=0.0
theta[0]=0.1
```

```
#Euler 2nd ordre
for i in range(N-1):
    theta[i+1]=theta[i]+h*phi[i]
    phi[i+1]=phi[i]+h*(-g/l2)*math.sin(theta[i])

matplotlib.pyplot.plot(t,theta,label="angle theta")
```

#### Q6 Comparaison Euler explicite et odeint

Pour N=5 000 points, la méthode `odeint` converge vers la solution car l'angle  $\theta$  oscille entre deux valeurs correspondant à la condition initiale.

Pour N=5 000 points, la méthode d'Euler explicite diverge car l'angle  $\theta$  oscille entre deux valeurs qui croissent dans le temps.

Conclusion : la stabilité de la méthode d'Euler dépend des valeurs des constantes du problème à nombre de points de calcul imposé.

Autres méthodes : le problème différentiel semble être un problème dit « raide ». Ce genre de problème différentiel est résolu en utilisant des méthodes rétrogrades (« Backward Differential Formula ») comme la méthode d'Euler implicite, Runge Kutta ordre 4 implicite et autres...

#### Q7 Modèle complet

$$(m_1 + m_2) \frac{d^2 y_1}{dt^2} + m_2 l_2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + k y_1 + \beta_1 \frac{dy_1}{dt} = f_1(t)$$

$$m_2 l_2 \frac{d\varphi}{dt} + m_2 \frac{d\omega}{dt} + m_2 g \theta + \beta_2 \varphi = f_2(t)$$

#### Q8 Différences finies : coefficients *A, B, C, D, E, F et M*

$$\left\{ \begin{array}{l} A = m_1 + m_2 + \beta_1 h \\ B = m_2 l_2 \\ C = -(m_1 + m_2) \\ D = -m_2 l_2 \\ E = 2(m_1 + m_2) + \beta_1 h + kh^2 \\ F = 2m_2 l_2 \\ M = h^2 \end{array} \right.$$

#### Q9 Différences finies : matrices *M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> et M<sub>4</sub>*

$$M_1 = \begin{bmatrix} A & B \\ G & H \end{bmatrix}, M_2 = \begin{bmatrix} E & F \\ K & L \end{bmatrix}, M_3 = \begin{bmatrix} C & D \\ I & J \end{bmatrix}, M_4 = \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & N \end{bmatrix}$$

#### Q10 Différences finies : programme Python

```
import matplotlib.pyplot;import numpy;import math

#Constantes du problème
m1=1500;m2=10250;l2=0.39;k=300000;g=9.81;l=0.33;b1=20000;b2=20000
#Paramètres de simulation
Npts=10000;tmax=10.;h=tmax/(Npts-1)
#Définition des coefficients
```

```

A=m1+m2+h*b1;B=m2*l2;C=-(m1+m2);D=-m2*l2;E=2*(m1+m2)-
k*h*h+h*b1;F=2*m2*l2;M=h*h
G=m2;H=m2*l2+h*b2;I=-m2;J=-m2*l2;K=2*m2;L=m2*(2*l2-h*h*g)+h*b2;N=h*h
#Définition des matrices
M1=numpy.array([[A,B],[G,H]]);M2=numpy.array([[E,F],[K,L]])
M3=numpy.array([[C,D],[I,J]]);M4=numpy.array([[M,0],[0,N]])
#Vecteurs colonne
X=numpy.zeros((2,Npts));F=numpy.zeros((2,Npts))
T=numpy.zeros(Npts)
y2=numpy.zeros(Npts)
F1=60000;F2=400000
F[0,0]=F1;F[1,0]=F2;F[0,1]=F1;F[1,1]=F2;F[0,2]=F1;F[1,2]=F2
M1inv=numpy.linalg.inv(M1)
#Boucle de calcul
for i in range(3,Npts-1):
    F[0,i]=F1;F[1,i]=F2
    T[i]=i*h

    X[:,i+1]=numpy.dot(M1inv,numpy.dot(M2,X[:,i])+numpy.dot(M3,X[:,i-1]))+numpy.dot(M4,F[:,i]))

for i in range(Npts):
    y2[i]=X[0,i]+l2*math.sin(X[1,i])

matplotlib.pyplot.plot(T[:Npts-1],X[0,:Npts-1])
matplotlib.pyplot.plot(T[:Npts-1],X[1,:Npts-1])
matplotlib.pyplot.plot(T[:Npts-1],y2[:Npts-1])

```

#### Q11 Déplacement de la masse $m_2$

$$y_2(t) = y_1(t) + l_2 \sin \theta(t)$$

#### Q12 Modèle complet, approximation linéaire : conditionnement pour la méthode `odeint`

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= \omega \\ \frac{d\theta}{dt} &= \varphi \\ (m_1 + m_2) \frac{d\omega}{dt} + m_2 l_2 \frac{d\varphi}{dt} + ky_1 + \beta_1 \omega &= f_1(t) \\ m_2 l_2 \frac{d\varphi}{dt} + m_2 \frac{d\omega}{dt} + m_2 g \theta + \beta_2 \varphi &= f_2(t) \end{aligned}$$

#### Q13 Modèle complet, approximation linéaire : expression des matrices $M_5$ , $M_6$ et $M_7$

$$M_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_1 + m_2 & m_2 l_2 \\ 0 & 0 & m_2 & m_2 l_2 \end{bmatrix}, M_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -k & 0 & -\beta_1 & 0 \\ 0 & 0 & -m_2 g & -\beta_2 \end{bmatrix}, M_7 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_1 \\ f_2 \end{bmatrix}$$

#### Q14 Expression premier élément de `dxdt`

`dxdt[0]=numpy.dot(M5inv,numpy.dot(M6,X1)+Fo)[0]`

ou

`dxdt[0]=numpy.dot(M5inv,numpy.dot(M6,X1)+M7)[0]`

### Q15 Modèle complet, méthode odeint : programme Python

```
#Constantes du problème
m1=1500;m2=10250;l2=0.39;k=300000;g=9.81;b1=20000;b2=20000
#Paramètres de simulation
Npts=1000;tmax=10.;h=tmax/(Npts-1)
#Définition des matrices
M5=numpy.array([[1,0,0,0],[0,1,0,0],[0,0,m1+m2,m2*l2],[0,0,m2,m2*l2]])
M6=numpy.array([[0,0,1,0],[0,0,0,1],[-k,0,-b1,0],[0,-m2*g,0,-b2]])
M7=numpy.zeros(4)
t=numpy.linspace(0,tmax,Npts)
y2=numpy.zeros(Npts)
F1=60000;F2=400000
M7[2]=F1;M7[3]=F2

M5inv=numpy.linalg.inv(M5)

def fdxdt(X1,t,Fo,a):
    y1,theta,w,phi=X1
    dXdt=[numpy.dot(M5inv,numpy.dot(M6,X1)+Fo)[0],
          numpy.dot(M5inv,numpy.dot(M6,X1)+Fo)[1],
          numpy.dot(M5inv,numpy.dot(M6,X1)+Fo)[2],
          numpy.dot(M5inv,numpy.dot(M6,X1)+Fo)[3]]
    return dXdt

x0=[0.0,0.0,0.0,0.0]
sol=scipy.integrate.odeint(fdxdt,x0,t,args=(M7,a))

y2=numpy.zeros(Npts)
for i in range(Npts):
    y2[i]=sol[i,0]+l2*math.sin(sol[i,1])
```

### Q16 Comparaison méthodes numériques

Figure 11, N=250

- RK4 et odeint sont superposés ;
- Euler explicite diverge ;
- différences finies proche d'odeint.

Figure 12, N=150

- RK4 diverge ;
- odeint similaire à la simulation à N=250 ;
- différences finies proche d'odeint.

Conclusion :

Si odeint existe en C++, choisir la bibliothèque concernée (odeint C++ ou Boost odeint C++ par exemple),

Si odeint n'existe pas en C++, réaliser une interface (*wrapper*) entre le module Python et le module C++,

Sinon implémenter les différences finies avec une bibliothèque C++ pour les matrices.

Dernière solution, implémenter en C++ les algorithmes d'odeint de Python qui utilisent le sous module LSODA du module ODEPACK de FORTRAN (algorithme d'Adams pour les problèmes non raides et BDF pour les problèmes raides).

### Q17 Comparaison relation de composition et d'association

- listing1 → relation de composition ;
- listing2 → relation d'association unidirectionnelle.
  
- objet1 → instanciation de classe1 ;
- objet2 → instanciation de classe2.

Type de relation	durée de vie	accès membres privés d'objet1 par objet2	accès membres publics d'objet1 par objet2	partage d'objet2 par 2 objets de classe1
composition	objet2 a la même durée de vie qu'objet1. Si objet1 est détruit, objet2 est détruit aussi.	Non permis	Oui	Non, car relation exclusive d'appartenance.
association	objet1 et objet2 ont des durées de vie indépendantes	Non permis	Oui	Oui. Un objet2 peut être accessible par plusieurs objets de classe1.

### Q18 Rôle des classes du DT2

À la création de l'objet de la classe `CRendu_3D_2D_OpenGL`, un objet de classe `CModel3D_PhysX` est créé.

À la création de l'objet de la classe `CModel3D_PhysX`, un objet de classe `PxPhysX` est créé.

L'appel de la méthode `createScene` de la classe `PxPhysX` contenue dans la classe `CModel3D_PhysX` permet de créer la scène.

L'appel de la méthode `createActors` de la classe `CModel3D_PhysX` permet de créer les acteurs de la scène. Cette dernière contient les adresses des acteurs des classes `PxRigidDynamic` et `PxRigidStatic`.

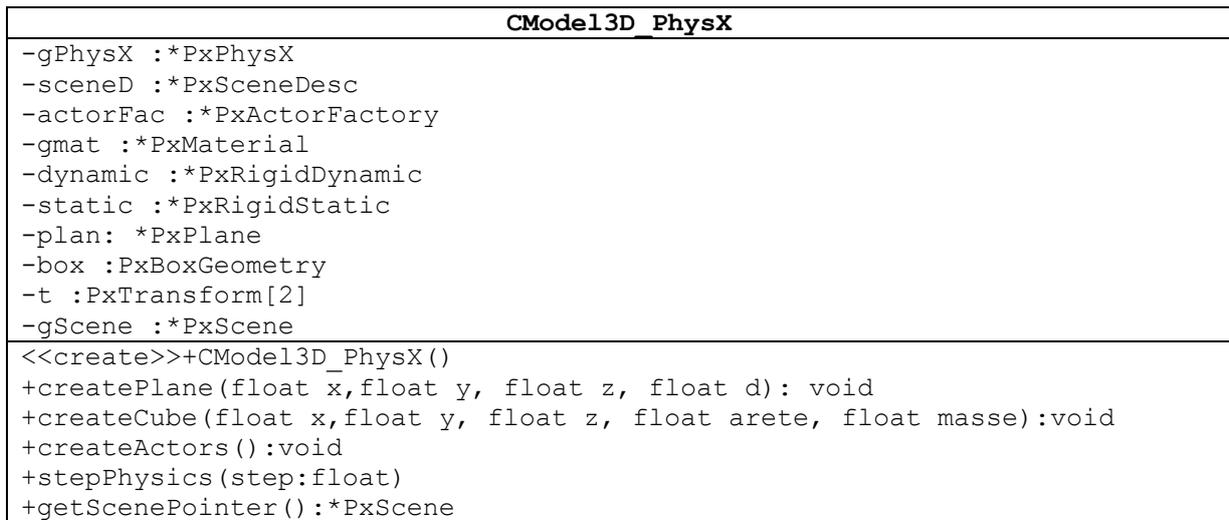
La méthode `rendersActor3D` de la classe `CRendu_3D_2D_OpenGL` assure le rendu 3D.

### Q19 Relation de composition et programme principal de l'application de base

L'objet « rendu » de la classe `CRendu_3D_2D_OpenGL` contient l'objet `mod3d` de la classe `CModel3D_PhysX`.

```
void main()
{
    CRendu_3D_2D_OpenGL rendu ;
}
```

## Q20 Diagramme UML de la classe CModel3D\_PhysX



## Q21 Deuxième objet créé dans l'application de base

a) le deuxième objet créé découle de l'instanciation de la classe CModel3D\_PhysX.

b) les objets créés directement dans son constructeur sont issus des classes :

- PxPhysX ;
- PxSceneDesc.

c) les méthodes appelées de cet objet sont :

- createActors qui permet de créer le cube (instanciation de la classe PxRigidDynamic) via la méthode « createCube » et le plan (instanciation de la classe PxRigidStatic) via la méthode createPlane ;
- stepPhysX qui permet de lancer la simulation à chaque pas de temps (step) ;
- getScenePointer qui permet de récupérer l'adresse de la scène pour le rendu 3D effectué par l'objet CRendu\_3D\_2D\_OpenGL.

## Q22 Hiérarchie de classes

a) la classe au sommet de la hiérarchie est la classe PxBase qui est dérivée pour obtenir la classe PxActor qui à son tour est dérivée pour obtenir la classe PxRigidActor.

```
PxBase←PxActor←PxRigidActor
```

La dérivation de la classe PxRigidActor produit deux classes filles: PxRigidStatic et PxRigidBody.

```
PxRigidActor←PxRigidStatic
```

```
PxRigidActor←PxRigidBody
```

La classe PxRigidBody est dérivée pour produire la classe fille PxRigidDynamic.

```
PxRigidBody← PxRigidDynamic
```

b) l'application de base utilise les classes PxRigidStatic et PxRigidDynamic.

### Q23 Principe de construction des objets 3D

- a) l'instanciation des classes `PxRigidBody` et `PxRigidDynamic` est impossible car ce sont des classes abstraites. Pour `PxRigidStatic`, le constructeur est protégé, on ne peut pas l'instancier.
- b) la dérivation de ces classes est impossible car les constructeurs sont protégés.
- c) les instanciations sont réalisées par la classe `PxActorFactory` et ses méthodes associées à chaque type d'acteur.  
L'appel de sa méthode `PxCreateDynamic` retourne l'adresse d'un objet du type `PxRigidDynamic`.  
L'appel de sa méthode `PxCreateStatic` retourne l'adresse d'un objet du type `PxRigidStatic`.
- d) l'intérêt est de faciliter la construction des objets partiellement paramétrés par le constructeur d'objet (Factory). C'est l'un des `design pattern` utilisé en programmation orientée objet.

### Q24 Méthode `addActors`

Le prototype de cette méthode s'écrit :

`addActors(PxActors *actor)` : en vertu du polymorphisme en programmation orientée objet, toutes les classes dérivées de la classe `PxActors` peuvent être passées en paramètre de cette méthode. La variable `*actor` est alors considérée comme un pointeur polymorphe. Les deux acteurs sont le cube (`PxRigidDynamic`) et le plan (`PxRigidStatic`).

### Q25 Méthode `createCube` et `createActors`

En conservant la méthode `createCube`, la méthode `createActors` devient :

```
void CModel3D_PhysX::createActors ()
{
    this->createPlane(0, 1, 0, 0);
    float hmax = 24, hmin = 2;
    unsigned char i,N=50;
    for (i=0;i<N; i++)
    {
        this->createCube(-2., (float) ((hmax-hmin)*i)/float(N-
1)+hmin, 3., 0.10);
    }
}
```

### Q26 Méthodes définissant la position et l'orientation d'un objet 3D

a) à la création des objets avec les méthodes :

`PxCreateDynamic(...)` et `PxCreateStatic(...)`

Avec le mutateur de la classe mère `PxRigidBody` :

`setGlobalPose(...)`

b) un objet de la classe `PxTransform` est composée :

- d'un objet de la classe `PxVec3` permettant de définir la position dans l'espace d'un objet 3D ;
- d'un objet de la classe `PxQuat` permettant de définir l'orientation dans l'espace d'un objet 3D.

### Q27 Quaternions dans PhysX

a) produit d'un quaternion avec son conjugué

D'après le produit de deux quaternions :

$$q_1 q_2 = (\omega_1 \omega_2 - \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2, \omega_1 \vec{v}_2 + \omega_2 \vec{v}_1 + \vec{v}_1 \times \vec{v}_2)$$

En considérant :

$$q = (\omega + \vec{v}) \text{ et } \bar{q} = (\omega - \vec{v})$$

Le produit devient :

$$q \bar{q} = (\omega^2 + \vec{v} \cdot \vec{v}, -\omega \vec{v} + \omega \vec{v} - \vec{v} \times \vec{v})$$

Or

$$-\omega \vec{v} + \omega \vec{v} - \vec{v} \times \vec{v} = \vec{0} \text{ et } \vec{v} \cdot \vec{v} = x^2 + y^2 + z^2$$

Par conséquent :

$$q \bar{q} = \omega^2 + x^2 + y^2 + z^2 = |q|^2 = 1$$

b) calcul du quaternion pour  $\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j}$  et  $\theta = \frac{\pi}{4}$

$$q = \cos \frac{\theta}{2} + \left( \sin \frac{\theta}{2} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = 0.928 + 0.27\vec{i} + 0.27\vec{j} + 0$$

### Q28 Utilisation des quaternions et des matrices de rotation

Les quaternions sont utilisés pour les calculs d'orientation des objets dans PhysX car plus intuitif pour le développeur.

OpenGL utilise les matrices de rotation pour réaliser le rendu 3D.

### Q29 Conversion quaternion vers matrice

La classe `PxMat44` avec son constructeur `PxMat44 (PxTransform)`.

### Q30 Relation physique-programmation

a) relations entre variables et méthodes C++

$m$	<code>setMass, getMass</code>
$\vec{v}$	<code>setLinearVelocity, getLinearVelocity</code>
$\vec{J}$	<code>setMassSpaceInertia, getMassSpaceInertia</code>
$\vec{T}$	<code>addTorque</code>
$\vec{\omega}$	<code>setAngularVelocity, getAngularVelocity</code>
$\vec{F}$	<code>addForce</code>

b) frottement fluide linéaire

La méthode `setLinearDamping` permet d'ajouter une force de frottement proportionnel à la vitesse linéaire. Le modèle du corps rigide indéformable contient nativement cette force de frottement.

c) frottement fluide quadratique

Cette force n'est pas implémentée dans le modèle du corps rigide indéformable.

Grâce à la méthode `getLinearVelocity`, la vitesse à chaque pas de temps est accessible en valeur.

Il faut utiliser la méthode `addForce` et passer en paramètre une expression proportionnelle à la vitesse linéaire au carré.

Par exemple, en considérant un objet `rD` de la classe `PxRigidDynamic` :

```
double coef=0.05;
rD.addForce(coef*rD.getAngularVelocity*rD.getAngularVelocity);
```

### Q31 Modèle de traction

a) relations

Moteur (engine)	<code>PxVehicleEngineData</code>
Embrayage (clutch)	<code>PxVehicleClutchData</code>
Boîte de vitesse (gearbox)	<code>PxVehicleGearsData</code>
Différentiel	<code>PxVehicleDifferential4WData</code>
Roues	<code>PxVehicleWheelsSimData</code> <code>PxVehicleWheelData</code> <code>PxVehicleTireData</code>

b) le constructeur de la classe `PxVehicleDrive4W` est protégé. Il n'est pas possible d'instancier cette classe. La solution est d'utiliser la méthode statique `create` de cette classe. L'appel s'effectue avec l'opérateur de résolution de portée (`::`) :

```
PxVehicleDrive4W::create(...)
```

Les classes nécessaires sont :

- `PxPhysics` ;
- `PxRigidDynamic` ;
- `PxVehicleWheelsSimData` ;
- `PxVehicleDriveSimData4W`.

### Q32 Relation d'amitié

L'instruction ci-dessous est suffisante pour définir l'amitié entre deux classes. Elle doit être écrite dans le fichier de définition de la classe acceptant l'amitié (`classe2`).

