



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

Concours de recrutement du second degré

Rapport de jury

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR

Option : Sciences de l'ingénieur et ingénierie électrique

Session 2017

Rapport de jury présenté par : Jean-Pierre COLLIGNON
Inspecteur général de l'éducation nationale

Président du jury

MODALITÉS DU CONCOURS DE L'AGRÉGATION INTERNE

Arrêtés du 25 novembre 2011, du 25 juin 2015 et du 19 avril 2016 modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation

Section sciences industrielles de l'ingénieur

L'agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur comprend quatre options :

- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie informatique.

Le choix est formulé au moment de l'inscription. Les candidats font l'objet d'un classement distinct selon l'option choisie. Un jury est institué pour chacune des options.

A – Epreuves écrites d'admissibilité

1°- Epreuve « analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique ».

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie.

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

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

Durée de l'épreuve : cinq heures ; coefficient 2.

2°- Epreuve « étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation ».

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Durée de l'épreuve : quatre heures ; coefficient 1.

B – Epreuves d'admission

1° - Epreuve « activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique ».

Pour certaines options, le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi deux qui lui sont proposés :

- “conception des systèmes mécaniques“ ou “industrialisation des systèmes mécaniques” pour l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique ;
- “systèmes d'information” ou “gestion de l'énergie” pour l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique ;
- “constructions” ou “énergétique” pour l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions.

Durée totale : six heures (activités pratiques : quatre heures ; préparation de l'exposé : une heure ; exposé : trente minutes maximum ; entretien : trente minutes maximum) ; 10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon ; coefficient 2.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité de l'agrégation. La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques de spécialité du cycle terminal “sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)” du lycée et des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie. L'épreuve a pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions.
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique. Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa proposition pédagogique.

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

2° - Epreuve sur dossier.

Durée de la préparation : une heure ; durée totale de l'épreuve : une heure heures (exposé : trente minutes maximum ; entretien : trente minutes maximum) ; coefficient 1.

L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un domaine de l'option préparée, suivie d'un entretien (présentation n'excédant pas trente minutes ; entretien avec le jury : trente minutes au maximum).

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en collège ou en lycée. L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants. L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes en collège ou en lycée.

Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et s'en faire préciser certains points. Les éléments constitutifs du dossier sont précisés par note publiée sur le site internet du ministère chargé de l'éducation nationale. Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

Agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique

COMPOSITION DU JURY – SESSION 2017

M. COLLIGNON Jean-Pierre	Inspecteur général de l'éducation nationale, président
M. IZAC Christel	Inspectrice d'académie, inspectrice pédagogique régionale, académie de Nantes, vice-présidente
M. PRIGENT Dominique	Inspecteur d'académie, inspecteur pédagogique régional, académie de Rennes, vice-président
M. ARBO Jacques	Professeur agrégé - Créteil
Mme BESSE Marie	Professeure agrégée - Toulouse
Mme BILDSTEIN Sylvie	Professeure agrégée - Lyon
Mme DURAND Catherine	Professeure agrégée – Marseille
M. GUERIN François	Maître de conférences - IUT GEII Le Havre
M JASMIN Christophe	Professeur agrégé - Besançon
M. MARTIN Baudouin	Professeur agrégé - Orléans-Tours
M. MICHEL Patrice	Professeur agrégé - Toulouse
M. OLLIVIER Alain	Professeur agrégé - Rennes
M. SIMON Thierry	Professeur agrégé - Strasbourg

Agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique

DONNEES QUANTITATIVES – SESSION 2017

Nombre de postes :	6
Nombre de candidats inscrits :	385
Nombre de candidats présents aux deux épreuves d'admissibilité :	239
Nombre de candidats admissibles :	20
Nombre de candidats admissibles présents aux deux épreuves d'admission :	19
Nombre de candidats admis :	6
Moyenne des candidats admissibles :	11,95
Moyenne du dernier admis :	12,59
Nombre d'admis option GE :	3
Nombre d'admis option SI :	3

Concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés.

DONNEES QUANTITATIVES – SESSION 2017

Nombre de postes :	2
Nombre de candidats inscrits :	56
Nombre de candidats présents aux deux épreuves d'admissibilité :	30
Nombre de candidats admissibles :	4
Nombre de candidats admissibles présents aux deux épreuves d'admission :	4
Nombre de candidats admis :	2
Moyenne des candidats admissibles :	10,79
Moyenne du dernier candidat admis :	11,18
Nombre d'admis option GE :	1
Nombre d'admis option SI :	1

Épreuves d'admissibilité

Remarques d'ordre général concernant les deux épreuves d'admissibilité :

- les questions doivent être lues attentivement afin de n'oublier aucune des réponses attendues ;
- les copies doivent être soignées (écriture lisible, orthographe, présentation claire des résultats) ;
- les notations de l'énoncé doivent être impérativement respectées ;
- les réponses doivent être données sous formes littérales, puis chaque grandeur doit être remplacée par sa valeur numérique en respect de sa position dans la relation de départ avant de donner le résultat numérique avec unité.

Épreuves d'admissibilité

Épreuve : analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique (1^{ère} épreuve)

Durée de l'épreuve : cinq heures ; coefficient 2.

Téléchargement du sujet :

Partie 1 :

http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_interne/56/7/s2017_agreg_interne_sii_1_1_705567.pdf

Partie 2 :

http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_interne/56/8/s2017_agreg_interne_sii_1_2_705568.pdf

A) Éléments de correction

Présentation

L'épreuve avait pour support la rame de métro de Los Teques (Venezuela) conçue par Alstom. La ville de Los Teques possède actuellement deux lignes de métro et envisage une extension afin de désenclaver une zone isolée de la commune, entre San Antonio et La Rinconada.