```
friend class Classe1;
```

### Q33 Propriétés de l'amitié

Cette relation n'est pas bidirectionnelle : si `classe1` est amie avec `classe2`, la réciproque n'est pas vraie.

Cette relation n'est pas transitive : si `classe1` est amie avec `classe2` et `classe2` est amie `classe3`, `classe1` n'est pas amie avec `classe3`.

En cas d'héritage, l'amitié n'est pas héritée. En effet, l'amitié est déclarée explicitement dans la classe qui reçoit cette amitié (`classe2`) en précisant le nom de la classe, i.e., `classe1`. Si une classe `classe4` hérite de `classe1`, la définition de `classe2` reste inchangée, `classe4` ne devient pas amie avec `classe2`.

### Q34 Création du véhicule

a) en utilisant la méthode statique `create` de la classe `PxVehicleDrive4W` :

```
PxVehicleDrive4W
*vehDrive4W=PxVehicleDrive4W::create (physics, veh4WActor, wheelsSimData, driveSi
mData, nbNonDrivenWheels) ;
```

b) assignation vitesse maximale du moteur

Les données membres de la classe `PxVehicleEngineData` sont publiques. La modification s'effectue par affectation directe :

```
engine.mMaxOmega=628;
```

Le membre `mDriveSimData` de la classe `PxVehicleDrive4W` est public. L'accès en lecture/écriture est autorisé.

Cet objet est du type `PxVehicleDriveSimData4W`.

Par héritage, cet objet possède la méthode `setEngineData` de la classe mère `PxVehicleDriveSimData` qui prend comme paramètre un objet du type `PxVehicleEngineData`. L'instruction permettant l'assignation de la nouvelle vitesse maximale s'exprime selon l'expression suivante :

```
vehicleDrive4W→mDriveSimData.setEngineData(engine) ;
```

c) héritage de l'amitié

- déclaration du membre `mEngine` (`protected`) dans la classe mère du type de la classe acceptant l'amitié (`PxVehicleEngineData`). Ce qui permet à la classe fille de contenir ce membre également. Les méthodes de la classe fille peuvent modifier ce membre ;
- définition d'une méthode publique `setEngineData` de la classe mère permettant de modifier l'objet de la classe amie (`PxVehicleEngineData`). La classe fille appelle cette méthode pour modifier le membre du type de la classe amie avec la classe mère ;
- la relation d'amitié permet de mettre en relation des objets dont les durées de vie peuvent être différentes. Il suffit simplement de déclarer la classe amie dans la définition de la classe acceptant l'amitié.

Cependant, en cas d'héritage, il sera nécessaire de créer par des relations de composition les membres acceptant l'amitié dans la classe mère. Ce qui entraînera une architecture logicielle complexe et très peu modulaire.

### Q35 Analyse de la fenêtre de debug

a) hiérarchies de classes

- la première : `PxBase`, `PxVehicleWheels`, `PxVehicleDrive` et `PxVehicleDrive4W` ;
- la seconde : `PxVehicleDriveSimData`, `PxVehicleDriveSimData4W` ;
- la troisième (non visible mais implicite) : `PxActor`, `PxRigidActor`, `PxRigidBody`, `PxRigidDynamic`.

b) cohérence des résultats

La fenêtre de debug montre le contenu de l'objet `gVehicle4W` de la classe `PxVehicleDrive4W`.

Par héritage, cet objet contient les membres `mWheelsSimData`, `mWheelsDynData`, `mActor`, `mDriveDynData` respectivement associés aux classes `PxVehicleWheelsSimData`, `PxVehicleWheelsDynData`, `PxRigidDynamic` et `PxVehicleDriveDynData`.

Le membre `mDriveSimData` apparaît conformément au diagramme de classes.

Ce dernier contient les objets des classes `PxVehicleEngineData`, `PxVehicleGearsData` et `PxVehicleClutchData` par héritage.

Par ailleurs, il contient par amitié les objets des classes `PxVehicleDifferential4WData` et `PxVehicleAckermannGeometryData`.

c) différences avec le diagramme de classes

- la classe `PxVehicleAutoBoxData` n'est pas représentée dans le diagramme UML ;
- la classe `PxVehicleDriveDynData` amie de la classe `PxVehicleDrive` n'est pas représentée dans le diagramme UML ;
- la classe `PxVehicleWheelsDynData` amie de la classe `PxVehicleWheels` n'est pas représentée dans le diagramme UML ;
- les objets des classes `PxVehicleAntiRollBarData`, `PxVehicleTireData`, `PxVehicleSuspensionData` et `PxVehicleWheelData` n'apparaissent pas dans la fenêtre de debug car elles sont contenues dans le membre `mWheelsSimData` ;
- l'amitié entre `PxVehicleDrive4W` et `PxVehicleWheelsSimData` n'apparaît pas dans la fenêtre de debug.

### Q36 Matrices de rotation et de translation

Une solution possible peut être une rotation de 90° dans le sens trigonométrique autour de l'axe y suivie d'une translation de (-0,2 ; 0 ; 0,4).

La matrice de rotation s'exprime :

$$[R] = R_y(90) = \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matrice de translation s'exprime :

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -0,2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Q37 Calcul de la transformation du point A

$$[G] = [T][R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -0,2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -0,2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[G]A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -0,2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0 \\ 0,1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,1 \\ 0 \\ 0,3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

La transformation du point A fonctionne et est correcte.

**Q38 Objets centrés sur l'origine**

De manière générale, les objets sont créés individuellement, centrés à l'origine, et sont ensuite correctement placés (translation / rotation / taille) par la matrice de transformation, ce qui permet par exemple de créer plusieurs instances du même objet à des positions différentes, en utilisant un seul et même objet 3D.

**Q39 Positionnement de la caméra**

```
gluLookAt(0,0,0,0,0,1,0,1,0);
```

**Q40 Coefficients de la matrice de point de vue**

$$F = \begin{bmatrix} \text{centerX} - \text{eyeX} \\ \text{centerY} - \text{eyeY} \\ \text{centerZ} - \text{eyeZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 - 0 \\ 0 - 0 \\ 1 - 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$f = \frac{F}{\|F\|} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$UP = \begin{bmatrix} \text{upX} \\ \text{upY} \\ \text{upZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$UP'' = \frac{UP}{\|UP\|} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$s = f \times UP'' = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$u = f \times \frac{s}{\|s\|} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

**Q41 Matrice de point de vue**

$$M = \begin{bmatrix} s[0] & s[1] & s[2] & 0 \\ u[0] & u[1] & u[2] & 0 \\ -f[0] & -f[1] & -f[2] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Q42 Point A et matrice de point de vue**

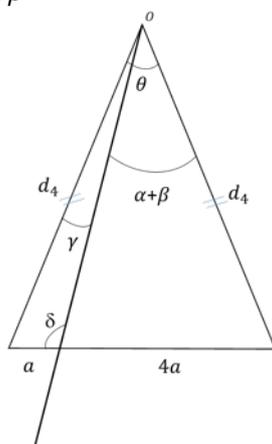
$$A' = [M]A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,1 \\ 0 \\ 0,3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0 \\ -0,3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

**Q43 Angles  $\alpha$  et  $\beta$** 

$$\alpha = \arctan \frac{d_3}{d_2} = \arctan \frac{9,1}{8,5} = 46,95^\circ$$

$$\beta = \arctan \frac{d_1}{d_2} = \arctan \frac{0,2}{8,5} = 1,35^\circ$$

**Q44** Expression de  $\gamma$  en fonction de  $\alpha$  et  $\beta$



Nous nous intéressons au triangle isocèle où  $\alpha + \beta$  est connu et fixé à  $46,95 + 1,35 = 48,3^\circ$ .

Par la loi des sinus, on obtient

$$\frac{d_4}{\sin(\delta)} = \frac{a}{\sin(\gamma)}$$

Dans l'autre triangle, par cette même loi :

$$\frac{4a}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{d_4}{\sin(\pi - \delta)}$$

Par composition, substitution de  $d_4$ :

$$d_4 = \frac{a \sin(\delta)}{\sin(\gamma)} = \frac{4a \sin(\pi - \delta)}{\sin(\alpha + \beta)}$$

En simplifiant par  $a$ , il reste :

$$\frac{\sin(\delta)}{\sin(\gamma)} = \frac{4 \sin(\pi - \delta)}{\sin(\alpha + \beta)}$$

D'où

$$\sin(\gamma) = \frac{\sin(\alpha + \beta) \sin(\delta)}{4 \sin(\pi - \delta)} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{4}$$

Il vient :

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha + \beta)}{4}\right)$$

**Q45** Valeur de  $\gamma$  et  $\theta$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha + \beta)}{4}\right) = 10,76^\circ$$

$$\theta = \alpha + \beta + \gamma = 46,95 + 1,35 + 10,76 = 59,06^\circ$$

**Q46** Rôle des distances proche et lointaine

Le fait d'imposer une distance proche et une distance lointaine facilite la transformation mathématique de la perspective car les 2 plans parallèles formés délimitent un solide fini (tronc géométrique). Ce solide de 8 sommets avec 2 plans parallèles est beaucoup plus simple à transformer en un cube normalisé qu'un volume non borné.

De plus, la définition d'une distance lointaine permet d'éliminer instantanément tous les objets trop lointains de la scène, ce qui permet d'accélérer les calculs.

Enfin, la distance proche permet d'éviter des problèmes de précision de perspective qui pourraient intervenir en divisant par des coordonnées trop proches de l'origine.

#### Q47 Programmation opengl : matrice de perspective

```
// Création de la matrice de perspective
double zFar = 100; // Plan éloigné (100m)
double zNear = 0.1; // Plan proche (10 cm)
double pRes[16];
// Définition de l'angle d'ouverture en radian