La société ALSTOM a fourni 22 trains Metropolis composés de 6 voitures chacun. Une partie de cette commande a été livrée à Los Teques pour alimenter la ligne existante. Pour la nouvelle ligne, la ville souhaite intégrer la mise en place de ce métro dans une démarche de développement durable et a choisi la société ALSTOM pour ses solutions également inscrites dans cette démarche. Il s'agit dans le sujet de vérifier si la solution d'ALSTOM convient pour cette extension de ligne.



Six parties distinctes devaient être traitées par les candidats :

Partie 1 : Vérification des bogies

Partie 2 : Confort des usagers

Partie 3 : Freinage

Partie 4 : Confort des utilisateurs – économie d'énergie - Ventilation

Partie 5 : Etude d'une dalle de station de métro

Partie 6 : Exploitation pédagogique

Partie 1. Vérification des bogies

- Exigence : Roulement d'une rame en courbe (DT1)

Question 1.1. A l'aide de la figure 2, déterminer l'expression du jeu j_{10} en fonction de L , c et b .

$$\frac{L}{2} = \frac{c}{2} + j_{10} + b \quad \text{d'où} \quad \boxed{j_{10} = \frac{L}{2} - \frac{c}{2} - b}$$

Question 1.2. En considérant le contact entre le boudin de la roue 1 et le rail extérieur présenté sur la figure 3, déterminer l'expression du diamètre D_{1max} en fonction du diamètre nominal D , du jeu j_{10} et de la pente S_w du cône de la roue 1 puis l'expression du diamètre D_{2min} en fonction du diamètre nominal D , des largeurs L et L_u , ainsi que de la pente S_w .

Du côté de la roue 1, on peut écrire :

$$\tan \alpha = S_w = \frac{D_{1max} - D}{2j_{10}} \quad \text{d'où} \quad \boxed{D_{1max} = 2j_{10} \cdot S_w + D}$$

Et pour la roue 2 :

$$\tan \alpha = S_w = \frac{D - D_{2min}}{2(L_u - \frac{L}{2})} \quad \text{d'où} \quad \boxed{D_{2min} = D - 2S_w(L_u - \frac{L}{2})}$$

Question 1.3. Exprimer le rayon R , de l'axe de voie, en fonction de l'écartement des voies e_c , des diamètres D_{1max} et D_{2min} ainsi que de la largeur des rails c .

Pour cela le candidat considèrera le roulement sans glissement qui permet d'écrire une relation entre D_{1max} , D_{2min} , R_{ext} et R_{int} . La condition de roulement sans glissement des roues impose les relations suivantes :

$$\text{Pour un tour d'essieu, l'angle parcouru sur la courbe est } \theta : \begin{cases} \pi \cdot D_{2min} = R_{int} \cdot \theta \\ \pi \cdot D_{1max} = R_{ext} \cdot \theta \end{cases}$$

$$\text{Par conséquent : } \frac{D_{2min}}{D_{1max}} = \frac{R_{int}}{R_{ext}}$$

$$\text{L'expression des rayons extérieur et intérieur est : } \begin{cases} R_{ext} = \frac{c}{2} + \frac{e_c}{2} + R \\ R_{int} = -\frac{c}{2} - \frac{e_c}{2} + R \end{cases}$$

En remplaçant dans l'expression du rapport des diamètres, on obtient :

$$\boxed{R = \frac{(e_c + c)(D_{1max} + D_{2min})}{2(D_{1max} - D_{2min})}}$$

Question 1.4. Calculer numériquement le rayon minimal que devront avoir les courbes de la ligne de métro. Pour un parcours sinueux avec des rayons de courbes petits, comment faut-il choisir le diamètre D des roues et la pente S_w ?

$$j_{10} = \frac{135}{2} - \frac{65}{2} - 22 = 13 \text{ mm} \quad D_{1max} = 2 \times 13 \times 0,05 + 840 = 841,3 \text{ mm}$$

$$D_{2min} = 840 - 2 \times 0,05 \times \left(119 - \frac{135}{2}\right) = 834,85 \text{ mm}$$

$$\text{Enfin : } R = \frac{(1455+65)}{2} \times \frac{(841,3+834,83)}{(841,3-834,83)} \approx 197,5 \times 10^3 \text{ mm}$$

Le rayon minimal pour respecter le roulement en cône est de 197.5m. En exprimant le rayon R en fonction de D et S_w , on obtient :

$$R = (e_c + c) \left(\frac{j_{10} - L_u + \frac{L}{2}}{j_{10} + L_u - \frac{L}{2}} + \frac{D}{(j_{10} + L_u - \frac{L}{2}) S_w} \right)$$

Pour un parcours sinueux, il vaut mieux choisir des petites roues avec un angle α grand.

Question 1.5. Conclure par rapport à l'exigence du cahier des charges.

Le cahier des charges impose de pouvoir circuler sur des voies dont le rayon de courbure est supérieur à 200 mètres. La condition est donc validée.

- Exigence – Renversement du train (DT1)

Question 1.6. En appliquant le principe fondamental de la dynamique en A, trouver une équation scalaire permettant d'exprimer N_2 .

On appelle p le nombre d'essieu par voiture. Le bilan des actions mécaniques est :

- Pesanteur en G' : $m\vec{g} = -mg\vec{Y}$
- Action en A : $T_1\vec{x} + N_1\vec{y}$
- Action en B : $T_2\vec{x} + N_2\vec{y}$
- Force centrifuge en G' : $-\frac{mV^2}{R}\vec{X}$

Théorème du moment dynamique en A appliqué à une voiture en projection sur l'axe z :

$$\overrightarrow{AG'} \wedge (-mg\vec{Y}) + p \times \overrightarrow{AB} \wedge (T_2\vec{x} + N_2\vec{y}) + \overrightarrow{AG'} \wedge \left(-\frac{mV^2}{R}\vec{X} \right) = \vec{0}$$

D'où :

$$N_2 = \frac{1}{p} \left(\frac{L}{e} mg - \frac{H mV^2}{e R} \right)$$

On prendra pour la suite : $L = \left(\frac{e}{2} - s \right) \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} + H \cdot \tan(\alpha)$