➔ double theta = 60*3.14156/180;
double cotantheta2 = 1.0/tan(theta/2);
// Remplissage de la matrice de projection qui doit être remplie colonne par
colonne, et non pas ligne par ligne (norme OpenGL)
➔ pRes[0] = cotantheta2 ;
➔ pRes[1] = 0;
➔ pRes[2] = 0;
➔ pRes[3] = 0;
➔ pRes[4] = 0;
➔ pRes[5] = cotantheta2 ;
➔ pRes[6] = 0;
➔ pRes[7] = 0;
➔ pRes[8] = 0;
➔ pRes[9] = 0;
➔ pRes[10] = (zFar + zNear) / ( zNear - zFar ) ;
➔ pRes[11] = -1;
➔ pRes[12] = 0;
➔ pRes[13] = 0;
➔ pRes[14] = (2 * zFar * zNear) / ( zNear - zFar ) ;
➔ pRes[15] = 0 ;
// Utilisation de la matrice de projection
glMatrixMode( GL_PROJECTION ) ;
glLoadIdentity();
glMultMatrixd(pRes);
// Angle de rotation en degré de la caméra autour de l'axe Y vertical au sol
double angleY = 162.11;
// Angle de rotation autour à l'axe X pour orienter la caméra vers le sol
double angleX = 25;
// Coordonnée de translation en mètres de l'origine à la position du
rétroviseur
double X = 0.2; // décalage du rétroviseur par rapport au flanc: 20cm
double Y = 2.15; // hauteur du rétroviseur sur le camion : 2m15
double Z = 0;
// Les angles de rotations et distances de translations doivent être négatifs
(car cela concerne une translation des sommets vers la caméra, et non une
transformation de la caméra elle-même)
double* pTransfo1 = GetTranslationGLMatrix(-X, -Y, -Z);
double* pTransfo2 = GetRotationGLMatrix(AXIS_X, - angleX);
double* pTransfo3 = GetRotationGLMatrix(AXIS_Y, - angleY);
// Multiplication de la matrice de projection par les matrices de mise en
place de la vue
➔ glMultMatrixd(pTransfo1);
➔ glMultMatrixd(pTransfo2);
➔ glMultMatrixd(pTransfo3);
// Utilisation de la matrice de transformation du modèle pour les opérations
suivantes de positionnement des objets 3D
glMatrixMode( GL_MODELVIEW )
```

#### Q48 Principe général des textures

Les textures sont des images que l'on va plaquer sur la surface d'un objet. Ces images sont composées de "pixels".

Pour pouvoir les plaquer sur les objets 3D, chaque sommet du maillage 3D de l'objet contient des coordonnées de texture, qui indiquent quel pixel appliquer sur l'image.

Ainsi, lors du rendu de l'objet 3D à l'écran, chacun des sommets de l'objet se voit attribuer un pixel qui indique comment le sommet doit être colorié. Tous les autres pixels sont calculés par interpolation lors de la rasterization.

#### Q49 Coordonnées d'un point dans une image inversée (miroir)

$$x = 1 - x$$

$$y = y$$

#### Q50 Effet « bombé »

Pour réaliser un effet bombé, il faut rapprocher les points proches du centre de l'image vers le centre de l'image. Pour réaliser cet effet, il faut que les coordonnées de texture du centre du rétroviseur soient resserrées de manière non linéaire sur l'image à plaquer.

La formule  $R = 1.0 - \exp(-D/0.05)$  apporte un ratio nul au centre et un ratio de 1 pour les bordures.

Les coordonnées de texture du centre de l'image ( $x=0.5, y=0.5$ ) conduisent à une distance  $D=0$  donc à un ratio nul. L'opération  $(coord-0.5)*R+0.5$  ne modifie pas les coordonnées de texture ( $x'=0.5, y'=0.5$ )

Les coordonnées de texture des bordures de l'image (par exemple  $x=1, y=0.5$ ) distants de  $0.5$  conduisent à un ratio  $R$  d'environ 1. Par l'opération  $(coord-0.5)*R+0.5$ , la coordonnée de texture reste en bordure l'image : ( $x'=1$  et  $y'=0.5$ )

En revanche pour une coordonnée de texture d'un point proche de  $0.1$  unités du centre de l'image (par exemple  $x=0.6, y=0.5$ ), cela conduit à un ratio  $R \approx 0.18$ . Par l'opération  $((coord-0.5)*R+0.5$  la coordonnée de texture devient ( $x'=0.518, y'=0.5$ ). La coordonnée de texture a bien été rapprochée du centre.

#### Q51 Carte graphique

Les cartes graphiques ont une architecture dédiée au calcul parallèle permettant une exécution de rendus d'images 3D beaucoup plus rapide.

#### Q52 Rôle des composants d'une carte graphique

Toutes ces étapes sont réalisées dans le PolyMorph Engine, il y en a 5 par cluster.

#### Q53 FPU

La FPU va gérer de manière native l'opération fused multiply add (multiplication suivie d'une addition avec arrondi). Cette opération est fréquemment appelée dans le calcul matriciel.

#### Q54 Mémoire cache

Le cache est une mémoire qui enregistre temporairement des copies de données provenant d'une source, afin de diminuer ultérieurement le temps d'accès en lecture du processeur à ces données.

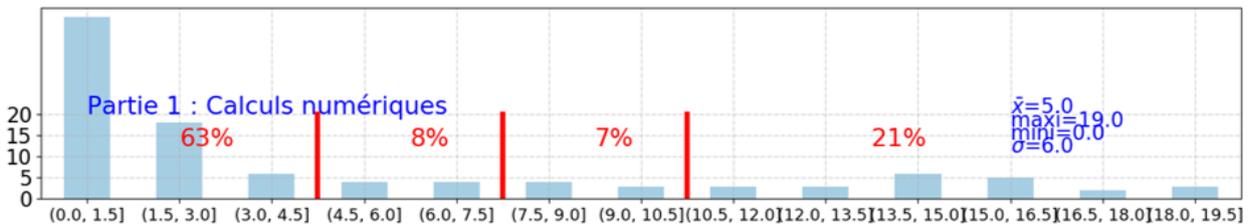
## D. Commentaires du jury

Ce sujet était composé de trois parties indépendantes, chacune couvrant des thématiques différentes.

La première partie traitait de la mise en œuvre d'un modèle numérique pour simuler le mouvement du liquide dans la cuve du camion-citerne. L'objectif de cette partie était de vérifier que les candidats maîtrisaient les concepts de base du calcul numérique lié à la modélisation d'un système physique par un système d'équations différentielles. Les méthodes numériques élémentaires (méthode d'Euler explicite, différences finies) sont abordées ainsi que leurs implémentations en Python (avec et sans bibliothèque dédiée). Le conditionnement matriciel d'un système d'équation est également abordé et les notions de stabilité sont discutées en comparaison avec d'autres méthodes de la littérature.

Cette partie a été traitée dans l'ensemble. Les résultats sont très hétérogènes avec de très bonnes copies. Cependant le jury regrette qu'une trop grande partie des candidats se présentent à l'épreuve en n'ayant qu'une maîtrise partielle des concepts fondamentaux de calcul numérique, qui pourtant, sont à la base de tous les logiciels de conception et de simulation pour l'ingénieur.

En normalisant les résultats obtenus sur cette première partie, il apparaît que seuls 21 % des candidats ont traité correctement au moins la moitié du questionnaire.



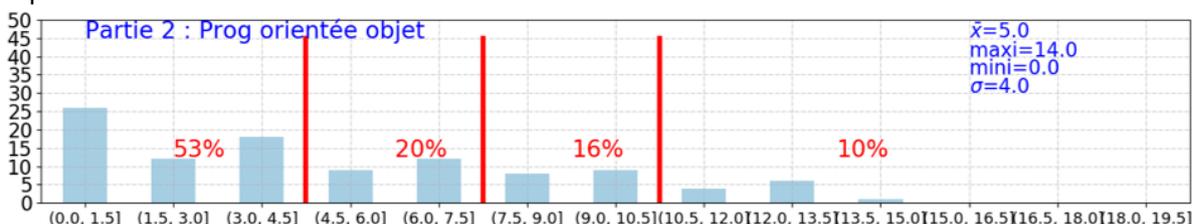
La seconde partie traitait de l'analyse des principes de programmation d'un logiciel professionnel simulant des phénomènes physiques.

Le logiciel servant de support au questionnaire était le moteur de rendu physique 3D *PhysX* de la société Nvidia. Il est utilisé dans le monde de la simulation et du jeu vidéo.

Programmé en C++, ce moteur de rendu met en œuvre de nombreux concepts de la programmation objet notamment ceux de composition, d'association, de classes abstraites, de factory pattern, de classes amies et d'héritage.

Pour cette analyse, il était fourni au candidat un ensemble de documents techniques permettant de comprendre la structure et le fonctionnement des programmes associés au simulateur : diagrammes de classes, diagrammes de séquences, exemples d'exécutions, captures d'écran de fenêtre de debug. Le traitement de cette partie nécessitait des connaissances en programmation objet et une capacité d'analyse. Les pré-requis physiques nécessaires à la compréhension du programme (principes de mécanique, quaternions) étaient rappelés.

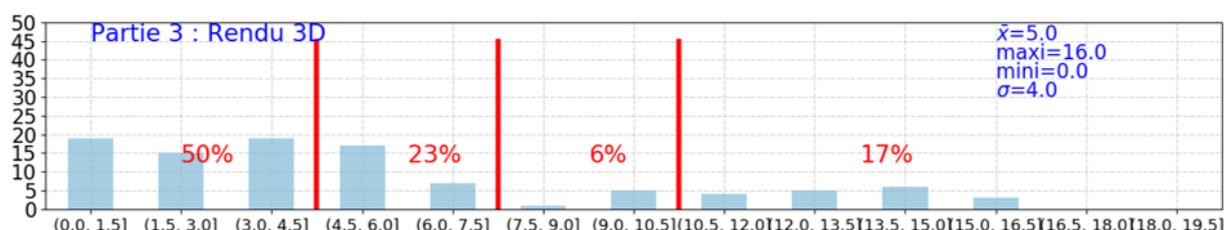
Le jury déplore un manque de connaissances et de capacité d'analyse sur ces concepts de la programmation orientée objet. Seuls 10 % des candidats ont traité correctement plus de la moitié de cette partie.



La dernière partie du sujet traitait de la modélisation 3D des objets physiques et du rendu des scènes en perspective. Le questionnement portait sur le rendu d'un rétroviseur grand angle sur le simulateur de camion-citerne.

Pour cette mise en œuvre, les concepts de transformation 3D de base sont d'abord traités sur des exemples simples puis avec les fonctions de base de la librairie OpenGL. Les notions de perspectives et de projection sont abordées autour d'un calcul d'angle d'ouverture d'une caméra virtuelle. La chaîne de rendu (textures, déformation par shaders, calculs sur une carte graphique) est principalement abordée à partir des documentations techniques du simulateur.

Cette partie a été abordée par bon nombre de candidats. Pourtant seulement 17 % d'entre eux ont traité correctement au moins la moitié du questionnement.



De manière générale et sur l'ensemble de cette épreuve, le jury constate que 55 % des candidats se présentent avec une préparation nettement insuffisante, que 35 % des candidats possèdent quelques pré-requis ponctuels ou superficiels mais les résultats restent faibles et sont liés à un manque d'efficacité ou de connaissances sur l'ensemble des thématiques proposées.

En revanche 10 % d'entre eux se sont présentés avec un niveau et une couverture suffisante des thématiques.

## E. Résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve sont données ci-dessous.



# Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 19 avril 2013 et arrêté du 19 avril 2016

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

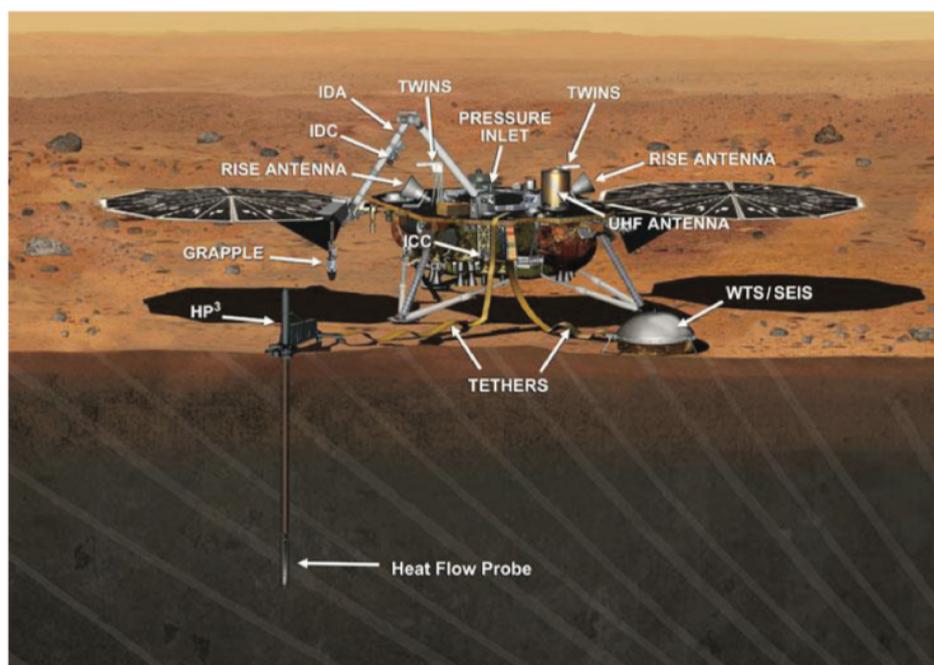
À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie.

## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation\\_externer/88/1/s2019\\_agreg\\_externer\\_sii\\_informatique\\_3\\_1093881.pdf](http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externer/88/1/s2019_agreg_externer_sii_informatique_3_1093881.pdf)

Le programme spatial InSight de la NASA a abouti au lancement d'un Lander en mai 2018. Sa mission est d'étudier la structure interne de la planète Mars et d'essayer de répondre à la question de la compréhension des processus qui ont façonné les planètes rocheuses du système solaire, y compris la Terre, il y a plus de quatre milliards d'années. C'est dans ce contexte scientifique que le CNES a réalisé et réalise des tests de fonctionnement sur plusieurs modèles d'instrument de mesure des phénomènes sismiques. Ce sujet s'intéresse à différentes parties du banc de tests et du sismomètre.



## C. Éléments de correction

Première partie : Choix d'architecture

### Question 1 :

Pour SAD : GPU, FPGA

Pour Convolution : GPU-FFT, FPGA

Pour Correntropy : GPU, FPGA

Les 2 architectures les plus efficaces : GPU, FPGA

D'après le DT3, on remarque plus d'éléments de calcul dans les GPU(PT) et les FPGA(Cell) et une hiérarchie mémoire moins coûteuse.

### Question 2 :

Les éléments qui contiennent de la mémoire SRAM, caches et LUT.

### Question 3 :

	CPU simple cœur	CPU 8 cœurs	FPGA	GPU utilisant une librairie d'optimisation pour la FFT (GPU-FFT)	GPU
Méthode (TMR TriPLICATION ou reconfiguration dynamique)	TriPLICATION	TriPLICATION	TriPLICATION ou Reconfiguration Dynamique	TriPLICATION	TriPLICATION
Surface	++	++	++ pour la triPLICATION - pour la reconfiguration	++	++
Temps	-	-	- pour la triPLICATION + pour la reconfiguration	-	-

### Question 4 :

Avantage : Souplesse d'un système informatique qui peut exploiter successivement des programmes différents.

Inconvénients : Pas de déterminisme dans l'exécution des tâches.

Ordonnancement des tâches moins puissant car lié à l'exécution du logiciel et non directement de matériel. Pas reconfigurable. Peu fiable.

Non, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à un système d'exploitation car on a des contraintes liées au système embarqué dans le spatial qui nécessite :

- une meilleure exploitation du composant ;
- une réduction de surface de silicium employée ;
- et donc du coût ;
- une évolutivité assurant la possibilité de couvrir à terme des besoins nouveaux sans nécessairement repenser à l'architecture dans sa totalité. L'un des points forts de la RTR est effectivement de permettre de reconfigurer en temps réel en quelques microsecondes tout ou une partie du circuit, c'est-à-dire permettre de modifier la fonctionnalité d'un circuit en temps quasi réel. Ainsi le même CLB pourra à un instant donné être intégré dans un processus de filtrage numérique d'un signal et l'instant d'après être utilisé pour gérer une alarme.

### Question 5 :

Avec un FPGA : directement

Avec un CPU : à travers un Bus d'interface et par un unique bus de données E/S

Avec un GPU : à travers un CPU et un bus PCI-express

### Question 6 :

Le FPGA est le composant le plus adapté pour ce genre de mission spatiale car :

- fiable et performant : les FPGA, qui n'utilisent pas de système d'exploitation, minimisent les problèmes de fiabilité car ils assurent une exécution véritablement parallèle et un matériel déterministe dédié à chaque tâche ;
- adaptable => environnements incertains, tolérances aux fautes ;
- tolérant aux pannes => identification des zones défailtantes et reconfiguration sur les parties opérationnelles ;

- possibilité d'entrées/sorties adaptée au contexte ;
- intéressant au niveau du coût ;
- consomme très peu d'énergie ;
- surface faible.

Deuxième partie : Architecture logicielle du banc de tests

Question 7 :

Un nœud est une ressource matérielle du système. En général, cette ressource possède au minimum de la mémoire et parfois aussi des capacités de calcul. Les ressources matérielles sont quelquefois représentées avec le stéréotype <<device>> (généralement plutôt les périphériques mais également tout système). Tout l'instrument SEIS et pas l'E-Box seule.

Un lien de composition est un lien « d'agrégation fort », l'équivalent d'un lien relatif dans un MDC, il signifie que si on détruit le sismomètre, il n'y a plus de données SP, VBB, SCIT ou Housekeeping.

Question 8 :

Dans la classe Housekeeping\_Controller car c'est une méthode propre au traitement des données Housekeeping.

On pourrait ajouter une classe Communication Serie à la place de Device pour prendre en compte toute la communication RS422.

Question 9 :

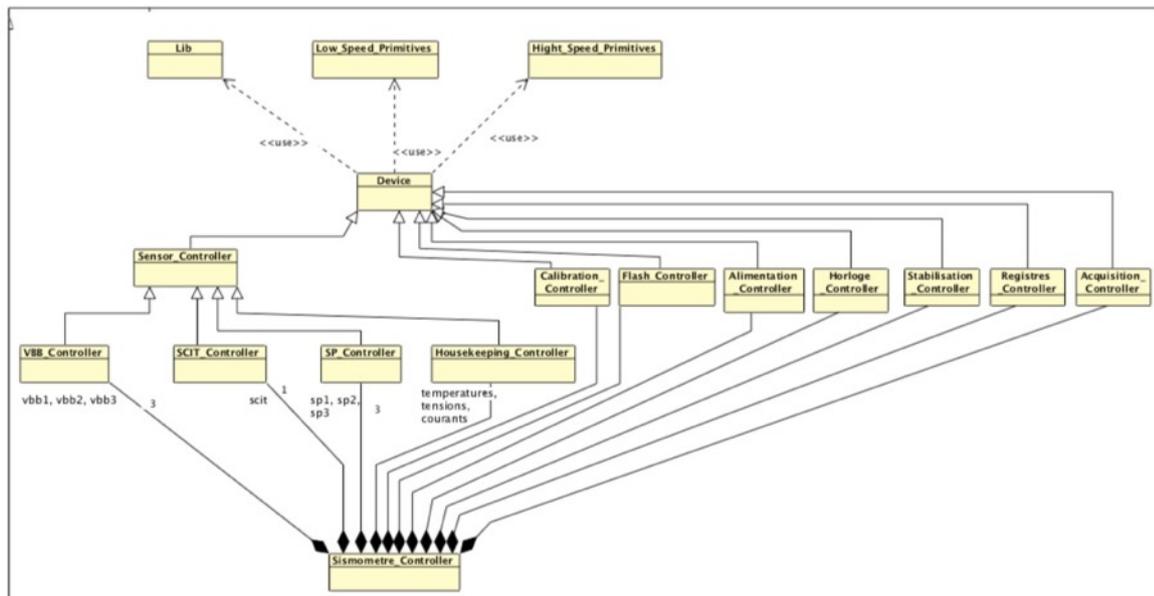
C'est un lien d'héritage. SP\_Controller hérite de Sensor\_Controller.

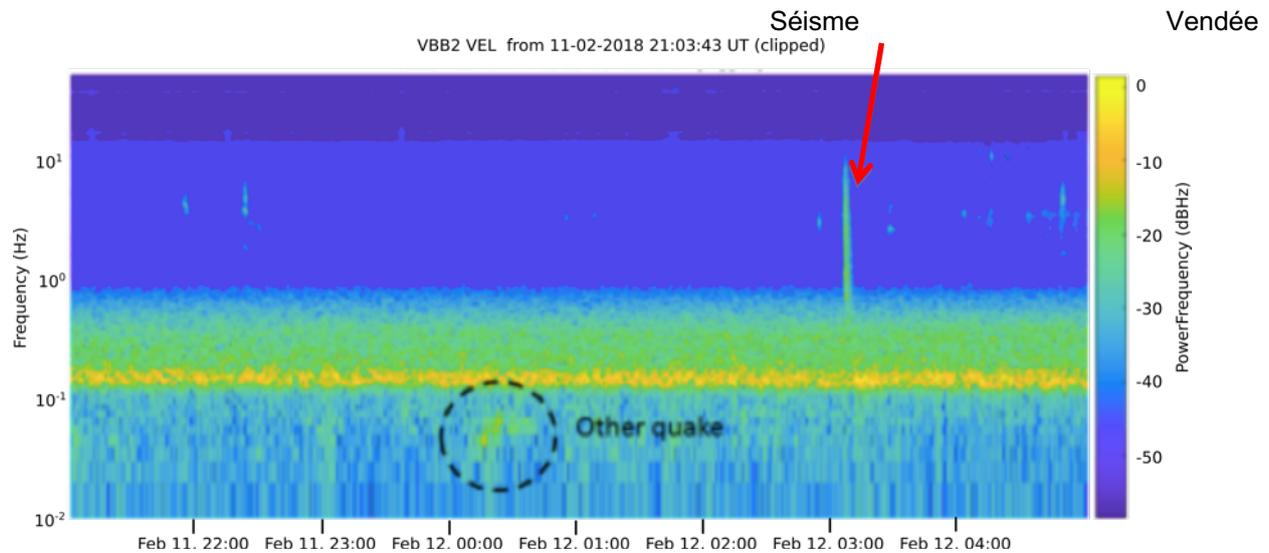
3 est la cardinalité du lien de composition. Cela signifie que la classe VBB\_Controller définit 3 instances.

Question 10 :

Oui si l'attribut est déclaré public.

Question 11 :



Question 12 :

On voit bien le séisme sur les paquets Science récupérés en High-Speed dont l'acquisition Velocity VBB2 était configurée à 100 Hz. Autour de 3h10.

Question 13 :

Bit le moins significatif :  $FS/2^{24} = (V_{ref}/2) / 2^{24} = V_{ref}/2^{25} = 0,15 \cdot 10^6 V$

Plus grande tension : +2,5 et Plus petite tension : -2,5 V

Question 14 :

La fréquence d'acquisition des signaux est <1Hz soit une longue période d'environ 1s = 1 000 ms ;

Le temps de conversion est en moyenne au plus court de 66,9 ms.

Donc le convertisseur peut convenir en mode 2xspeed 50 Hz ou 60 Hz.

Les signaux VBB sont des signaux avec une fréquence inférieure à 1 Hz, le convertisseur a un temps de conversion d'environ 80 ms ce qui est suffisant.

Question 15 :

Ce capteur correspond au besoin de l'E-Box en termes de CAN pour les 3 sismomètres longue période VBBs pour mesurer l'accélération selon 3 axes inclinés à basse fréquence (< 1 Hz).

Aux vues des réponses précédentes, le CAN est suffisant. Il sait convertir des données sur 24 bits avec une fréquence de conversion compatible avec les signaux VBB.

Question 16 :

Lecture un échantillon de chaque canal Housekeeping :

- SEIS\_READ\_HK (1 échantillon de chaque canal HK)
- 0x3D

Question 17 :

Code VHDL Mae UART

EtatPresent IS

```

WHEN Etat0 =>          b <= '1';
                        EtatFutur <= Etat1 (S8);
                        b <= '0';
                        IF (a = '1') THEN
                            EtatFutur <= Etat2 (S2);
                        ELSIF (a = '0') THEN

```

```

                                EtatFutur <= Etat1 (S8);
                                ELSE
                                EtatFutur <= Etat1 (S8);
                                END IF;
WHEN Etat2 =>                    b <= '0' ;
                                EtatFutur <= Etat3 (S3)
WHEN OTHERS =>                  EtatFutur <= Etat0 (S5);

```

Question 18 :

```

void initialisation_uart()
{
    uart_init(57600) ;
    uart_putchar(0X41) ;
    uart_putchar(0X42) ;
    uart_putchar(0X43) ;
    uart_putchar(0X44) ;
}

```

Question 19 :

- SEIS\_GET\_ERROR\_FLAGS (0x0C)
- SEIS\_GET\_ACQ\_STATUS (0x13)

Quatrième partie : Communication entre l'e-Box et le Lander

Question 20 :

Le Checksum est constitué en calculant le complément à 1 sur 16 bits de la somme des compléments à 1 des octets de l'entête et des données pris deux par deux (mots de 16 bits).

Ils portent sur les champs de la trame suivant : IP Source, IP Destination, IP PROTOCOL, UDP Length, UDP Source, UDP Destination, UDP Length, All CIP headers, All IDP data portions.

L'algorithme du DT6 accepté si expliqué.

Question 21 :

L'adresse IP C&DH (source pose la question) : 192.168.1.1

L'adresse IP Instrument (destination répond à la question à travers l'E-Box) : 192.168.1.2

Question 22 :

Un NOOP : C&DH vérifie par un ping (commande NOOP) à travers l'E-Box que l'instrument SEIS est en fonctionnement.

Donc C&DH vers SEIS.

Question 23 :

La trame du C&DH vers l'instrument :

```

IP_header_to_instrument          =          IP_Header_t(srcAddr=IP_ADDRESS_CONTROLLER,
destAddr=IP_ADDRESS_INSTRUMENT)

```

La trame de l'instrument vers C&DH :