Question 1.7. Exprimer la condition de non renversement et montrer que le facteur de sécurité au renversement peut se mettre sous la forme suivante (α restant petit) :

$$n = \frac{\left(\frac{e}{2} - s \right)}{\left(\frac{V^2}{gR} - \frac{h}{e} \right) H}$$

La condition de non-renversement se traduit par $N_2 > 0$. En remplaçant L par l'expression donnée dans le sujet, on obtient :

$$\left(\left(\frac{e}{2} - s \right) \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} + H \cdot \tan(\alpha) \right) \frac{mg}{e} - \frac{H mV^2}{e R} > 0 \Leftrightarrow \frac{\left(\frac{e}{2} - s \right) \frac{g}{\cos\alpha}}{\left(\frac{V^2}{R} - \frac{gh}{e \cos\alpha} \right) H} > 1$$

On pose n le facteur de sécurité au renversement :

$$n = \frac{\left(\frac{e-s}{2}\right) \frac{g}{\cos\alpha}}{\left(\frac{v^2}{R} - \frac{gh}{e \cos\alpha}\right) H}, \quad \alpha \text{ étant petit, } n = \frac{\left(\frac{e-s}{2}\right)}{\left(\frac{v^2}{gR} - \frac{h}{e}\right) H}$$

Question 1.8. On limite l'accélération transversale à 1,12 m/s² pour le confort des passagers. Déterminer numériquement le facteur de sécurité n et conclure vis-à-vis du cahier des charges. h = 100 mm ; s = 10 cm ; H = 1,5 m ; e = 1,520 m ; g = 9,81 m/s².

L'accélération transversale est égal à $\frac{v^2}{R}$.

$$n = \frac{\left(\frac{1,52}{2} - 0,1\right)}{\left(\frac{1,12}{9,81} - \frac{0,1}{1,52}\right) \times 1,5} \approx 9,1$$

Le cahier des charges indique que le coefficient de renversement doit être supérieur à 5. La condition est donc validée.

Partie 2. Confort des usagers

- Exigence : Stabilité (DT1)

Question : 2.1. Exprimer les raideurs k_1 et k_2 du modèle en fonction des raideurs k et K du modèle de suspension primaire et secondaire.

D'après l'énoncé, $k_1 = 4k$ et $k_2 = K$.

Question : 2.2. Ecrire les deux équations différentielles qui régissent les mouvements des masses m et M/2.

En appliquant le théorème de la résultante dynamique à la masse M/2 et également à la masse m, en projection sur l'axe \vec{y} , on obtient :

$$\begin{cases} \frac{M}{2} \ddot{y}_2 = -k_2(y_2 - y_1) \\ m \ddot{y}_1 = -k_1 y_1 - k_2(y_1 - y_2) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{M}{2} \ddot{y}_2 + k_2 y_2 = k_2 y_1 \\ m \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 = k_2 y_2 \end{cases}$$

Question : 2.3. Quel est l'intérêt d'analyser les fréquences propres ?

Déterminer les fréquences propres d'un système mécanique permet d'identifier les fréquences qui seront néfastes au système lorsque celui-ci sera excité. Si la ruine du système n'intervient pas, c'est le confort d'utilisation qui peut être pénalisé.

Question : 2.4. Lorsque l'on excite le système avec une force sinusoïdale sur la masse M/2, on obtient la réponse en module du déplacement de y_1 de la figure 6. Justifier l'allure de la courbe et conclure quant au cahier des charges.

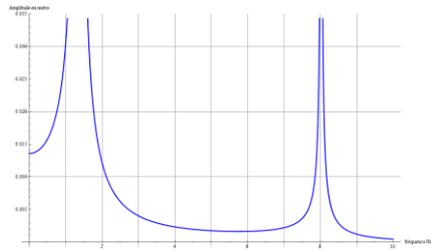


Figure 6 : Analyse fréquentielle de la suspension

Les deux pics à l'infini de la courbe correspondent aux fréquences propres du système. La première se situe à 1,35 Hz et la deuxième à 8 Hz. Le modèle de calcul ne comportant pas d'amortissement, l'amplitude à la résonance tend vers l'infini. Lorsque la fréquence de l'excitation dépasse 10Hz, l'amplitude tend vers zéro.

Question : 2.5. Sur le document DR1 compléter le schéma du modèle de simulation de la suspension étudiée en précisant les valeurs des paramètres des blocs rajoutés. Identifier les éléments de la suspension et indiquer les données d'entrée et de sortie du modèle de simulation.

Le schéma du modèle de simulation de la suspension est défini à la figure ci-dessous. En le lisant de haut en bas, on y retrouve la masse $M/2$ d'une demi-caisse puis le ressort de la suspension secondaire K . Vient ensuite la masse du m du bogie et les 4 ressorts de la suspension primaire. En entrée, on a une excitation sinusoïdale sur la masse $M/2$. En sortie, on récupère les déplacements des deux masses.