```

IP_header_to_controller          =          IP_Header_t(srcAddr=IP_ADDRESS_INSTRUMENT,
destAddr=IP_ADDRESS_CONTROLLER)

```

Question 24 :

L'intérêt pour la RS422 est son mode différentiel qui offre des qualités de transmission et une bonne immunité aux perturbations.

Question 25 :

1 bit de start +1 octet de donnée + 1 bit de parité + 1 bit de stop = 11 bits.

Question 26 :

En fait, l'octet dont la parité n'est pas correcte est rejeté ce qui nous ramène un paquet IP/UDP/CIP incomplet et mal formé, la première erreur détectée est le non-respect du multiple de 32 bits (4 octets), puis les checksum IP header ou UDP.

Question 27 :

Sachant que le débit de la transmission Low-speed est de 57 600 bauds, la taille d'un paquet est notée Tp. Sa valeur minimale est de 40 octets et sa valeur maximale est de 1 876 octets.

Le temps de transmission entre les deux trames de commande et de réponse (donnée) est de 20 ms =T  
On a  $T_{px11}$  (bit start, parité, bit stop, un octet) en bits = charge utile en bits.

Temps de transmission complet théorique (émission, temps entre les deux transmission, réception) :  
 $2x((T_{px11})/57600)+0,02 = 20,38xTp$  ms.

Question 28 :

Deux trames seront échangées :

	IP Header	UDP header	CIP Header	IDP
Commande RESET de C&DH -> E-BOX	20 octets	8 octets	8 octets	<b>0x02, 0x000000</b>
Réponse EBOX -> C&DH	20 octets	8 octets	8 octets	<b>0x00, 0x02, 0X0000</b>

Question 29 :

La socket de l'E-Box est passive, elle attend les requêtes et fournies les réponses.  
L'E-Box est le serveur et le C&DH le client qui pose des requêtes ou commandes.

Question 30 :

Le code décrit un serveur. Le serveur E-Box attend la requête du client C&DH. La requête pourra contenir une commande. Le client est en mode non connecté.

Ce programme crée un socket serveur en mode non connecté, affecte un port et lit une donnée.

Question 31 :

Ces protocoles propriétaires permettent à la NASA de rester maître des communications mais aussi de simplifier et d'uniformiser les échanges de données à l'intérieur du lander ainsi qu'avec la Terre.

Cinquième partie : Gestion de la mémoire flash

Question 32 :

On a 32 bits de donnée.

La puissance de 2 la plus proche est  $2^6=64$ .

$32+6= 38$  bits +1 bit de vérification supplémentaire.

32 bits de donnée surveillée + 7 bits de contrôle soit 39 bits au total.

Position des bits de contrôle, ils se placent aux 6 positions de puissances de 2 :

$2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5$

Question 33 :

C'est plus de performance et de coût efficace pour corriger une erreur plutôt que de retransmettre les données.

L'intérêt d'utiliser le bit supplémentaire est de détecter plus d'une erreur et donc d'améliorer la performance en termes de cohérence des données transmises.

Question 34 :

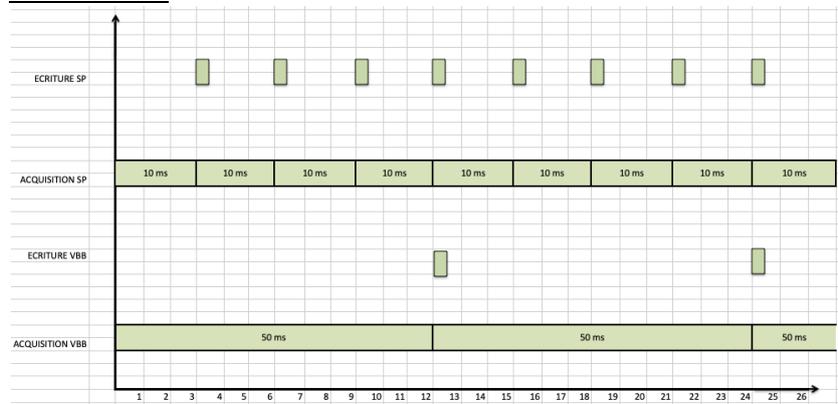
On a 1s d'échantillonnage de paquet de science correspondant à 1 page, 1 bloc correspond à 64 pages → 64 pages correspondent à 64 s, donc on a un bloc mémoire qui correspond à 64 s. Pour 3 711 blocs alloués, on a  $64 \times 3\,711 = 237\,504$  s et en heure :  $237\,504/3\,600 = 65,97333333$  : 65h58mn et 24s.

Question 35 :

La tri-plexion intervient sur des données critiques qui sont donc enregistrées sur 3 emplacements en même temps et qui ont été soumises aux contrôles de détection et de correction d'erreurs de Hamming. Influence sur le flux de données : ralentir l'écriture et la lecture des données entre C&DH – E-Box et entre E-Box - C&CH.

Sixième partie : La cohérence de données

Question 36 :



On peut pipeliner acquisition et écriture.

Question 37 :

13 ms => une acquisition à 100 Hz et une écriture mémoire de max 1 ms car tps exécution fonction 2 ms+ 10 ms acquisition + 1 ms écriture= 13 ms

Question 38 :

33 ms => les acquisitions se font en parallèle des écritures.  
 $10\text{ ms} + 10\text{ ms} + 10\text{ ms} + 2\text{ ms} + 1\text{ ms} = 33\text{ ms}$  car on pipeline les acquisitions et les écritures sur les deux premières écritures de SP.

Question 39 :

> 2 ms est la durée de l'exécution de la fonction de traitement.

Question 40 :

La taille du buffer circulaire doit au moins contenir une acquisition de 10 ms.  
1 ms correspond à l'écriture d'un bloc de 1 024 octets, pour 10 ms :  $10 \times 1\,024$  octets. Il faut au moins 10 blocs d'écriture pour une acquisition d'une mesure.

Question 41 :

P2 toutes les 40 ms, Trigger déclenché toutes les 40 ms.  
C'est la fréquence de la fonction de traitement soit 25 Hz = 40 ms.

Question 42 :

Meilleure synchronisation, temps de réaction maîtrisé.

Question 43 :

Un timer.

Question 44 :

En s'assurant temporellement qu'aucune donnée ne sera perdue.

## D. Commentaires du jury

Même s'il s'agit d'une épreuve en temps limité, le jury estime qu'un minimum de soin est à apporter à la présentation et à la rédaction ; ce n'est malheureusement pas toujours le cas. Certaines copies sont difficilement lisibles. Communiquer est une compétence particulièrement importante pour un futur enseignant.

Le sujet comporte six parties et couvre différents points du programme du concours. Il est à noter qu'un tiers des candidats n'a pas traité au moins une partie, cela laisse supposer que ces candidats ne maîtrisent pas tous les aspects du programme.

### Résultats par partie

		Barème %	Traité %	Réussite %
Partie 1	choix d'architecture matérielle de l'E-Box	17	98	42
Partie 2	conception de l'architecture logicielle du banc de tests	12	89	19
Partie 3	communication entre l'E-Box et le sismomètre	21	100	42
Partie 4	communication entre l'E-Box et le banc de tests	26	98	25
Partie 5	gestion de la mémoire flash	12	90	31
Partie 6	cohérence des données	12	82	0

Nota : les 32 premiers candidats ont mieux réussi que l'ensemble des personnes la partie 6 et la partie 3

Partie 1 réussie par 42 % des candidats.

Cette partie est essentiellement fondée sur l'étude des documents proposés dans le sujet. Elle nécessite d'organiser son raisonnement sous forme de tableau par exemple. Certaines réponses montrent qu'elles sont parfois basées sur des préjugés classiques, sans le fondement scientifique attendu.

Partie 2 réussie par seulement 19 % des candidats, 11% des candidats ne l'ont pas abordée.

La conception de l'architecture logicielle a été abordée de façon insuffisante par la plupart des candidats, la connaissance de la structure des diagrammes de classes n'est pas toujours bien maîtrisée.

Partie 3 réussie par 42 % des candidats et abordée par la totalité des candidats.

Cette partie portait sur la communication et notamment sur la fiabilité de celle-ci. On note que certains candidats confondent parfois les rôles de client et de serveur.

L'écriture du code VHDL n'est pas maîtrisée par la majorité des candidats, une écriture ayant du sens a toutefois été valorisée par le jury.

Partie 4 réussie par 25 % des candidats.

Pour la question 23, il s'agissait d'instancier une classe proposée en langage Python et nécessitait de compléter deux lignes de code. Comme pour d'autres langages, si l'ordre ou le nombre des paramètres n'est pas respecté, il est nécessaire de nommer ces paramètres lors de l'appel, beaucoup de candidats n'ont malheureusement pas instancié correctement cette classe.

Le traitement de la question 26 est majoritairement détourné par les candidats : il ne s'agissait pas d'expliquer le rôle du bit de parité, mais plutôt d'expliquer comment en cas d'erreur de transmission locale (sur Mars), il était possible au niveau du JPL (sur Terre) de détecter l'erreur alors que l'octet et donc encore moins sa parité n'était pas transmis ; la question numéro 20 portait pourtant sur le Checksum de la trame UDP, ce qui normalement aurait dû éclairer le candidat sur la réponse attendue.

Partie 5 réussie par 31 % des candidats, 10% ne l'ont pas traitée.

La connaissance de l'existence du code Hamming ne fait aucun doute, sa mise en œuvre est souvent correctement traitée. Par contre, le rôle du bit supplémentaire utilisé dans le cas présent, n'est pas toujours bien expliqué.

Partie 6 : aucun des candidats n'obtient la moitié des points attribués à cette question, 18% ne l'ont pas abordée.

Cette partie est la moins bien traitée. Beaucoup de candidats n'ont pas compris le principe d'acquisition / transfert des données et le séquençement qui en découle, pour chacune des trois approches. Certains ont essayé de décrire le fonctionnement d'une interruption en général, sans indiquer ce que son utilisation apporte, dans le cadre du système proposé.

En règle générale, les candidats ont des difficultés à adapter leurs connaissances au contexte spécifique du sujet.

Comme l'an dernier, le jury tient à préciser que l'informatique ne se limite pas au codage mais intègre aussi des éléments technologiques d'architecture logicielle et matérielle. Les communications numériques, dont les éléments les plus connus sont les protocoles TCP et IP, ont aussi une grande importance et les candidats doivent en maîtriser les bases.

## E. Résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve sont données ci-dessous.



# Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique

## A. Présentation de l'épreuve

### Texte de référence

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures, préparation de l'exposé : 1 heure, exposé : 30 minutes maximum, entretien : 30 minutes maximum)
- Coefficient 2
- 10 points sont attribués à la partie liée aux activités pratiques et 10 points à la partie liée à l'exposé et à l'entretien avec le jury.

L'épreuve fait appel à des connaissances technologiques et scientifiques communes à l'ensemble des options.

Le candidat est amené au cours de cette épreuve à élaborer **une séquence pédagogique dont le contexte est imposé**. Il doit notamment y intégrer le développement d'une séance à caractère expérimental. Elle sera construite autour d'activités pratiques proposées et réalisées par le candidat, sur un support didactique imposé.

Pour la session 2019, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D), du cycle terminal sciences de l'ingénieur de la voie scientifique (SSI) du lycée ainsi que celui des classes préparatoires aux grandes écoles.

Le support didactique fourni est un système pluritechnique qui permet une analyse systémique globale.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit à préciser certains points de sa présentation. Il est amené à expliquer et justifier les choix didactique et pédagogique qu'il a opérés notamment dans l'élaboration de la séquence de formation présentée ainsi que pour les contenus de la séance à caractère expérimental.

### Déroulement de l'épreuve

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de SII est de permettre d'évaluer chez les candidats leurs compétences pour s'inscrire dans la démarche d'un agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur capable d'élaborer une exploitation pédagogique à partir d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique.

Le titre d'une séquence pédagogique étant imposé, le candidat doit d'abord préparer la trame détaillée de la séquence en respectant le niveau de formation visé et les effectifs de la classe. Il doit ensuite répondre à une problématique technique et scientifique comprenant des activités pratiques. Le candidat prépare ensuite une séance à caractère expérimental s'inscrivant dans la séquence imposée, **les activités expérimentales proposées doivent être différentes de celles déjà effectuées pour répondre à la problématique technique et scientifique.**

Les compétences attendues par le jury sont pédagogiques, comportementales et scientifiques.  
Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- concevoir, organiser et décrire une séquence dans un contexte pédagogique imposé ;
- s'approprier un système réel ou un équipement et son environnement ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- analyser le comportement d'un système à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;
- savoir mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie.

L'évaluation du candidat s'effectue en trois phases :

### **Première phase – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée = 4h00)**

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 se déroule en quatre parties.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

#### ➤ **Première partie (durée : 0h45) – Réflexions pédagogiques sur la séquence imposée**

Pour cette première partie, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation dont le contexte pédagogique lui est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre de la séquence imposée ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression didactique liée à la formation visée ;
- du programme du niveau de formation visé ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du programme du niveau imposé en lien avec le titre de la séquence, et proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les prérequis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression didactique proposée et présentée. Le candidat doit justifier ses choix pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet ...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique, qui sera présenté et évalué lors de la troisième phase.

#### ➤ **Deuxième partie (durée : 0h30) – Prise en main du support**

Pour cette deuxième partie, les manipulations proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP. L'objectif de cette partie est de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

#### ➤ **Troisième partie (durée : 2h00) – Expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée**

Pour cette partie, le candidat doit répondre aux activités proposées afin de résoudre la problématique technique et scientifique, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation. L'exploitation des résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques...), la mise en évidence des écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et la proposition de solutions pour les réduire doivent permettre d'apporter une réponse aux problèmes posés.

➤ **Quatrième partie (durée : 0h45) – Élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Pour cette quatrième partie, le candidat doit décrire une séance à caractère expérimental s'insérant dans la séquence pédagogique en :

- situant la séance à caractère expérimental dans sa proposition de séquence pédagogique ;
- précisant l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
- décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves ;
- proposant et en mettant en œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux proposés dans la troisième partie ;
- explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

Pendant toute la durée de cette phase, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat doit donc entreprendre de réaliser de nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séance. Les examinateurs n'évaluent pas durant cette partie et sont disponibles en tant qu'assistant technique.

**Deuxième phase – Préparation de l'exposé (durée = 1h00)**

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent en complétant son support de présentation numérique. Le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques, c'est-à-dire, ni au système, ni aux modèles associés, ni aux logiciels de simulation, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors de la phase précédente qu'il aura stockés dans un espace dédié sur un serveur.

**Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée = 1h00)**

Le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur pour la présentation devant le jury.

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum sans intervention du jury. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes). L'exposé doit comporter :

- la description du contexte pédagogique imposé ;
- la présentation de ses réflexions pédagogiques et la justification de ses choix de modalités pédagogiques ;
- la présentation de la trame de la séquence pédagogique en y intégrant l'évaluation ;
- la présentation des savoir-faire et savoirs à transmettre dans chaque séance ;
- la justification de la pertinence du support didactisé dans un contexte pédagogique (durée maximale 5 minutes) ;
- la démarche mise en œuvre dans la séance à caractère expérimental ;
- la présentation d'une ou des activités que devraient mener les élèves durant la séance d'activités à caractère expérimental ;
- la présentation de la valeur ajoutée pédagogique dans la formation de la séance proposée.

**Utilisation des logiciels pendant l'interrogation :**

Aucun prérequis ne peut être exigé du candidat concernant l'utilisation d'un logiciel. Les consignes d'utilisation sont indiquées dans le sujet ou fournies oralement. Les modeleurs volumiques ne sont pas utilisés comme outil de conception de formes mais comme un outil de lecture de documents.

Les supports retenus lors de la session 2019 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- robot collaboratif ;
- monture de télescope ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- robot haptique.

## **B. Commentaires du jury**

### **• Analyse des résultats**

Les candidats préparés mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique pédagogique demandée. Le déroulement de la séquence pédagogique est structuré et cohérent. Ils positionnent convenablement la séance à caractère expérimental en présentant de nouvelles activités pratiques qu'ils ont réalisés durant la 4<sup>ème</sup> partie de la première phase. Les prérequis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats ont généralement produit une présentation orale de qualité. La conduite des expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique est traitée par la majorité des candidats.

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la 3<sup>ème</sup> partie de la première phase sont souvent reprises dans la séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

### **• Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats**

#### **Phase 1 : première partie - réflexions pédagogiques sur la séquence imposée**

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences visées sont peu ciblées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation est souvent absente de la séquence.

Le jury attend une séquence pédagogique structurée en lien avec la thématique proposée. Elle doit faire apparaître les prérequis, les compétences et connaissances visées, le positionnement temporel, le déroulement des différentes séances la constituant et l'évaluation adéquate.

Les outils et méthodes de l'ingénierie pédagogique doivent être connus et maîtrisés. Le jury ne peut se satisfaire d'un exposé de pédagogie formel ou d'une récitation d'un extrait de programme. Il souhaite qu'il soit fait preuve d'imagination et de créativité dans le contenu pédagogique présenté afin de susciter l'intérêt et la motivation des élèves.

Pour les futures sessions, le jury conseille aux candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs des formations dont peuvent être issus les contextes pédagogiques imposés : enseignement de spécialité « sciences de l'ingénieur », enseignements technologiques de

spécialités du cycle terminal STI2D et enseignement « sciences de l'ingénieur » des CPGE. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettront de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

### **Phase 1 : deuxième partie - prise en main du support**

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'appropriier le support du travail pratique et de la problématique technique et scientifique proposée. Les candidats disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource, ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

### **Phase 1 : troisième partie - expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée**

Pour cette phase, le jury tient à porter à l'attention des candidats les points suivants :

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralité permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes d'énergie et d'information, diagrammes SysML) ;
- une bonne culture personnelle pluritechnique, fondée sur l'observation et l'analyse de systèmes variés et modernes, est indispensable.

Le candidat est amené à :

- utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés ;
- mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, logiciels de simulation, modéleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation...).

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée.

Lors des activités pratiques, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corrélérer les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;

- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires SI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des sciences industrielles de l'ingénieur.

### **Phase 1 : quatrième partie - élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats ;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées.

Le candidat doit développer une séance expérimentale contextualisée, positionnée avec pertinence dans la séquence pédagogique proposée. Il est attendu la description des activités proposées aux élèves. La configuration pédagogique choisie doit être justifiée.

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis. Ils doivent être différents de ceux réalisés lors de la troisième partie « expérimentations » tout en utilisant le système de l'épreuve. Des modalités d'évaluation doivent également être présentées et justifiées pédagogiquement.

### **Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle**

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti pour la présentation : 30 minutes. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées.

Le jury attend lors de cette phase de présentation de la séquence pédagogique que le candidat soit capable de :

- présenter le contexte pédagogique imposé ;
- situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- expliciter les connaissances et les compétences visées par la séquence ;
- décrire le déroulement de la séquence ;
- situer la séance expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- expliciter les connaissances et compétences visées dans la séance ;
- présenter la pertinence du système pour les activités pratiques de la séance ;
- définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats attendus ;
- justifier les choix pédagogiques retenus ;
- présenter les moyens de l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves ou étudiants.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles telles que :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

Le jury conseille, aux candidats qui n'en auraient pas eu la possibilité au cours de leur formation, de prendre contact avec un établissement scolaire dispensant les filières de formation visées par le concours et de s'y déplacer afin de prendre connaissance des réalités matérielles, humaines et organisationnelles du terrain.

### Comportement des candidats

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Les contenus scientifiques des séquences doivent être maîtrisés par les candidats, l'accès à Internet est toujours possible sur des sites publics.

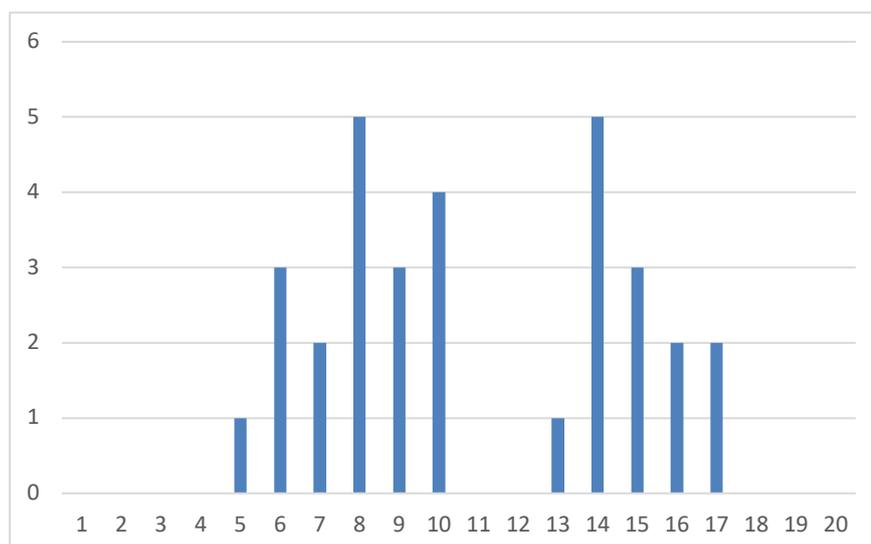
Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés, elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

### • Conclusion

La session 2019 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechniques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

## C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 10,47/20. L'écart-type est 3,78. La meilleure note est 17,5/20. La plus faible est 5/20. La moyenne des candidats admis est de 13,42.



## D. Exemple de sujet

### Étude d'un bras collaboratif

**Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée : 4h00)**

**Partie 1.1 – Conception de l'architecture de la séquence de formation imposée (0h45)**

Objectifs : s'approprier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l'architecture de la séquence de formation.

#### **Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée**

La séquence pédagogique à construire est associée au contexte pédagogique suivant :

- titre de la séquence : analyser et modéliser les composants réalisant la fonction « acquérir » ;
- niveau de formation visé : première série S – enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur ;
- supports pédagogiques à disposition dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ces supports sont judicieusement choisis pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée :
  - o robot haptique ;
  - o système incubateur ;
  - o robot Evolap ;
  - o hémomixer (balance de don du sang) ;
  - o cordeuse de raquettes SP55 ;
  - o drone didactique D2C ;
  - o compacteur Big Belly ;
  - o pilote hydraulique de bateau.
- Effectif : classe de 36 élèves, groupe à effectif réduit de 18 élèves ;
- Volume horaire : 8 heures hebdomadaires (2 h classe entière + 2 h TD + 2h TP + 1h TPE).

Documents fournis et accessibles dans le dossier « contexte pédagogique » :

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme Bac SSI.pdf) ;
- le document d'accompagnement (fichier Document Ressource SSI.pdf) ;
- une proposition de liste de séquences adaptée au niveau de formation visé (fichier Séquences Pédagogiques SSI.pdf).

Production attendue – L'architecture de la séquence pédagogique en s'assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition de liste de séquences fournie) ;
- spécifié les modalités pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet, évaluation, remédiation, ...), leurs coordinations et leurs organisations.

## Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

Objectif : s'approprier l'environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

### Problématique associée à ce TP

Pour réduire les risques de troubles musculo-squelettiques, certains constructeurs de matériel de manutention proposent des solutions de levage intelligentes qui assistent l'opérateur dans la manipulation de charges lourdes.

Un robot collaboratif permet d'assister l'humain dans les tâches industrielles où il est nécessaire d'appliquer un effort répétitif pendant le travail.

L'objectif de la commande collaborative est de faire ressentir une masse légère à l'utilisateur même si le robot avec lequel il collabore déplace une lourde charge. Elle consiste à mesurer l'intention de l'humain, force appliquée sur la poignée de manipulation (capteur d'effort), puis à calculer la commande correspondante du robot (consigne de vitesse).

### Présentation du support

Le support proposé est le robot CoMAX, support pédagogique qui s'inspire du robot collaboratif industriel SAPELEM.

Le logiciel Comax\_EMP (Environnement Multimédia Pédagogique), accessible depuis le bureau, présente de manière interactive le système et ses constituants.

#### Le robot SAPELEM

Le système repose sur l'utilisation d'un système de levage motorisé à câble associé à une poignée communicante intégrant le capteur d'effort. La poignée communique en permanence (via une liaison sans fil) l'intention de l'opérateur au système de levage.

Celui-ci réagit alors en conséquence et assiste l'opérateur pour qu'il puisse déplacer l'objet manutentionné sans en percevoir son poids.

Le système s'auto-ajuste dans le cas de charges variables (bidons que l'on vide) et intègre de nombreuses sécurités (coupure d'alimentation, surcharges, etc).

Le diagramme des exigences du robot SAPELEM est donné dans le document ressource DR1.



#### Le robot collaboratif CoMAX

Une interface de commande et d'acquisition installée sur le poste informatique permet, entre autres :

- de piloter le robot CoMAX selon quatre types de commandes possibles (mode collaboratif, mode asservissement de position, mode asservissement de vitesse, mode asservissement d'intensité - boucle ouverte -) ;
- de réaliser des mesures (intensité du courant, position et vitesse moteur, effort sur la poignée).

Les diagrammes d'exigence du robot CoMAX sont fournis sur les documents ressource DR2 et DR3.

Un synoptique de la commande collaborative est fourni figure 1, issue de l'interface de pilotage du système.

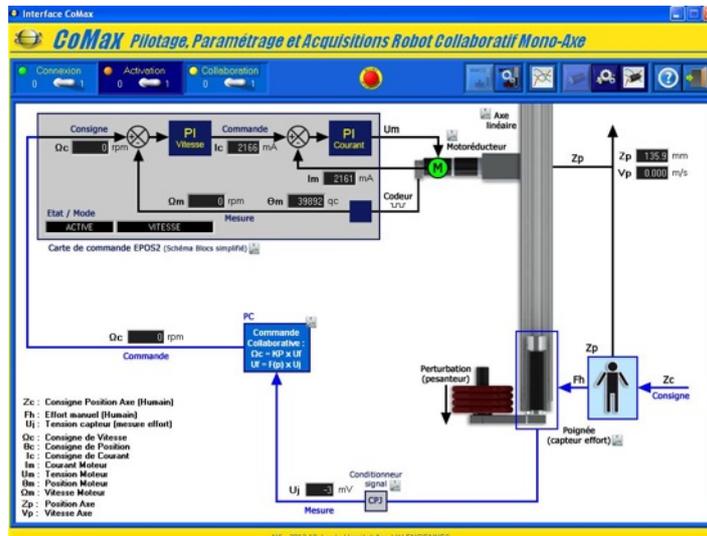


Figure 1 – Commande collaborative du robot CoMAX

Le dossier ressource, fourni sous format numérique, comprend :

- DR1 – diagramme des exigences SAPELEM ;
- DR2 – diagrammes des exigences CoMAX ;
- DR3 – exigences techniques CoMAX ;
- DR4 – aide à la manipulation et protocoles ;
- DR5 – diagramme d'états de l'interface ;
- DR6 – descriptif du sous-système annexe ;
- DR7 – aide à l'utilisation de Scilab-Xcos.

Le dossier technique, fourni sous format numérique, comprend –

- DT1 – cahier des charges ;
- DT2 – géométrie de la potence articulée ;
- DT3 – axe linéaire ;
- DT4 – motoréducteur ;
- DT5a – capteur de force ;
- DT5b – conditionneur capteur de force ;
- DT6 – codeur.

### Activité 1 Analyse des exigences du cahier des charges

Mettre en service le système depuis l'interface de pilotage en activant les boutons « Connexion » puis « Activation ». Activer le mode collaboratif « Collaboration ». Agir manuellement sur la poignée et observer les évolutions des différentes grandeurs physiques mesurables et observables depuis le synoptique de la page d'accueil de l'interface.

Renouveler l'expérience avec des masses supplémentaires embarquées.

a) Indiquer à quel besoin répond le système et son domaine d'application.

b) Proposer un schéma cinématique global du robot collaboratif, sans représenter l'actionneur ni les transmetteurs.

Désactiver alors la commande collaborative à l'aide du bouton de sélection.

### Activité 2 Analyse du comportement de la boucle collaborative.

a) Désactiver le filtre réjecteur : depuis le menu « Paramétrer Comax », sélectionner « commande collaborative », décocher « Filtre réjecteur du mode de structure ». Quitter ce menu.

Réactiver la boucle collaborative et observer la différence de comportement en actionnant manuellement la poignée.

b) Visualiser le signal du capteur d'effort en mode collaboratif en suivant le protocole suivant :

- si nécessaire, enlever les masses ajoutées et quitter le mode collaboratif ;
- depuis le menu « Positionner comax », positionner l'axe en position haute ;
- accrocher une masse de 1 kg à la poignée (voir figure ci-contre) ;
- accéder au menu « Acquisition axe », puis « Paramétrer Acquisition » et sélectionner « entrée analogique 1 » dans « Variable » ;
- quitter ce menu ;
- quitter le menu « Acquisition axe », sélectionner le mode collaboratif, enfin revenir à « Acquisition axe ».



Mesurer les fréquences des oscillations observées.

c) Préciser quelle exigence technique du bras n'est pas satisfaite (voir DR3).

### Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

#### Problématique technique et scientifique :

Analyser les phénomènes vibratoires et régler la commande collaborative afin de les maîtriser

La structure porteuse du bras induit des phénomènes vibratoires qui peuvent perturber fortement son comportement lors de son utilisation.

Les objectifs sont de :

- analyser les solutions techniques retenues dans la conception du robot CoMAX par une analyse qualitative du fonctionnement ;
- analyser le comportement vibratoire de la structure porteuse ;
- modéliser le comportement de la chaîne d'énergie du robot en vue du réglage de la commande collaborative ;
- proposer un réglage de la commande collaborative.

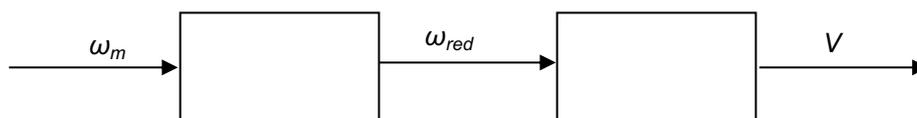
Pour la suite du TP, réactiver le filtre réjecteur.

#### 1.3.1 Analyse structurelle de l'axe linéaire

Objectif : présenter la structure de la chaîne d'énergie.

**Activité 3** À partir des documents techniques, et/ou de l'EMP (logiciel Comax\_EMP), compléter sur le document réponse DRep1 la structure fonctionnelle de la chaîne d'énergie.

**Activité 4** À partir des documents techniques DT3 et DT4, déterminer le rapport de transmission de l'axe collaboratif  $K_{tran} = \frac{V}{\omega_m}$  où  $V$  est la vitesse linéaire de l'axe (en  $m \cdot s^{-1}$ ) et  $\omega_m$  la vitesse du moteur (en  $rad \cdot s^{-1}$ ).



#### 1.3.2 Élaboration d'un modèle de connaissance de la chaîne d'énergie

Objectif : Identifier les actions mécaniques mises en jeu.

Le couple  $c_m$  fourni par l'actionneur sur l'axe collaboratif peut s'exprimer par :

$$c_m(t) = J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} \pm c_s + c_{pes}$$

avec  $\omega_m(t)$  la vitesse angulaire du moteur,  $J_{eq}$  l'inertie équivalente de l'ensemble des pièces en mouvement ramenée à l'arbre moteur,  $c_s$  le couple de frottement sec maximal et  $c_{pes}$  le couple dû à l'action de la pesanteur ramené à l'arbre moteur.

On rappelle que le couple moteur  $c_m$  est lié à l'intensité du courant dans l'induit  $i$  par la constante de couple :

$$c_m(t) = K_m \cdot i(t)$$

La constante de couple du moteur est  $K_m = 30,2 \text{ mN}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$ .

### Activité 5 Analyse du comportement en boucle ouverte

Suivre le protocole suivant :

- mettre une masse de 1kg sur le support de masse ;
- désactiver si nécessaire la commande collaborative et repositionner l'axe en position intermédiaire ;
- sélectionner « Acquisition Axe » puis préparer les acquisitions en cliquant « Paramétrer Acquisition », puis « Paramètres par défaut » et sélectionner « Asservissement en Courant ». Rajouter l'acquisition de la vitesse moteur ;
- revenir au menu « Acquisition axe » ;
- lancer une sollicitation en Courant (BO) en cliquant sur « Commander Axe ». Depuis le mode asservissement, sélectionner COURANT(BO) et régler la consigne à la valeur voulue (500 mA) ;

Observer les courbes et justifier le comportement de l'axe.

En repartant de la position Intermédiaire, renouveler le protocole précédent (sollicitation en courant) pour les valeurs de courant  $i = 3\,000 \text{ mA}$  et  $i = 5\,000 \text{ mA}$  (si nécessaire, se remettre en position intermédiaire à chaque mesure).

Expliquer le comportement observé.

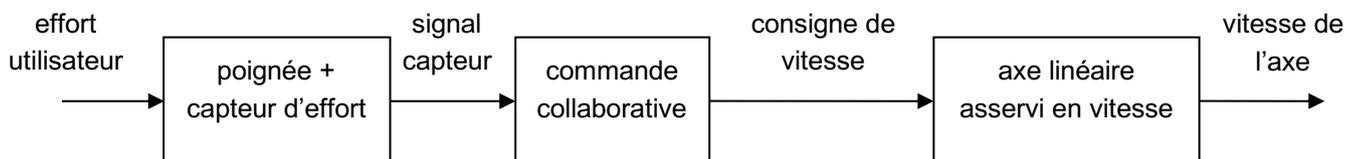
**Activité 6** Déterminer expérimentalement  $c_{mm}$  et  $c_{md}$  les couples moteurs à la limite du mouvement respectivement en montée et en descente avec une masse de 1kg. En déduire les valeurs des couples  $c_{pes}$  et  $c_s$ .

### 1.3.3 Analyse structurelle de la commande collaborative

Objectifs :

- identifier la structure de commande de la commande collaborative ;
- proposer un modèle de comportement du capteur d'effort.

La structure de commande collaborative du CoMax est donnée ci-après.



**Activité 7** À partir des documents techniques, et/ou de l'EMP, compléter sur le document réponse DRep1 la structure fonctionnelle de la chaîne d'information.

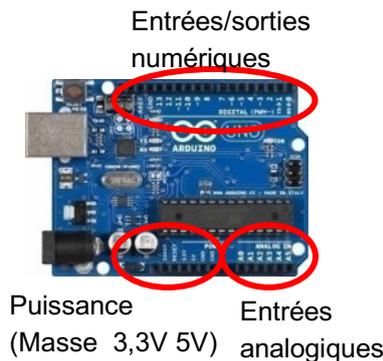
**Activité 8** Proposer un protocole pour identifier expérimentalement la valeur du gain de mesure  $G_j$  défini par  $G_j = \frac{U_j}{F}$  où  $U_j$  est la tension mesurée par le capteur (mV) affichée sur le synoptique de l'IHM (figure 1) et  $F$  l'effort utilisateur (N).

### 1.3.4 Mise en œuvre d'une commande collaborative

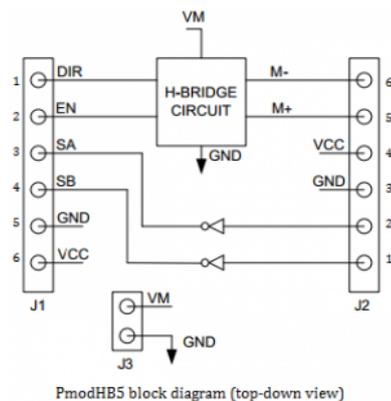
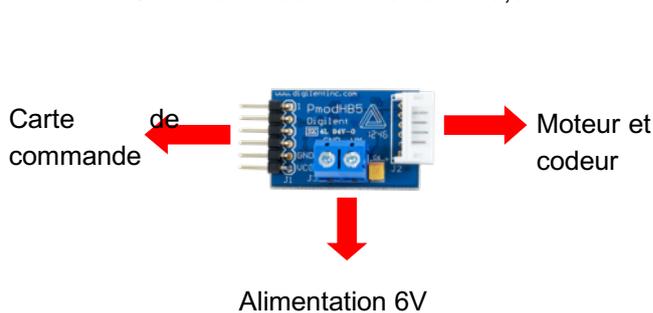
Objectif : mettre en œuvre sur un sous-système indépendant, une commande de vitesse proportionnelle à un effort appliqué.

Le candidat dispose pour cette question du matériel suivant :

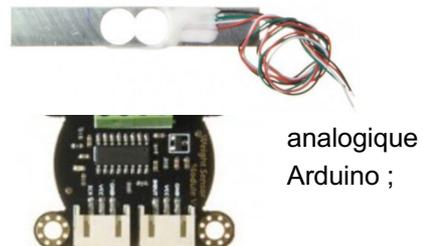
- un moto-réducteur à courant continu de rapport de réduction 1/53, avec un encodeur monté sur l'arbre moteur. Cet encodeur est composé d'un aimant rotorique (4 pôles nord et de 4 pôles sud) et de 2 cellules à effet Hall montées en quadrature sur le stator du moteur ;
- une alimentation extérieure ;
- une carte de type Arduino UNO (micro-contrôleur) avec 6 entrées analogiques notées A0 à A5, munies d'un convertisseur 10 bits, et 14 entrées/sorties numériques notées 0 à 13 ;



- un module de commande pour moteur CC PModHB5. Il s'agit d'une interface de puissance contenant un hacheur, permettant de piloter un moteur à courant continu (de 6V à 12V maxi), 2A maximal en pointe. Il comporte :
  - o une entrée logique DIR pour le réglage du sens de rotation du moteur ;
  - o une entrée numérique EN pour un signal PWM (Pulse Width Modulation) réglant la tension du moteur ;
  - o deux sorties SA et SB avec trigger de Schmitt pour récupérer les informations issues des 2 cellules à effet Hall du codeur ;
  - o la masse GND ;
  - o une entrée d'alimentation 3,3 V.



- un capteur de force 1 kg, constitué d'une barre d'aluminium avec jauges de déformations en pont de Wheatstone. Il est relié à une interface SEN0160 comprenant une amplification et un convertisseur numérique HX711 et se raccordant à la carte

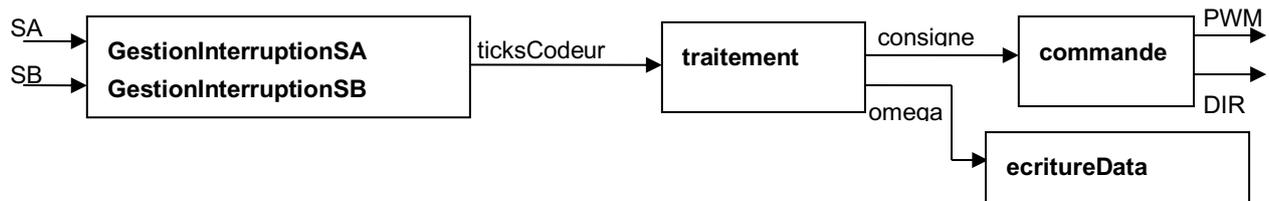


Un document ressource de ce sous-système est fourni DR6.

La structure globale du programme donné dans le document réponse DRep2 est accessible sous Arduino dans le fichier « Contrôle\_Commande.ino ».

Ouvrir sous Arduino ce fichier. Il comporte :

- une entête déclarative : fichiers d'inclusion, déclaration des constantes et des variables globales ;
- une fonction setup : configuration des broches, initialisation des variables, des fonctionnalités et des interruptions ;
- les instructions, dont la fonction loop qui est exécutée en boucle. Ici cette fonction permet juste de lancer un timer exécutant la fonction traitement à cadence fixe. Les fonctions et variables utilisées s'organisent selon le schéma ci-dessous.



Pour mettre en place une commande numérique, il faut que les calculs de la commande du moteur se fassent à un intervalle de temps régulier. Pour cela, on utilise un timer qui permet d'exécuter une fonction précise tous les x millisecondes. Le timer est importé avec le module `SimpleTimer`. Dans ce programme, la fonction `traitement` est exécutée à cadence fixe (toutes les 20 ms).