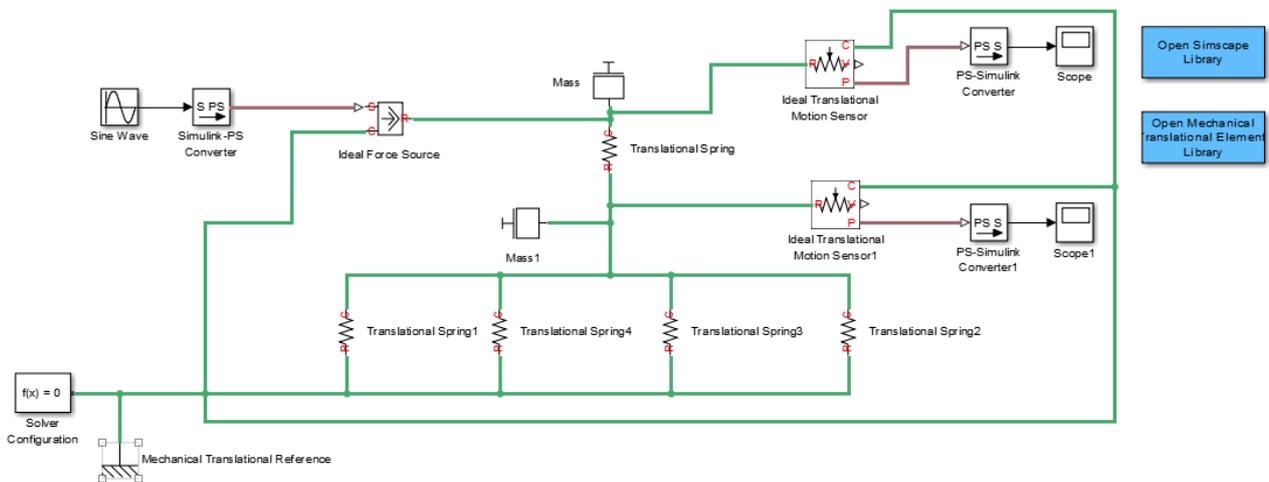


Schéma du modèle de simulation de la suspension étudiée

Question : 2.6. La figure 7 présente la réponse fréquentielle de la suspension du modèle Simscape avec amortissement. Commenter les modifications apportées sur la réponse fréquentielle.

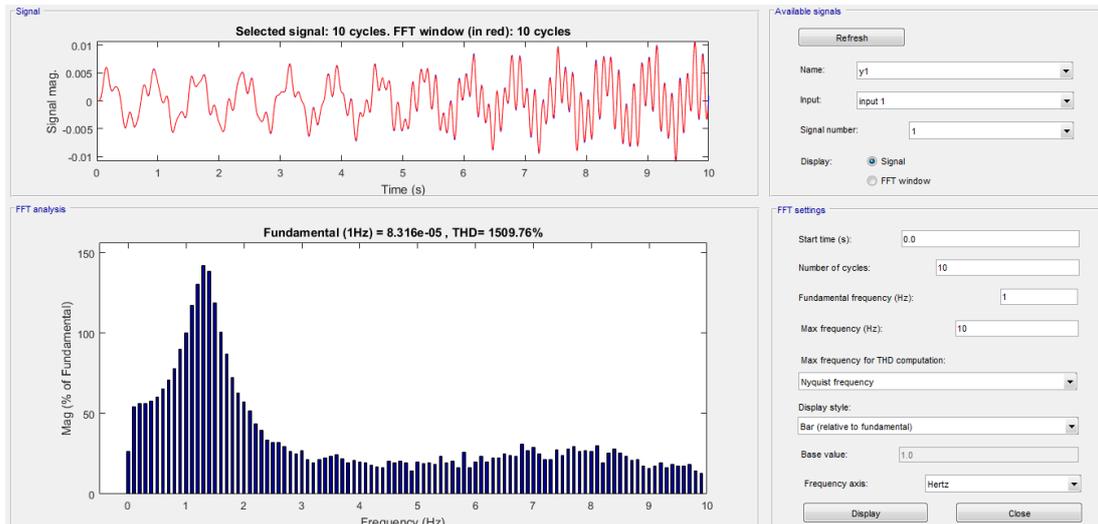


Figure 7 : Analyse fréquentielle Simscape

L'amortissement apporté à la suspension a permis d'atténuer les amplitudes aux fréquences de résonance. L'atténuation est plus marquée sur la deuxième fréquence où le pic de résonance a quasiment disparu.

Partie 3. Freinage

- Exigence : Arrêt d'urgence (DT1)

Question 3.1. Calculer la décélération (supposée constante) liée au freinage. En déduire la distance et le temps de freinage de la rame de métro.

Le nombre de roues de la rame de métro est $n=48$. Par ailleurs, la masse freinée par une roue est $M=7250$ kg. Au point de fonctionnement F, on peut écrire :

$$R_x = \mu \cdot R_y = \mu \cdot M \cdot g \Rightarrow AN: R_x = 9957,15N$$

$$n \cdot M \cdot \frac{dV_T}{dt} = - \sum_{i=1}^n R_{x_i}$$

$$A_T = \frac{dV_T}{dt} = - \frac{R_x}{M} \Rightarrow AN: A_T = -1,3734 \text{ m/s}^2$$

On peut donc en déduire le temps de freinage (t_f) :

$$V_T(t) = A_T \cdot t + V_{T0} \text{ avec } V_{T0} = 8,33 \text{ m/s (30 Km/h)}$$

$$\text{à } t = t_f, V_T(t_f) = 0 \Rightarrow t_f = - \frac{V_{T0}}{A_T} \Rightarrow AN: t_f = 6 \text{ s}$$

Puis la distance de freinage (D_T) :

$$D_T(t) = A_T \cdot \frac{t^2}{2} + V_{T0} \cdot t + D_T(0) \text{ avec } D_T(0) = 0$$

$$\text{à } t = t_f, D_T(t_f) = A_T \cdot \frac{t_f^2}{2} + V_{T0} \cdot t_f \Rightarrow AN: D_T(t_f) = 25,27 \text{ m/s}$$

Question 3.2. En linéarisant le comportement du facteur de freinage (μ) au voisinage du point de fonctionnement F (figure 12), déterminer la valeur de $f'(s_0)$.

Au voisinage du point de fonctionnement F, on peut considérer que le facteur de freinage évolue linéairement (entre B et C) donc :

$$f'(S_0) = \frac{\Delta\mu}{\Delta S} \Rightarrow AN: f'(S_0) = \frac{0.155 - 0.125}{0.125 - 0.075} = 0,6$$

Question 3.3. Montrer que la fonction de transfert entre le glissement (s) et la force de freinage (fr) peut s'écrire $H_2(p) = \frac{S(p)}{Fr(p)} = \frac{K_2}{1 + \tau_2 \cdot p}$. Vous donnerez l'expression littérale et la valeur numérique du gain statique K_2 et de la constante de temps τ_2 .

A partir de l'équation différentielle (2), on peut écrire :

$$J \cdot V_{T0} \cdot p \cdot S(p) + r^2 \cdot M \cdot g \cdot f'(S_0) \cdot S(p) = r^2 \cdot Fr(p)$$

$$S(p) \cdot (r^2 \cdot M \cdot g \cdot f'(S_0) + J \cdot V_{T0} \cdot p) = r^2 \cdot Fr(p)$$

$$\Rightarrow S(p) = \frac{\frac{1}{M \cdot g \cdot f'(S_0)}}{1 + \frac{J \cdot V_{T0}}{r^2 \cdot M \cdot g \cdot f'(S_0)} \cdot p} \cdot Fr(p) = \frac{K_2}{1 + \tau_2 \cdot p} \cdot Fr(p)$$

$$\text{avec } K_2 = \frac{1}{M \cdot g \cdot f'(S_0)} \Rightarrow AN : K_2 = 23,44 \cdot 10^{-6} N^{-1}$$

$$\text{avec } \tau_2 = \frac{J \cdot V_{T0}}{r^2 \cdot M \cdot g \cdot f'(S_0)} \Rightarrow AN : \tau_2 = 0,7s$$

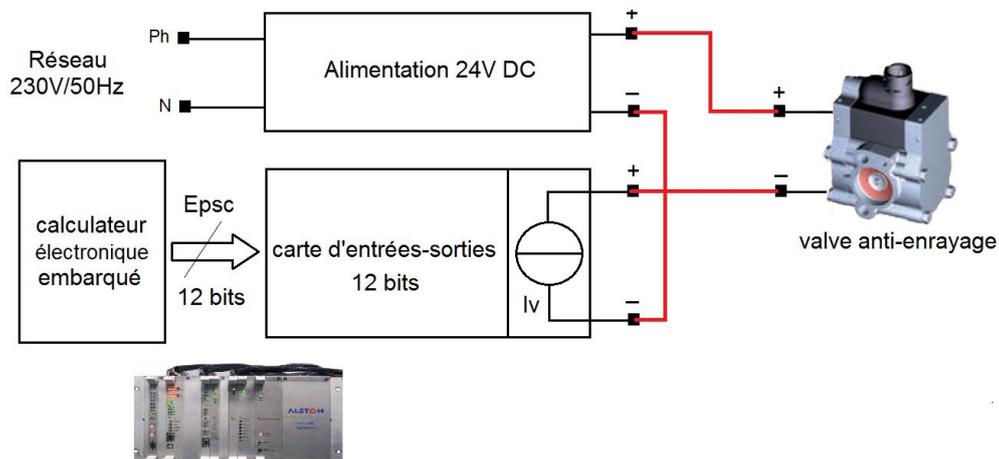
Question 3.4. En régime établi, calculer la valeur de la force de freinage (Fr_0) qui permettra d'obtenir le glissement souhaité au point de fonctionnement F (figure 12).

On suppose que l'entrée du système est un échelon d'amplitude Fr_0 dont on détermine la valeur avec le théorème de la valeur finale :

$$\Rightarrow S(p) = \frac{K_2}{1 + \tau_2 \cdot p} \cdot \frac{Fr_0}{p}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot S(p) = K_2 \cdot Fr_0 = S_0 \Rightarrow AN : Fr_0 = 4266,2N$$

Question 3.5. Représenter le câblage de la valve anti-enrayage (document DR2).



Question 3.6. Déterminer la relation permettant de calculer le courant dans la boucle (I_V) à partir du nombre binaire 12 bits non signé ($Epsc$) issu du régulateur PID mixte (figure 13). En déduire la valeur du gain K_i ($K_i = dI_V/dEpsc$) correspondant à l'interface de sortie analogique (figure 13).

Le nombre $Epsc$ est codé sur 12 bits (n), il peut donc varier entre 0 et 4095 :

$$\Rightarrow I_V(mA) = 4 + \frac{16}{2^n} \cdot EpSC$$

$$\Rightarrow K_i = \frac{dI_V}{dEpSC} = \frac{16}{2^n} \Rightarrow AN : K_i = \frac{16}{2^{12}} = 0,0039 \text{ mA/inc}$$

Question 3.7. La mesure de la vitesse angulaire de la roue (ω_r) s'effectue en comptant (entrée compteur 24 bits de la carte d'entrées-sorties) le nombre de périodes (n) du signal issu du montage (V_{OUT}) associé au capteur de vitesse KMI15/16 dans une fenêtre temporelle de largeur Δt . Déterminer (en l'absence de glissement (s)) la relation permettant de calculer la vitesse circonférentielle (V) de la roue en fonction de r , n , N et Δt .

D'une manière générale, on peut écrire : $V_T(t) = r \cdot \omega_r(t) = r \frac{d\theta_r}{dt}$

Si le compteur 24 bits compte n périodes dans un temps Δt , la vitesse V_T est donnée par :

$$V_T = r \cdot \frac{\frac{n}{N} \cdot 2 \cdot \pi}{\Delta t}$$

Question 3.8. Déterminer (en l'absence de glissement (s)) le nombre de périodes (n) du signal issu du montage (V_{OUT}) associé au capteur de vitesse KMI15/16 lorsque la rame de métro se déplace à 30 km/h (la largeur de la fenêtre temporelle Δt est supposée égale à 500 ms).

Si la rame de métro se déplace à une vitesse (V_T) de 30 km/h (8,33 m/s), le nombre d'impulsions comptées est :

$$n = \frac{V_T \cdot N \cdot \Delta t}{2 \cdot \pi \cdot r} \Rightarrow AN : n = 126$$

Question 3.9. On se propose de régler les paramètres (T_i, T_d) du régulateur PID mixte de manière à compenser les pôles de la fonction de transfert $H_1(p)$. Déterminer la valeur des constantes de temps intégrale (T_i) et dérivée (T_d) à implanter dans le régulateur PID mixte.