```

void traitement() {
  // Calcul de la vitesse de rotation
  omega=ticksCodeur/(dt*16) ; //vitesse moteur en tour/s
  // commande moteur
  int consigne=255 ; // à modifier Activité 9
  commande(consigne);

  // Ecriture des données sur la liaison série
  ecritureData();
  // Réinitialisation ticks codeur
  ticksCodeur = 0;
}
  
```

Sur une carte Arduino UNO, il existe deux lignes d'interruption (numérotées 0 et 1), correspondant aux broches 2 et 3, reliées aux signaux SA et SB. L'intérêt d'une ligne d'interruption est qu'elle permet, comme son nom l'indique, d'interrompre le déroulement des calculs sur le micro-contrôleur pour effectuer un traitement spécifique, en l'occurrence la mise à jour du compteur d'impulsions, avant de rendre la main à la boucle principale.

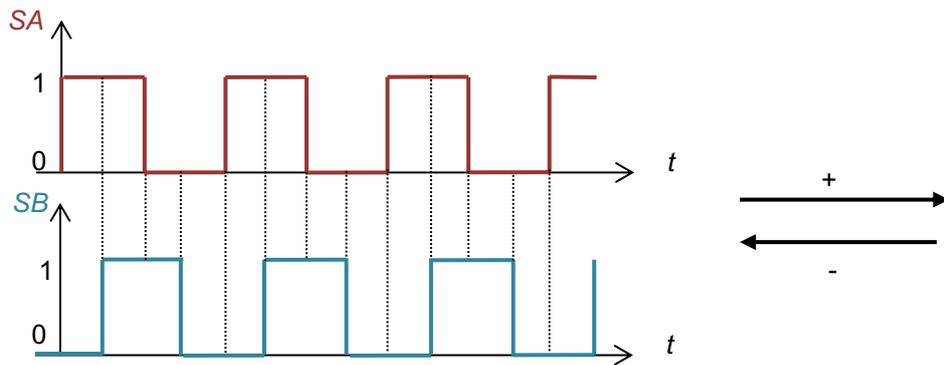
### Activité 9 Mise en place d'une mesure de position et de vitesse.

a) Téléverser ce programme dans la carte et tester pour différentes valeurs de commande (entre 0 et 255). La commande est modifiable dans la fonction `traitement` :

```
int consigne=255 ; commande à modifier
```

Dans ce programme, deux interruptions déclenchent les fonctions `GestionInterruptionSA()` et `GestionInterruptionSB()` à chaque transition sur les broches 2 et 3, correspondant aux signaux SA et SB du codeur.

Les signaux SA et SB issus du codeur évoluent en quadrature ainsi que sur la figure suivante :



b) Préciser le lien entre les signaux SA et SB et l'angle de rotation du moteur, sachant que l'encodeur est composé de 4 pôles nord et 4 pôles sud sur l'aimant rotorique. Justifier l'intérêt de l'utilisation des deux signaux pour la mesure de l'angle moteur.

La fonction `GestionInterruptionSA()` gère le compteur `ticksCodeur` lors d'une interruption sur SA.

```
void GestionInterruptionSA() {
  if (digitalRead(SA) == digitalRead(SB)) {
    ticksCodeur--;
  }
  else {
    ticksCodeur++;
  }
}
```

c) Analyser et expliquer la structure de cette fonction. Par analogie, compléter la fonction `GestionInterruptionSB()`.

d) Expliquer comment est réalisée la mesure de la vitesse dans la fonction `traitement`.

La vitesse du moteur est visualisable dans Outils/Moniteur série.

On intègre maintenant le capteur d'effort et son interface SEN0160.

Pour toute masse suspendue, le programme « SimpleMesure.ino » permet d'acquérir et d'afficher la valeur numérique brute en sortie du capteur et la valeur de la masse correspondante.

```
// Hx711.DOUT - pin #A2
// Hx711.SCK - pin #A3

#include <Hx711.h>                                     Entête déclarative
Hx711 capteur(A2, A3) ;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // étalonnage du capteur (dépend de la maquette et de la température)
  //réglage de l'offset du capteur :
  capteur.setOffset(623) ;
  //réglage du gain du capteur :                       Initialisation
  capteur.setScale(1/8.8) ;
}
```