La compensation des pôles de la fonction de transfert $H_1(p)$ conduit à donner aux constantes de temps intégrale (T_i) et dérivée (T_d) les valeurs suivantes :

$$T_i = T_1 + T_2 \Rightarrow AN : T_i = 0,25 \text{ s}$$

$$T_d = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_i} \Rightarrow AN : T_d = 0,04 \text{ s}$$

Question 3.10. Calculer l'erreur (Eps) statique (justifier le résultat obtenu). Quelle action du régulateur (Proportionnelle, Intégrale ou Dérivée) permet de satisfaire l'exigence relative aux variations d'adhérence (justifier votre réponse) ?

Le calcul de l'erreur (Eps) en réponse à une variation d'adhérence (considérée comme une force perturbatrice externe F_a) s'effectue à partir du schéma fonctionnel en boucle fermée (voir la figure 15) :

$$Eps(p) = \frac{-K_s \cdot H_2(p)}{1 + C(p) \cdot H_1(p) \cdot H_2(p) \cdot K_i \cdot K_s} \cdot Fa(p) \text{ avec } Fa(p) = \frac{100}{p}$$

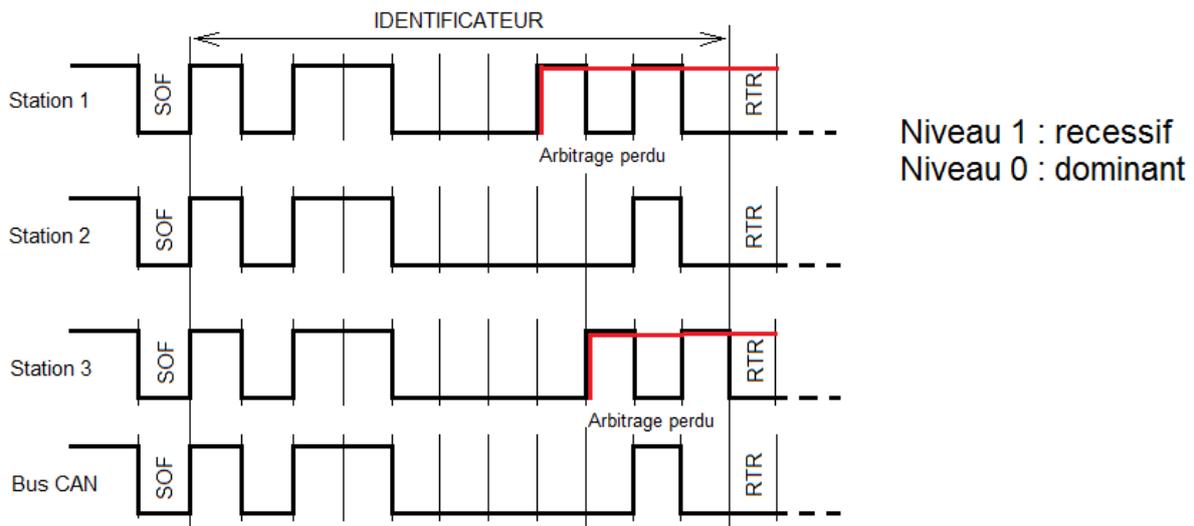
On obtient l'erreur statique en appliquant le théorème de la valeur finale :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Eps(t) = \lim_{p \rightarrow 0} P. Eps(p) = 0$$

C'est l'action intégrale qui permet d'obtenir ce résultat. La commande appliquée au système augmente (effet de l'intégration) tant que l'erreur statique n'est pas nulle.

Question 3.11. Trois stations cherchent à émettre des données sur le bus CAN (document réponse 3), compléter le chronogramme représentant l'activité résultante sur le bus. Préciser quelle station réussira (arbitrage) à transmettre ses informations sur le bus CAN. Justifier votre réponse.

Trois stations essaient d'envoyer un message sur le bus CAN. L'arbitrage (bit à bit) s'effectue pendant la phase d'envoi de l'identificateur. Lorsqu'un bit dominant est envoyé, les stations qui émettent un bit récessif perdent l'arbitrage et doivent rester inactive (dans l'état récessif). Dans notre cas, c'est la station 2 qui remporte l'arbitrage et émettra sur le bus CAN.



Question 3.12. Déterminer les longueurs minimum et maximum (en bits) d'une trame de données (document DT4) circulant sur le bus CAN (sans bitstuffing).

Les longueurs minimale (Lmin) et maximale (Lmax) d'une trame sont :

$$L_{min} = 1(\text{SOF}) + 11(\text{ID}) + 3(\text{RTR, IDE, R0}) + 4(\text{DLC}) + 0(\text{DATA}) + 16(\text{CRC}) + 2 + 7 = 44 \text{ bits}$$

$$L_{max} = 1(\text{SOF}) + 11(\text{ID}) + 3(\text{RTR, IDE, R0}) + 4(\text{DLC}) + 64(\text{DATA}) + 16(\text{CRC}) + 2 + 7 = 108 \text{ bits}$$

Question 3.13. Calculer le rendement du protocole CAN standard 2.0 A lorsque l'on émet une trame de données complète (document DT4).

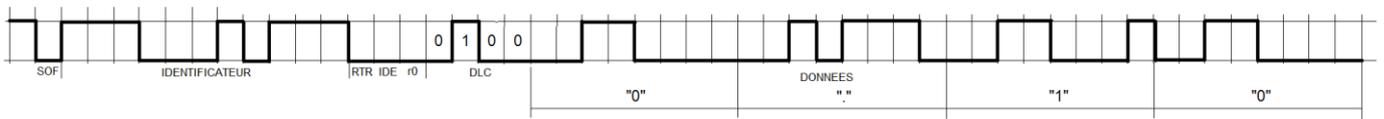
Le rendement est :

$$\eta = \frac{\text{Données utiles}}{L_{max}} \Rightarrow \text{AN} : \eta = \frac{64}{108} = 59,25\%$$

Question 3.14. Sur le document réponse 3, compléter la trame (sans le champ CRC) envoyée au système de freinage anti-enrayage (WSP - Wheel Slide Protection) lorsque le système de gestion de la rame de métro émet la consigne de glissement « 0.10 » codée en ASCII (documents DT4 et DT5).