```

void loop() {
int valeur = capteur.getAverageValue(25);
Serial.print(" Valeur numérique moyenne sur 25 ech : ");
Serial.println(valeur);
Serial.print(" Masse mesurée équivalente : ");
Serial.print(capteur.getGram(valeur), 1);
Serial.println(" g");
delay(200);
}

```

Instructions

### Activité 10

Ouvrir et tester ce programme à l'aide des masses suspendues fournies. Vérifier si l'étalonnage du capteur est correctement réalisé.

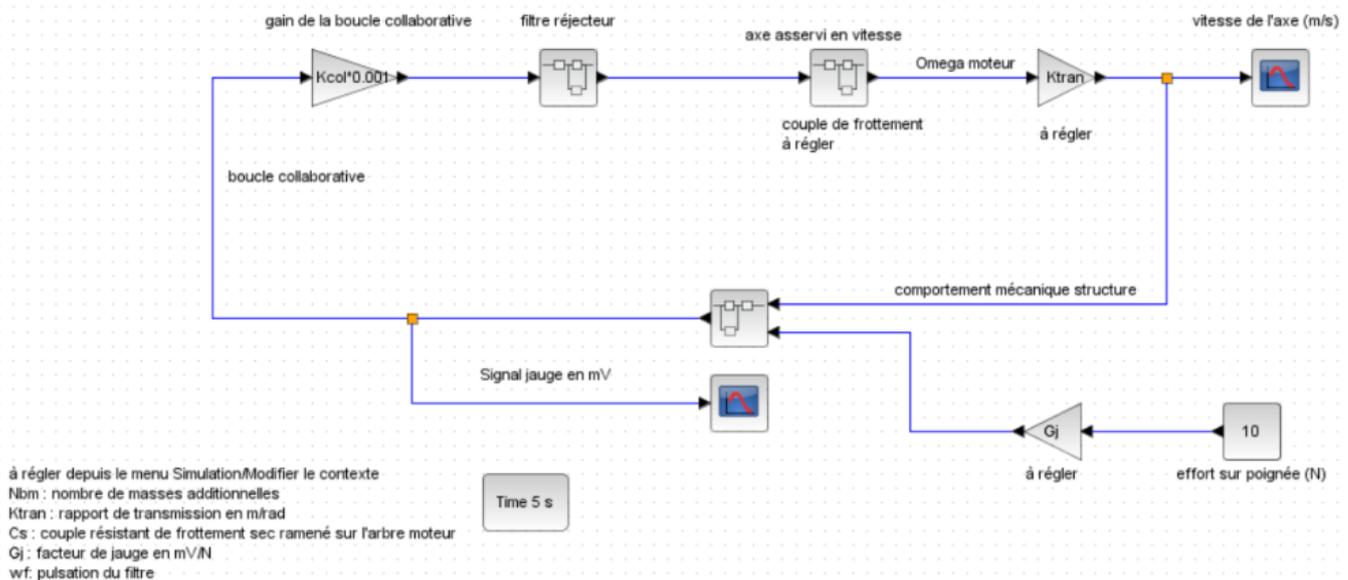
Modifier le programme Arduino précédent « Controle\_Commande.ino » pour faire en sorte que la tension de commande soit proportionnelle à l'effort sur le capteur (coefficient de proportionnalité 1/5). Tester.

### 1.3.5 Modélisation de la commande collaborative

Objectifs : modéliser la commande collaborative et valider ce modèle.

Le modèle Scilab de la boucle collaborative ainsi que du comportement vibratoire de la structure est fourni dans le fichier « boucle collaborative.zcos ».

La commande comporte en série un correcteur proportionnel et un filtre réjecteur.



### Activité 11

Ouvrir et justifier le modèle proposé. Depuis le menu « Simulation », « Modifier le contexte », régler les valeurs de  $N_{bm}$  (nombre de masses choisi à 1 ici),  $K_{tran}$ ,  $c_s$  et  $G_j$  puis analyser la validité de ce modèle en comparant les fréquences obtenues avec celle mesurées à l'activité 2.

### 1.3.6 Réglage de la commande collaborative

La commande collaborative comporte en série un correcteur proportionnel et un filtre réjecteur. La fonction de transfert de ce filtre dans le domaine de Laplace est :

$$H_{rej}(s) = \frac{1 + 2\xi \frac{s}{\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}{1 + 2 \frac{s}{\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}$$

### Activité 12 Analyse de la fonction du filtre

Depuis Scilab-Xcos, ouvrir le fichier « filtreréjecteur.zcos ». Lancer la simulation temporelle et/ou fréquentielle, analyser les résultats.

Justifier le rôle de ce filtre.

À partir des résultats précédents, proposer un réglage pour la valeur de la pulsation  $\omega_0$  du filtre.

### Activité 13 Réglage du filtre et validation de la commande

Régler ce filtre sur le modèle Scilab précédent « boucle collaborative.zcos » à partir du menu « Modifier le contexte ». Valider le réglage de cette commande.

En conclusion, justifier comment ce filtre permet de satisfaire l'exigence technique d'un déplacement sans oscillation.

## Partie 1.4 – élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental (durée : 0h45)

Objectif : développer une séance à caractère expérimental s'intégrant dans la séquence pédagogique proposée dans la partie 1.1.

**Production attendue** – une séance à caractère expérimental pertinente après avoir :

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;
- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

### Phase 2 – préparation de l'exposé (durée : 1h00)

Objectif : finaliser le support de présentation pour l'exposé devant le jury.

**Production attendue** – un document numérique afin de :

- présenter la séquence pédagogique ;
- présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;
- présenter la séance à caractère expérimental.

### Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)

# Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique

## A. Présentation de l'épreuve

### Texte de référence

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures, préparation de l'exposé : 1 heure, exposé : 30 minutes maximum, entretien : 30 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.

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. 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, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Le 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.

### Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve comporte trois phases.

#### **Phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4h00)**

Cette phase, d'une durée totale de 4 heures, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports qui permettent à chaque candidat de proposer une séquence pédagogique. Celle-ci est liée aux activités pratiques réalisées par le candidat.

### Première partie (durée ≈ 0h30)

Pour cette partie, les développements ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, le jury s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de l'activité pratique ainsi que la problématique proposée.

### Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système, le candidat doit suivre les études et le questionnement proposés afin de répondre à la problématique de l'activité pratique. Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de développer/intégrer des modules logiciels, de résoudre les problèmes posés, puis d'en exploiter les résultats obtenus (modèles, algorithmes, jeu de tests, interface graphique, résultats numériques, etc...).

### Troisième partie (durée ≈ 1h30)

Le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence en s'aidant du support mis à sa disposition, des développements, investigations et analyses effectués ou d'autres éléments qu'il a la possibilité de concevoir, en précisant et en validant un ou plusieurs protocoles permettant de répondre à la problématique.

Cette phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel se trouve le support utilisé.

L'exploitation pédagogique proposée est liée aux activités pratiques réalisées lors des première et seconde parties mais aussi aux expérimentations que le candidat réalise librement pendant la troisième partie. Elle est relative à l'enseignement spécifique du cycle terminal,

- en lycée, de la voie technologique sciences et technologies de l'industrie et du développement durable de la spécialité système d'information et numérique (STI2D SIN) ;
- en post bac, des programmes du BTS systèmes numériques (options : informatique et réseaux, électronique et communication) et des DUT génie électrique et informatique industrielle, réseaux et télécommunications, informatique relatifs aux champs couverts par l'option ingénierie informatique.

Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique, relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leur est proposé.

### **Phase 2 – préparation de la présentation (durée 1h00)**

Durant cette phase d'une heure, le candidat s'appuie sur la trame de la séquence qu'il a construite dans la troisième partie de la phase 1 et prépare l'intervention qu'il fera devant le jury. Il dispose d'un poste informatique, relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et de tous les résultats de mesures, analyses ou investigations issus de la phase 1.

### **Phase 3 – présentation des travaux devant le jury (durée 1h00)**

L'exposé oral est d'une durée maximale de 30 minutes. Le jury n'intervient pas pendant l'exposé du candidat. L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 30 minutes.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à présenter :

- le système (durée maximale 5 minutes) ;
- une synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase de l'activité pratique (durée maximale 5 minutes) ;
- son exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Au cours de l'entretien, le candidat est amené à :

- préciser certains points de sa présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés.

Pour la présentation devant le jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique relié à Internet, 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.

### **Systèmes proposés**

Pour la session 2019, les systèmes proposés sont les suivants :

- drone instrumenté communicant ;
- lunettes immersives et mesures dans un espace en 3D ;
- reconnaissance de panneaux routiers ;
- contrôle d'accès ;
- réception et traitement de données issues de modules météorologiques.

Ces études permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique dans les activités suivantes :

- modélisation de systèmes (UML/SYSML, Merise) ;
- analyse critique et validation de modèles (de calcul, de données, de logiciels, d'échange) et proposition de modifications ;
- programmation en langages C/C++, Java, Python, SQL ;
- configuration, déploiement et test de réseaux informatiques ;
- intégration et utilisation de bibliothèques logicielles (traitement d'images, interface graphique...);
- développement d'algorithmes spécifiques et prise en compte de leurs performances ;
- intégration logicielle.

## **B. Commentaires du jury**

### **Compétences attendues par le jury**

Lors de cette épreuve d'activités pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences suivantes :

- faire preuve d'ingénierie pédagogique en élaborant une séance d'activités pratiques dans une séquence pédagogique cohérente, inscrite dans une progression pédagogique ;
- proposer des activités pratiques ou des modélisations nouvelles, adaptées au niveau imposé et aux objectifs de formation ;
- s'approprier un support, un environnement de développement, un système d'exploitation ;
- s'approprier la problématique associée ;
- élaborer, conduire et justifier un algorithme, un développement et/ou un protocole de test ;
- exploiter et analyser des résultats de tests ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux avec clarté, précision et rigueur ;
- être réactif et pertinent dans les réponses aux questions posées par les membres du jury.

### **Analyse des résultats**

La majorité des candidats répond favorablement aux attentes du jury lors des deux premières parties de la phase de manipulation au laboratoire (phase 1), témoignant ainsi d'une réelle capacité de leur part à expérimenter un système en suivant un fil conducteur proposé. Toutefois, certains candidats ont montré une fragilité dans la conception d'algorithmes qu'il serait nécessaire de solidifier. Peu de candidats ont utilisé la troisième partie de la phase 1 pour réaliser des manipulations complémentaires afin d'illustrer leur séquence pédagogique.

La prestation orale des candidats lors de la phase 3 de présentation des travaux devant le jury se révèle souvent insatisfaisante pour les raisons suivantes :

- la présentation du système est parfois insuffisante ;

- l'analyse des résultats expérimentaux est parfois trop superficielle, voire éludée par certains candidats ;
- les temps de présentation préconisés ne sont pas toujours respectés (système, résultats expérimentaux, exploitation pédagogique) ;
- l'exploitation pédagogique envisagée se limite trop souvent à proposer une séquence pédagogique incluant la seule activité de travaux pratiques conduite précédemment au laboratoire, sans véritable réflexion pédagogique quant aux objectifs poursuivis en liaison avec la classe visée, sans préciser ni les prérequis nécessaires au bon déroulement de la séquence ni les moyens à mettre en œuvre compte tenu du nombre d'élèves ou d'étudiants présents dans la section considérée et sans proposer d'évaluation permettant de mesurer de façon pertinente le niveau d'acquisition des compétences et savoirs visés ;
- peu de candidats proposent une ou plusieurs séances de formation de manière détaillée. Lorsqu'elle(s) existe(nt), elles ne sont pas adaptées au public d'élèves concernés ;
- de nombreux candidats présentent une exploitation pédagogique ayant un lien superficiel avec le support proposé en travaux pratiques, qui ne permet pas au jury d'apprécier la capacité du candidat à créer du contenu pédagogique à partir de systèmes réels.

### **Conseils apportés aux futurs candidats**

Le jury tient à rappeler que l'expérimentation proposée durant les première et deuxième parties de la phase 1 (2h30) doit permettre au candidat de prendre connaissance du système support puis d'effectuer librement pendant la troisième partie de la phase 1 un certain nombre de développements parmi les plus significatifs afin d'élaborer une exploitation pédagogique pertinente.

Pour réussir au mieux ces deux phases, le jury invite les candidats à maîtriser parfaitement l'utilisation des systèmes d'exploitation courants (Windows et Linux), les logiciels de bureautiques habituels (suite bureautique, utilitaires classiques de captures d'écran), les concepts de la programmation objet, leur modélisation en UML et leur implémentation dans les trois langages de programmation que sont le C++, Java et Python. Les futurs candidats doivent garder à l'esprit que cette agrégation demande des qualités dépassant largement la simple programmation.

Le jury attend que les candidats mettent à profit le temps dont ils disposent durant la troisième partie de la phase 1 (1h30) pour conduire d'autres développements (exemples de manipulations réalisées par les étudiants) que ceux demandés précédemment, sur lesquels ils pourront s'appuyer pour proposer ensuite une exploitation pédagogique originale et personnelle.

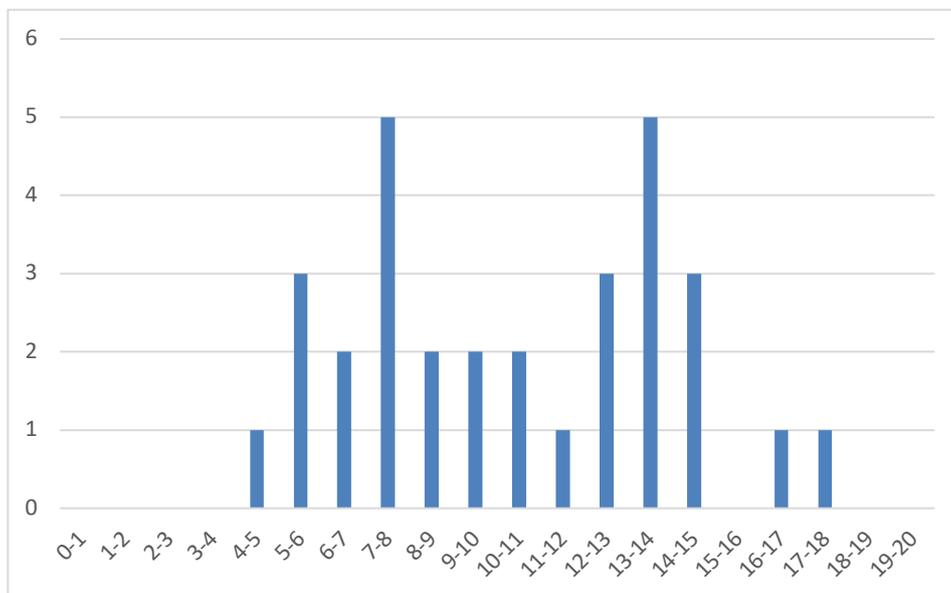
Le jury rappelle qu'il s'agit pour le candidat de présenter une séquence pédagogique inscrite dans une progression pédagogique. Dans cette séquence doit apparaître de façon précise un ou plusieurs points caractéristiques des séances de formation proposées. L'ensemble doit prendre appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives au support proposé, en tenant compte du niveau de la formation visée et en adaptant l'exploitation du support à celui-ci.

Les candidats disposent sur leur poste informatique du référentiel de certification des différents diplômes visés par cette épreuve, mais il est impératif, afin de préparer au mieux cette épreuve, qu'ils en aient fait une lecture préalable suffisamment fine.

Le jury incite donc les candidats à l'agrégation à pousser la porte des lycées et IUT ainsi que des ESPE ou des ENS, afin d'obtenir de la part d'enseignants de terrain ou formateurs, un maximum d'informations d'ordre pédagogique leur permettant de préparer au mieux cette épreuve.

### C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 10,46/20. L'écart-type est 3,6. La meilleure note est 17,5/20. La plus faible est 5/20. La moyenne des candidats admis est de 11,96/20.

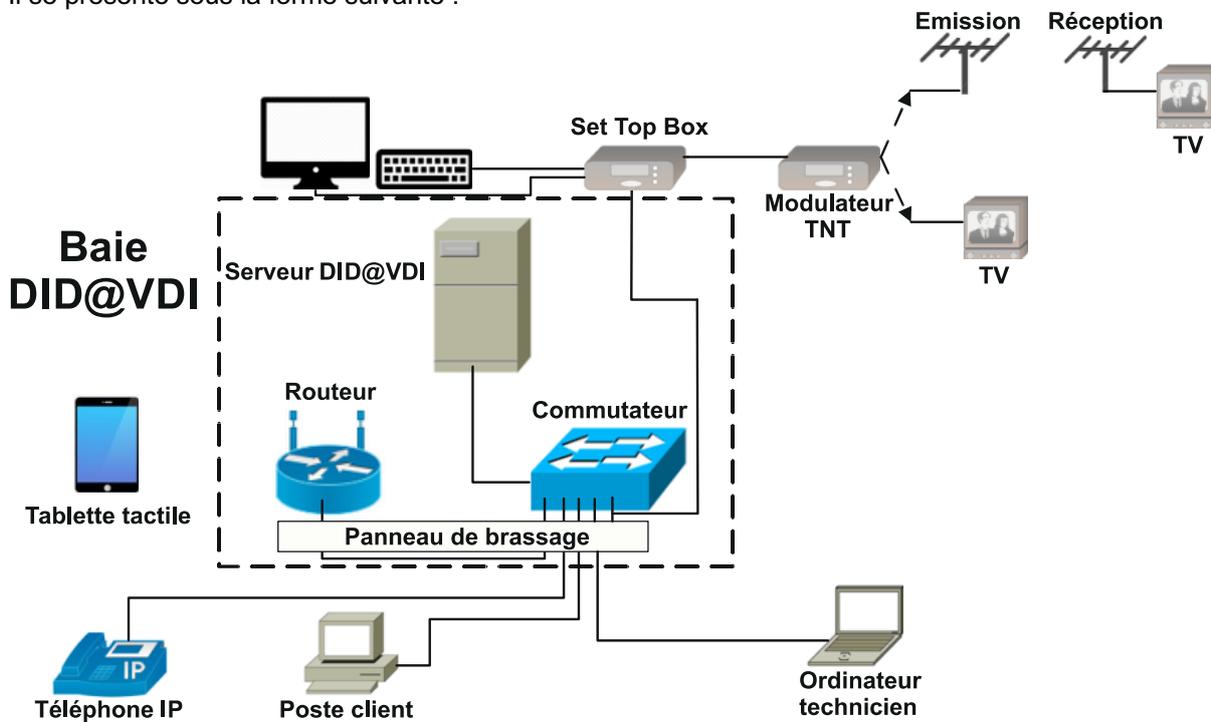


## D. Exemple de sujet

### Mise en situation

Le système didactique DID@VDI est un dispositif permettant, au travers d'activités de travaux pratiques, de mettre en évidence le fonctionnement des réseaux informatiques.

Il se présente sous la forme suivante :

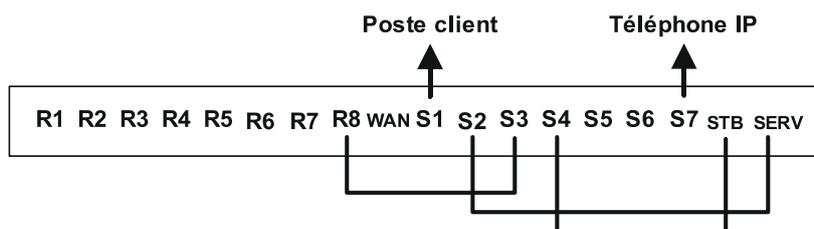


Il intègre dans une baie, un serveur, un routeur équipé d'une interface WiFi, un commutateur, ainsi qu'un panneau de brassage. Associée à un poste client, cette configuration de base autorise la gestion de données via le réseau informatique. Afin d'assurer la gestion de la voix, le poste client est équipé d'un soft-phone, et l'on associe au réseau un téléphone IP ainsi qu'une tablette tactile équipée d'une application de téléphonie. Le système est par ailleurs équipé d'une set-top box, d'un modulateur TNT et d'un téléviseur permettant d'assurer la gestion de flux vidéo (Images).

Il est également possible, à l'aide de deux antennes, de créer et d'insérer au bouquet de chaînes TNT existant, une chaîne de télévision privée. L'ensemble des informations que ce réseau permet de traiter doit donc être considéré comme un outil expérimental permettant d'illustrer le concept de convergence Voix, Données, Images, d'où l'appellation VDI choisie.

Enfin, un ordinateur portable « technicien » est mis à disposition du candidat afin de lui permettre de faire des tests sur le réseau.

On précise ci-dessous le câblage du panneau de brassage de la baie DID@VDI :



Les lettres R et S sont associées respectivement au Routeur et au Switch.

## Contextualisation

La séquence pédagogique à développer prend appui sur la diffusion et le stockage d'informations de type Voies, Données et Images dans un hôtel. Elle a pour objet de mettre en œuvre des solutions technologiques permettant notamment :

- la gestion de la téléphonie sur IP ;
- le transport de flux vidéo sur IP ;
- la diffusion de flux vidéo sur support TNT.

## Aide aux candidats

Le candidat trouvera sur le bureau de l'ordinateur portable technicien ainsi que sur celui du poste client, le dossier « Ressources VDI » contenant 5 documents ressources nécessaires à la réalisation de cette épreuve de Travaux Pratiques :

- BTS\_SystèmesNumériques.pdf (référentiel du BTS SN-EC) ;
- ETR340010.pdf (guide technique du système DID@VDI) ;
- gxv3240\_user\_guide.pdf (manuel utilisateur du téléphone IP GXV3240) ;
- HDRANGERlite\_2.pdf (manuel utilisateur de l'analyseur HD Ranger Lite) ;
- NetUpdate.pdf (manuel utilisateur du logiciel permettant de rapatrier sur ordinateur, des copies d'écran préalablement sauvegardées sur l'analyseur HD Ranger Lite).

## PREMIERE PHASE : PREMIERE PARTIE (DUREE ≈ 0H30)

1. Mise sous tension de la baie DID@VDI

**Q1.** Mettre sous tension la baie DID@VDI en basculant l'interrupteur situé en bas à gauche de la baie sur ON.

Dès lors s'engage une procédure d'initialisation qui s'achève lorsque l'afficheur LCD indique l'heure. Il reste maintenant à activer, à l'aide du panneau de commande positionné en face avant et constitué de 5 boutons poussoir ainsi que de l'afficheur LCD (voir page 18 du guide technique ETR300010.pdf), le service données HTTP.

Déconnecter pendant quelques secondes l'alimentation de la Set Top Box qui se trouve sur la baie VDI à droite du clavier, puis la reconnecter. L'écran doit alors afficher une page « Menu Principal ». Mettre le panneau « TNT HOTEL » sous tension à l'aide de l'interrupteur de la prise multiple qui se trouve sur la face arrière du panneau.

Enfin, allumer le téléviseur du panneau à l'aide de la télécommande Tokai, et vérifier que ce dernier affiche la même page « Menu Principal » que l'écran situé sur la baie.

2. Accès à l'interface de commande des différents éléments du système

**Q2.** Visualiser, à l'aide du navigateur Iceweasel du poste client, les interfaces de commande du serveur et du routeur.

3. Prise en compte des éléments assurant la diffusion TNT

**Q3.** Localiser physiquement la Set-Top-Box ainsi que le modulateur TNT EN-206.

## PREMIERE PHASE : DEUXIEME PARTIE (DUREE ≈ 2H00)

Ce sujet comporte 3 parties :

- Sécurisation des accès réseaux au sein de l'hôtel (Q4 à Q6) ;
- Téléphonie sur IP (Q7 à Q14) ;
- Création d'une chaîne de télévision privée (Q15 à Q21).

Les deux premières parties ne peuvent être traitées que l'une après l'autre. La troisième partie, en revanche, est indépendante des deux premières.

### 1. Sécurisation des accès réseau au sein de l'hôtel

**Objectif : créer deux réseaux locaux virtuels (VLAN) pour les clients de l'hôtel d'une part, et pour le personnel de l'hôtel d'autre part.**

Par défaut, le routeur présente un seul VLAN nommé « Default » que l'on réservera au personnel de l'hôtel. L'hôtel considéré pour cette épreuve comporte 20 chambres. On souhaite donc établir un deuxième VLAN pour les clients, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- nom du VLAN : CLIENT ;
- numéro d'identification du VLAN : 5 ;
- adresse réseau du VLAN : 193.168.1.0 ;
- service DHCP actif ;
- adresse IP associée à la 1ère chambre : 193.168.1.50 ;
- adresse IP associée à la 20ème chambre : 193.168.1.69 ;
- temps de bail : 12 heures ;
- accès physique au VLAN CLIENT via le Port2 du routeur (prise R2 du bandeau)

**Q4.** Procéder, à partir du poste client, à la configuration du routeur permettant de créer le VLAN CLIENT tel que souhaité (on accédera à l'interface de configuration après avoir cliqué successivement sur les onglets Network Configuration, LAN Settings, puis Add). Vérifier ensuite à l'aide du PC portable, l'adresse réseau (IP) de ce VLAN.

On souhaite désormais donner l'accès internet aux clients de l'hôtel, et l'on décide d'associer au VLAN CLIENT, le réseau WiFi de caractéristiques suivantes :

- nom du réseau : WIFI-CLIENTxx où xx correspond aux 2 premières lettres du jour de la semaine où le candidat passe l'épreuve (sa, di, lu, ma, me ou je) ;
- SSID : visible ;
- sécurité : WPA2 ;
- chiffrement : CCMP ;
- authentification : PSK ;
- mot de passe : clienthotel.

**Q5.** Procéder, à partir du poste client, à la configuration du routeur permettant de créer le réseau WIFI-CLIENTxx tel que souhaité (pour cela, on procédera en deux temps : tout d'abord création d'un profil par l'intermédiaire des onglets successifs Network Configuration, Wireless Settings, Wireless Profiles et Add, puis configuration du point d'accès par l'intermédiaire des onglets successifs Network configuration, Wireless Settings, Access Point et Add). Vérifier alors à l'aide de la tablette tactile, la capacité à se connecter à ce réseau WiFi.

Il reste à créer le réseau WiFi du personnel de l'hôtel, associé au VLAN Default, et qui présente les caractéristiques suivantes :

- nom du réseau : WIFI-PROxx où xx correspond aux 2 premières lettres du jour de la semaine où le candidat passe l'épreuve (sa, di, lu, ma, me ou je) ;

- SSID : non visible ;
- sécurité : WPA2 ;
- chiffrement : CCMP ;
- authentification : PSK ;
- mot de passe : prohotel.

**Q6.** Procéder, à partir du poste client, à la configuration du routeur permettant de créer le réseau WIFI-PROxx tel que souhaité.

Vérifier alors à l'aide de la tablette tactile, la capacité à se connecter à ce réseau WiFi.