La chaîne de caractères comporte 4 octets, le champ DLC est donc codé 0100.

En hexadécimal, le code ascii de « 0 » est 30 (00110000 en binaire).
 En hexadécimal, le code ascii de « 1 » est 31 (00110001 en binaire).
 En hexadécimal, le code ascii de « . » est 2E (00101110 en binaire).



Partie 4. Confort des utilisateurs – économie d’énergie - Ventilation

Question 4.1. Déterminer la vitesse moyenne d’écoulement de l’air v en $m \cdot s^{-1}$ dans l’échangeur pour l’air neuf et l’air extrait.

Calcul du débit-volume d’air neuf nécessaire : $\dot{V}_{AN} = \frac{n \times \dot{V}_U}{3600}$, avec \dot{V}_U , le débit-volume en $m^3 \cdot h^{-1}$ correspondant au besoin d’une personne et n le nombre de personnes.

Application numérique : $\dot{V}_{AN} = \frac{150 \times 30}{3600} = 0,833 m^3 \cdot s^{-1}$

Calcul de la vitesse moyenne d’écoulement de l’air neuf : $v = \frac{\dot{V}_{AN}}{a \times b}$

Application numérique : $v = \frac{0,833}{0,45 \times 0,15} = 12,3 m \cdot s^{-1}$

Les débits massiques de l’air neuf et de l’air extrait étant identiques et la masse volumique de l’air constante on en déduit que $\dot{V}_{AN} = \dot{V}_{AE}$ et donc que la vitesse d’écoulement de l’air repris est égale à celle de l’air neuf.

Question 4.2. Calculer la perte de charge linéique sur l’air neuf et l’air extrait.

Le calcul de la perte de charge linéique est identique sur l’air neuf et sur l’air repris.

Calcul du diamètre hydraulique de la gaine rectangulaire : $D_h = \frac{2ab}{a+b}$

Application numérique : $D_h = \frac{2 \times 0,45 \times 0,15}{0,45 + 0,15} = 0,225 m$

Calcul de j : $j = 0,012 \times \frac{v^{1,8}}{d_h^{1,2}}$

Application numérique : $j = 0,012 \times \frac{12,3^{1,8}}{0,225^{1,2}} = 6,6 Pa \cdot m^{-1}$

Question 4.3. Les pertes de charge dues aux frottements sont transformées en chaleur. Calculer la puissance thermique linéaire p en $W \cdot m^{-1}$ récupérée par chaque fluide.

Les pertes de charge dues aux frottements sur la longueur de la gaine sont égales à $\Delta P_F = jL$

La puissance mécanique perdue due aux frottements sur la longueur de la gaine est : $\dot{W}_{Perdue} = \dot{V} \Delta P_F$

En supposant que cette puissance mécanique perdue est transformée en chaleur et entièrement récupérée par le fluide, on définit la puissance thermique linéaire de la manière suivante : $p = \frac{\dot{V} \Delta P_F}{L}$,

c’est-à-dire $p = \dot{V} j$

Application numérique: $p = 0,833 \times 6,6 = 5,5 W \cdot m^{-1}$

Question 4.4. Calculer le coefficient d'échange U de l'échangeur sachant que les coefficients d'échanges superficiels entre le fluide chaud (air neuf) et la paroi et le fluide froid (air extrait) et la paroi sont identiques $h_C = h_F$.

Calcul de la résistance thermique entre l'air neuf et l'air repris: $r = \frac{1}{h_C} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_F}$

Application numérique: $r = \frac{1}{40} + \frac{0,002}{50} + \frac{1}{40} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Calcul du coefficient de l'échangeur: $U = \frac{1}{r}$ Application numérique: $U = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Question 4.5. Après avoir brièvement expliqué la signification de ces deux grandeurs, donner leur valeur numérique respective puis commenter les résultats.

Calcul du NUT : $\text{NUT} = \frac{US}{\dot{m}c_p}$, avec $S = \alpha \times L$ et $\dot{m} = \rho \dot{V}$. On obtient $\text{NUT} = \frac{U\alpha L}{\rho \dot{V} c_p}$

Application numérique: $\text{NUT} = \frac{20 \times 0,45 \times 70}{1,2 \times 0,833 \times 1000} = 0,63$

Le NUT caractérise la qualité de l'échange thermique dans le récupérateur.

Calcul du coefficient A : $A = \frac{p}{\dot{m}c} = \frac{p}{\rho \dot{V} c}$

Application numérique : $A = \frac{5,5}{1,2 \times 0,833 \times 1000} = 0,0055 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$

Le coefficient A permet de caractériser l'élévation de température sur l'air due aux frottements.

Question 4.6. Après avoir établi la valeur de la température de rosée de l'air extérieur, montrer qu'il n'existe pas de risque de condensation dans l'échangeur.

Pression de vapeur saturante de l'eau à la température extérieure : $P_{VS} = 10^{\frac{7,625 \times t}{241+t} + 2,7877}$

Application numérique: $P_{VS} = 10^{\frac{7,625 \times 35}{241+35} + 2,7877} = 5684 \text{ Pa}$

Pression partielle de vapeur d'eau de l'air extérieur: $P_{VE} = \frac{HR}{100} \times P_{VS}$

Application numérique: $P_V = 0,5 \times 5684 = 2842 \text{ Pa}$

Calcul de la température de rosée de l'air extérieur :

On cherche la température pour laquelle $P_{VS} = P_{VE} = 2842 \text{ Pa}$:

$$10^{\frac{7,625 t_R}{241+t_R} + 2,7877} = 2842 \text{ Pa}, \text{ ce qui donne } t_R = \frac{241(\log(2842) - 2,7877)}{7,625 - \log(2842) + 2,7877} = 23,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

On constate que la température intérieure est supérieure à la température de rosée de l'air extérieur. Il n'existe donc pas de risque de condensation à l'intérieur du récupérateur.