## 2. Téléphonie sur IP

**Objectif : créer le réseau de téléphonie-visiophonie pour le personnel de l'hôtel.**

Pour les besoins de cette épreuve, on supposera que le personnel de l'hôtel est composé de deux personnes seulement : la personne en charge du standard téléphonique et de l'accueil, équipée d'un téléphone de référence GXV3240, ainsi que la personne chargée de la gestion administrative de l'hôtel, affectée au poste client équipé du téléphone logiciel Ekiga ainsi que d'un kit mains libres.

Afin de ne pas perdre d'appels, à chaque fois que la standardiste est appelée à se déplacer, elle emporte avec elle une tablette Archos équipée du logiciel de communication GS Wave, sur laquelle les appels à destination du standard sont redirigés. Ces 3 dispositifs de communication qui assurent la transmission non seulement de la voix mais également de la vidéo, et qui seront qualifiés de « visiophones », appartiennent au domaine de la téléphonie sur IP. Pour ce qui nous concerne, le protocole de signalisation utilisé pour ce réseau de téléphonie sur IP est le protocole SIP.

La baie VDI permet de créer jusqu'à 16 comptes SIP, autorisant la gestion de 8 terminaux matériels tels que le téléphone GXV3240, et 8 téléphones logiciels tels que celui intégré sur le poste client (Ekiga) ou celui implanté sur la tablette (GS Wave).

Les numéros d'appels à 3 chiffres sont fixes et associés à chaque compte somme suit :

Compte	tm1	tm2	tm3	tm4	tm5	tm6	tm7	tm8
N° appel	101	102	103	104	105	106	107	108
Compte	tl1	tl2	tl3	tl4	tl5	tl6	tl7	tl8
N° appel	201	202	203	204	205	206	207	208

**Q7.** Activer le service SIP pbx à l'aide du panneau de commande de face avant de la baie.

On souhaite associer :

- au téléphone GXV3240, le compte tm1 (n° d'appel 101) ;
- au softphone Ekiga du poste client, le compte tl1 (n° d'appel 201) ;
- au softphone GS Wave de la tablette tactile, le compte tl7 (n° d'appel 207).

**Q8.** Procéder à la configuration du téléphone GXV3240 du ou de la standardiste comme suit :

- appuyer sur la touche menu ( ), puis à l'écran tactile, dans le menu System settings, choisir langue d'affichage français ;
- à l'écran, dans le menu Paramètres système / Paramètres avancés / Compte / Compte1, renseigner comme suit :
  - Activation du compte : OK ;
  - Nom de compte : ServeurVDI ;
  - Serveur SIP : 192.168.1.100 ;
  - Ident. utilisateur SIP : tm1 ;
  - Ident. d'authentification : tm1 ;

- Mot de passe d'authentification SIP : toto ;
- Ident. messagerie vocale : 8500 ;
- OK – OK.

**Q9.** Procéder à la configuration du softphone du poste client affecté à la personne en charge de la gestion administrative comme suit :

- lancer le logiciel Ekiga ;
- cliquer successivement sur Edition / Comptes / Ajouter un compte SIP puis renseigner comme suit :
  - Nom : ServeurVDI ;
  - Registraire : 192.168.1.100 ;
  - Utilisateur : tl1 ;
  - Identification d'authentification : tl1 ;
  - Mot de passe : toto ;
  - Délai : 3600 ;
  - Activer le compte et enfin Valider.

On se propose désormais de procéder à une communication téléphonique entre les deux postes.

**Q10.** Cliquer sur l'icône caméra du logiciel Ekiga, et vérifier qu'une fenêtre vidéo correspondant à la webcam du poste client s'ouvre. Appeler le poste GXV3240, décrocher ce dernier, et vérifier que vient s'ajouter, sur l'écran du poste client, une fenêtre vidéo correspondant à la webcam du téléphone GXV3240. Après avoir vérifié la transmission de la vidéo entre les deux postes, vérifier la bonne transmission de la voix (audio).

On souhaite mettre en évidence le protocole de signalisation SIP lors de l'établissement d'une communication visio-téléphonique entre les deux postes.

Pour cela, on propose de :

- lancer le logiciel d'analyse réseau Wireshark depuis le poste client ;
- sélectionner eth0 dans la fenêtre capture ;
- lancer la capture analyse réseau ;
- procéder à un appel de tm1 vers tl1 ;
- simuler une communication d'une vingtaine de secondes ;
- raccrocher ;
- stopper la capture ;
- appliquer à Wireshark le filtre d'analyse sip||rtp ;
- sélectionner dans le menu Telephony, VoIP Calls ;
- sélectionner le flux apparaissant dans la fenêtre supérieure et enfin cliquer sur Flow dans la fenêtre inférieure.

**Q11.** Sauvegarder puis commenter le diagramme de flux issu de la communication établie entre les deux postes, en expliquant les différentes méthodes et réponses visualisées.

On intègre désormais la tablette tactile au réseau de visio-téléphonie.

**Q12.** Préciser le réseau WiFi auquel on doit raccorder la tablette.

**Q13.** L'application GS Wave étant déjà configurée avec le compte tl7, vérifier qu'une communication peut s'établir entre la tablette et le poste GXV3240 d'une part, et entre la tablette et le poste client d'autre part.

**Q14.** Configurer pour terminer le poste GXV3240 de telle façon que tout appel entrant vers ce poste non servi en moins de 15 secondes soit redirigé vers la tablette (voir rubrique « Call Forward » page 70 du manuel utilisateur gxv240\_user\_guide.pdf, et plus précisément la figure 67 page 71). Tester le bon fonctionnement.

### 3. Création d'une chaîne de télévision privée

**Objectif :** ajouter au bouquet de chaînes TNT disponibles sur le téléviseur de chacune des chambres, une chaîne privée diffusant diverses informations locales (prévisions météo, animations prévues en ville, ...).

Pour les besoins de l'épreuve, nous nous limiterons à la plateforme présentée page suivante. On constate que le traitement de signal opéré par la plateforme est le suivant :

- le serveur transmet à la Set-Top-Box un flux IP correspondant à la vidéo proposée aux clients de l'hôtel ;
- la Set-Top-Box convertit ce flux IP en flux HDMI ;
- le modulateur TNT convertit le flux HDMI en flux hertzien conformément au standard de diffusion TNT.



A ce stade, dans l'hôtel, le signal hertzien serait transmis à une antenne de diffusion, mais nous nous limiterons pour cette épreuve, à transmettre ce signal directement sur l'entrée coaxiale d'un téléviseur (voir synoptique de la page 6). Précisons enfin que pour cette expérimentation, nous diffuserons sur cette chaîne locale, en lieu et place de la vidéo informationnelle, la vidéo Big Buck préenregistrée sur le serveur.

#### 3.1. Analyse du flux vidéo IP

On se propose de mettre en évidence le protocole RTSP permettant de contrôler à distance un serveur de streaming. On visualisera pour cela l'une des vidéos préenregistrées sur le serveur.

**Q15.** Activer le service RTSP à l'aide du panneau de commande de face avant de la baie.

**Q16.** Lancer, à partir du navigateur du poste client ouvert à l'adresse du serveur, la vidéo préenregistrée Big Buck, et vérifier que les fonctionnalités Play et Pause sont assurées.

On souhaite maintenant mettre en évidence le protocole RTSP. Pour cela, on propose de :

- lancer le logiciel d'analyse réseau Wireshark depuis le poste client ;
- sélectionner eth0 dans la fenêtre capture ;
- lancer la capture analyse réseau ;
- lancer la lecture du film Big Buck ;
- interrompre puis relancer la lecture à 2 reprises au cours du visionnage ;
- interrompre la lecture du film ;
- stopper la capture ;
- appliquer à Wireshark le filtre d'analyse rtsp ;
- sélectionner successivement à partir du menu Statistics, les options Flowgraph, Displayed packets, General Flow et enfin Standard source/destination addresses.

**Q17.** Sauvegarder puis commenter le diagramme de flux obtenu durant le visionnage du film.

### 3.2. Diffusion du flux vidéo sur réseau hertzien TNT

Pour cette dernière partie, il est demandé de mettre en œuvre l'analyseur de champ HD Ranger Lite dont la documentation est fournie dans le dossier « Ressources VDI » (fichier HDRANGERlite\_2.pdf).

On trouvera notamment :

- aux pages 4.34 à 4.40, les indications permettant de visualiser l'encombrement spectral d'un signal tel que demandé à la question 18 ;
- aux pages 7.58 et 7.59, les indications permettant de visualiser un diagramme de constellation tel que demandé à la question 19 ;
- aux pages 9.82 à 9.84, les indications permettant de sauvegarder des copies d'écran sur un ordinateur tel que demandé aux questions 18 et 19.

Pour récupérer les copies d'écran sauvegardées sur l'analyseur de champ, il faut connecter ce dernier sur le port USB du PC portable technicien, et lancer depuis le bureau de ce dernier le logiciel Netupdate dont la documentation est donnée dans le dossier ressources VDI (NetUpdate.pdf).

Il suffit ensuite, comme l'explique la documentation :

- de procéder à une phase de détection du matériel HD Ranger Lite (pages 10 à 12, figures 7 puis 8) ;
- de cliquer sur le bouton Ressource Updates ;
- de rapatrier les copies d'écran sauvegardées sur l'analyseur de champ vers le PC portable technicien (bouton Equipment to PC, pages 19 à 21).

Le modulateur TNT EN-206 a été préconfiguré de façon à émettre sur le canal 43 de la TNT.

**Q18.** Sachant que la fréquence centrale des canaux TNT est donnée par la formule  $f\text{MHz} = 306 + 8 \times \text{numéro de canal}$ , calculer la fréquence centrale du canal 43.

**Q19.** Lancer la vidéo Big Buck à partir de la console de commande de la Set Top Box située sur la baie, puis visualiser et mesurer à l'analyseur de champ l'encombrement spectral du canal 43. Effectuer une copie d'écran de l'encombrement spectral puis la mémoriser sur le PC portable technicien.

Le modulateur TNT a été préconfiguré pour assurer une modulation des signaux de bande de base conforme à la norme 64QAM, et l'analyseur de champ a la capacité de décoder le signal hertzien et d'en reconstituer le diagramme de constellation.

**Q20.** Visualiser et interpréter le diagramme de constellation proposé par l'analyseur de champ. Effectuer une copie d'écran du diagramme de constellation puis la mémoriser sur le PC portable technicien.

On se place désormais dans la configuration réelle où le modulateur TNT est connecté à une antenne d'émission pointant sur l'antenne de réception de l'hôtel (voir synoptique de la page 6).

**Q21.** Indiquer en quoi le diagramme de constellation visualisé à la question 19 serait modifié si l'antenne d'émission n'était pas parfaitement alignée sur l'antenne de réception. Quelles en seraient les conséquences sur la qualité de l'image TV ?

### **PREMIERE PHASE : TROISIEME PARTIE (DUREE ≈ 1H30)**

Le support DID@VDI mis à disposition sert d'outil de validation expérimentale d'étude des réseaux informatiques, en privilégiant le concept de convergence Voix, Données et Images. La séquence pédagogique à élaborer à partir de ce support, vise le niveau BTS Systèmes Numériques option Electronique et Communications.

Elle permet de faire acquérir aux étudiants concernés les compétences et savoir-faire décrits ci-après et extraits des pages 46, 97 ainsi que 110 à 112 du référentiel du BTS Systèmes Numériques option Electronique et Communications (voir dossier « Ressources VDI »).

#### COMPETENCES

C5 : Installer

C5.1 : Préparer la solution et le plan d'action

C5.2 : Mettre en œuvre une solution matérielle/logicielle en situation

C5.3 : Effectuer la recette d'un produit avec le client

#### SAVOIRS ASSOCIES

S7 : Réseaux, télécommunications et modes de transmission

S7.1 : Concepts fondamentaux de la transmission

S7.2 : Concepts fondamentaux des réseaux

S7.4 : Transmission sans fil

S7.5 : Télécommunications

S7.9 : Applications utilisateur

S8 : Tests et validation

S8.1 : Instruments de mesure

S8.2 : Modes opératoires

# Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel

## A. Présentation de l'épreuve

### Texte de référence

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée de la préparation des moyens de l'exposé : 30 minutes
- Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum, entretien avec le jury : 30 minutes)
- Coefficient 2

L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un des domaines 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 cycle terminal du lycée, en classes préparatoires aux grandes écoles, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie.

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système technique dont la dominante est choisie par le candidat. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs.

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 de son 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 totalement le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'études 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. Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs au moins avant le début des épreuves d'admission.

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

## B. Commentaires du jury

Au préalable, le jury souhaite souligner :

- qu'il est incompréhensible que plusieurs dossiers puissent être hors du périmètre de l'ingénierie informatique ou à sa marge ce qui est fortement pénalisant ; faut-il rappeler que le candidat doit réaliser un dossier technique et scientifique d'ingénierie informatique ?
- que le candidat doit s'appuyer sur des éléments authentiques du système présenté pour fonder ses développements scientifiques, technologiques et pédagogiques ;
- que le candidat doit énoncer clairement la ou les problématiques traitées.

### • Principaux conseils

L'épreuve de dossier nécessite anticipation, développements et préparation spécifique :

- le dossier réalisé par le candidat est relatif à un système authentique et actuel d'un domaine significatif de l'ingénierie informatique en sciences industrielles de l'ingénieur en lien avec des enjeux sociétaux. Les systèmes novateurs sont appréciés contrairement aux systèmes « anciens ». Les éléments fournis doivent permettre d'attester de l'implication et des apports personnels ;
- la ou les problématiques scientifiques et/ou technologiques sont à exprimer avec clarté et précision ;
- il est attendu du candidat un développement scientifique et technologique, personnel, d'ingénierie informatique, référencé dans le dossier. Il sera traité à un niveau équivalent au master 2 avec une démarche et des fondements scientifiques (théories, publications référencées, brevets, ...). La modélisation, l'implémentation, la programmation, l'architecture des systèmes, la communication (réseaux, IoT, IHM)..., sont des éléments essentiels de l'ingénierie informatique. Il est attendu du candidat qu'il utilise les outils « métiers » de l'ingénierie informatique adaptés aux problèmes traités ;
- il est attendu du candidat une analyse critique, une prise de recul, et des éléments de réponse et d'amélioration en rapport avec la problématique initiale annoncée ;
- une simple analyse d'un produit est hors sujet ;
- un partenariat industriel réel avec l'entreprise est demandé. En retour, les études et expertises conduites par le candidat sont communiquées à l'entreprise en vue d'une valorisation. Les éléments témoignant des échanges entre le ou la candidate et l'entreprise sont un gage d'authenticité. Il est souhaitable, dans la mesure du possible, qu'un accord de confidentialité soit signé entre les parties prenantes en vue de protéger les intérêts réciproques. En cas de confidentialité réclamée, il est impératif de la mentionner clairement dans le dossier ;
- les exploitations pédagogiques proposées doivent être en cohérence avec le système industriel, la problématique, et les développements scientifiques et technologiques. Une activité particulière (y compris évaluations) sera développée en cohérence avec le référentiel ou programme ciblé, et située dans une progression pédagogique sur un temps plus long. Les documents élèves de cette activité sont à présenter. Une attention particulière sur les stratégies pédagogiques est attendue ;
- l'innovation pédagogique utilisant des outils numériques « métiers » et connexes est appréciée.

### • Réalisation du dossier

La forme et la qualité de réalisation du dossier montrent que le candidat a réfléchi à la teneur du message qu'il souhaite communiquer aux membres du jury. Pour cela :

- les éléments figurant dans la clé USB doivent être cités dans le corps du texte du dossier chaque fois que nécessaire et référencés dans une annexe ;
- les règles de citation des sources (des tables, illustrations, articles, références ...) doivent être respectées ;
- le dossier doit comporter un titre, un sommaire, une conclusion et être paginé. Les tableaux, graphiques et annexes doivent être correctement référencés et récapitulés dans des tables dédiées ;

- le dossier ne doit en aucun cas être un manuel d'utilisation ou une documentation commerciale ;
- le dossier doit être rédigé dans une langue française soignée en tenant compte des règles grammaticales et orthographiques ;
- les développements et résultats des expérimentations et mesures réalisées doivent être référencés dans le dossier et présents en annexes ;
- l'exploitation pédagogique doit être développée en précisant les référentiels ou programmes choisis au regard de la spécialité ingénierie informatique, les compétences et connaissances associées et l'organisation matérielle des activités d'enseignement. Des propositions d'exploitation pédagogique dans une perspective d'activités pluri-technologiques ou interdisciplinaires sont appréciées ;
- les séquences proposées doivent s'inscrire dans une progression générale formalisée ;
- le dossier doit résulter d'un travail personnel du candidat. Le jury qui a étudié l'ensemble des dossiers au préalable utilise des moyens informatiques de détection de plagiat ;
- les dossiers doivent être parvenus au secrétariat du jury cinq jours ouvrés avant le début des épreuves d'admission. Le candidat doit envoyer ou déposer, en deux exemplaires, le dossier « papier » et la version numérique sur une clé USB.

- **Présentation orale**

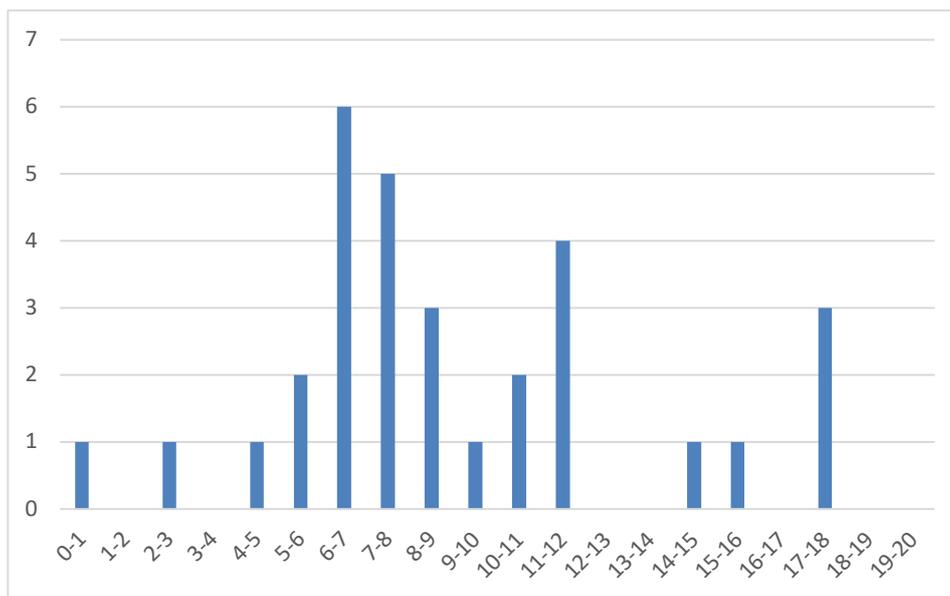
Durant les 30 minutes de l'exposé, le candidat doit mettre en valeur ses qualités de communicant pour expliquer ses choix, ses démarches et ses analyses, dans le champ de l'ingénierie informatique. Le jury veillera à ce que le candidat ne dépasse pas les 30 minutes autorisées. L'échange avec le jury permet d'approfondir certains points présentés dans le dossier ou durant l'exposé. Cet échange porte tant sur les développements scientifiques et technologiques que sur les propositions d'exploitation pédagogique qui en découlent. Le choix des éléments présentés à l'oral est important. Le candidat peut utiliser tout support permettant d'attester des réalisations (vidéo de présentation ou lien vers des démonstrations). Les documents vidéo-projetés doivent être lisibles.

Le jury élargit son questionnement pour vérifier que le candidat a entrepris une réelle réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur, ses interactions avec d'autres disciplines et les démarches pédagogiques ;
- les compétences (référentiel métier) qu'un enseignant doit développer ainsi que sur les missions qui lui sont confiées ;
- les situations au cours desquelles, en tant qu'agent du service public d'éducation, il est en position de faire partager les valeurs et les principes de la République.

## C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 9,21/20. L'écart-type est 4,13. La meilleure note est 18/20. La plus faible est 1/20. La moyenne des candidats admis est de 11,32/20.



Les candidats ont intégré pour partie les recommandations faites dans le rapport de jury de l'an dernier. Plusieurs candidats ont préparé soigneusement leur dossier et ont répondu avec de grandes qualités aux exigences de cette épreuve. *A contrario*, quelques candidats ont présenté des dossiers préparés dans l'urgence, ou re-présenté des dossiers sans les avoir actualisés ou qui sont insuffisamment en lien avec le domaine de l'ingénierie informatique, ce qui conduit à de mauvais résultats.

Il faut rappeler que l'épreuve de dossier nécessite anticipation, développements scientifiques, technologiques, pédagogiques, et une préparation spécifique.

## Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

« Lors des épreuves d'admission, outre les interrogations relatives aux sujets et à la discipline, le jury pose les questions qu'il juge utiles lui permettant d'apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à prendre en compte dans le cadre de son enseignement la construction des apprentissages des élèves et leurs besoins, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier, à en connaître de façon réfléchie le contexte, les différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

Le jury peut, à cet effet, prendre appui sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation fixé par l'arrêté du 1er juillet 2013. »

Texte de référence (<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>)

Le candidat doit prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multi-physiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;

- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
- ...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- le parcours citoyen et les valeurs républicaines à l'école (<http://eduscol.education.fr/cid46702/les-valeurs-de-la-republique.html>) ;
- les programmes d'enseignement moral et civique (<http://eduscol.education.fr/cid92403/l-emc-principes-et-objectifs.html>) ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Eduscol – sur la laïcité (<https://eduscol.education.fr/cid46673/ressources-nationales.html>) ;
- le parcours avenir (<http://eduscol.education.fr/cid46878/le-parcours-avenir.html>) ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture (<http://eduscol.education.fr/pid23410/le-socle-commun.html>) ;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (BOEN n°6 du 5 février 2015) ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- ...