Question 4.7. A partir d'un bilan thermique global sur l'échangeur, montrer que $T_{CE} - T_{CS} = T_{FS} - T_{FE} - 2AL$

Bilan thermique sur l'échangeur : $\underbrace{\dot{m}CT_{CE} + \dot{m}CT_{FE}}_{\text{Flux enthalpiques ENTRANTS}} + \underbrace{2PL}_{\text{Création de chaleur due aux frottements}} = \underbrace{\dot{m}CT_{CS} + \dot{m}CT_{FS}}_{\text{Flux enthalpiques SORTANTS}}$

On obtient $\dot{m}C(T_{CE} - T_{CS}) + 2PL = \dot{m}C(T_{FS} - T_{FE})$

Puis $T_{CE} - T_{CS} + \frac{2PL}{\dot{m}C} = T_{FS} - T_{FE}$ et donc $T_{CE} - T_{CS} = T_{FS} - T_{FE} - 2AL$

Question 4.8. Calculer la température de l'air neuf en sortie de l'échangeur, puis la puissance de refroidissement de l'air neuf économisée grâce au récupérateur. Que devient cette puissance si on ne tient plus compte de l'apport de chaleur dû aux pertes de charge ? Commenter.

A partir des deux relations sur les températures on en déduit que : $T_{CE} - T_{CS} = \frac{NUT}{NUT+1}(T_{CE} - T_{FE}) + AL - 2AL$

Ainsi : $T_{CS} = T_{CE} - \frac{NUT}{NUT+1}(T_{CE} - T_{FE}) + AL$

Application numérique : $T_{CS} = 35 - \frac{0,63}{0,63+1}(35 - 25) + 0,0055 \times 70 = 31,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Calcul de la puissance de refroidissement économisée : $\Phi_E = \dot{m}C(T_{CE} - T_{CS}) = 3,5 \text{ kW}$

Dans le cas où on ne tiendrait plus compte de l'apport de chaleur dû aux pertes de charge la relation permettant d'obtenir la température de sortie de l'air extérieur devient :

$T_{CS} = T_{CE} - \frac{NUT}{NUT+1}(T_{CE} - T_{FE})$

Application numérique : $T_{CS} = 35 - \frac{0,63}{0,63+1}(35 - 25) = 31,1 \text{ } ^\circ\text{C}$

La puissance de refroidissement économisée devient : $\Phi_E = \dot{m}C(T_{CE} - T_{CS}) = 3,9 \text{ kW}$

A partir de notre modèle, ne pas tenir compte de l'apport de chaleur dû aux pertes de charge entraîne une erreur $\text{Err} = 100 \times \frac{3,9 - 3,5}{3,5} = 10\%$.

Partie 5. Etude d'une dalle de station de métro

Question 5.1. Déterminer la longueur de la portée entre appuis de cette zone de dalle en prenant en considération les indications de l'Eurocode 2.

Le document technique DT issu de l'EURODE 2 donne la définition de la portée utile suivante :

$l_{\text{eff}} = l_n + a_1 + a_2$, avec l_n la distance libre entre les nus des appuis et :

$$a_1 = a_2 = \min\left(\frac{h}{2}; \frac{t}{2}\right) = \min\left(\frac{0,75}{2}; \frac{0,5}{2}\right) = 0,25 \text{ m}$$

$$l_n = 3,17 + 0,15 + 7,6 + 0,15 + 3,17 = 14,24 \text{ m D'où } l_{\text{eff}} = 14,24 + 0,25 + 0,25 = 14,74 \text{ m}$$

Question 5.2. A partir du DT7 déterminer la valeur des charges permanentes linéiques « G » et des charges d'exploitation linéiques (Q). Ces charges linéiques seront exprimées en $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ arrondies à 0,1 près. En déduire la valeur de la combinaison d'actions à l'état limite ultime (E.L.U.) s'exerçant sur la dalle.

Calcul de la valeur des charges permanentes linéiques G :

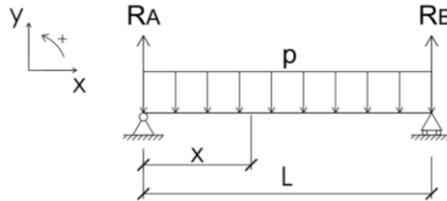
- Poids linéique du béton : $P_{\text{linbét}} = \rho_{\text{bét}} \times g \times l \times h = 2500 \times 10 \times 1 \times 0,75 = 18750 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$
- Poids linéique des carreaux : $P_{\text{linbét}} = m_{\text{scar}} \times g \times l = 20 \times 10 \times 1 = 200 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ avec $m_{\text{scar}} = 20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$
- Poids linéique de la chape : $P_{\text{lincha}} = m_{\text{scha}} \times g \times l \times h = 20 \times 10 \times 1 \times 5 = 1000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ avec $m_{\text{scha}} = 20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ par cm d'épaisseur

On obtient $G = 19950 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1} = 19,95 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$

Calcul de la valeur des charges d'exploitation linéiques : $Q = p_s \times l = 4 \times 1 = 4 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$

Calcul de la résultante aux E.L.U : $\text{ELU} = 1,35G + 1,5Q = 32,9 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$

Question 5.3. Représenter en justifiant, le schéma mécanique de la dalle avec ses liaisons, son chargement, ses dimensions et le système d'axes qui lui est associé. Cette représentation sera conforme à celle usuellement utilisée en mécanique des poutres.



Question 5.4. Tracer le diagramme de variation du moment fléchissant M_{fz} le long de cette zone de dalle. Indiquer la valeur maximale du moment M_{fzmax} .

Calcul des réactions R_A et R_B :

Equation statique des moments en B : $\sum M_B = 0$, on a donc : $R_A L - \frac{pL^2}{2} = 0$

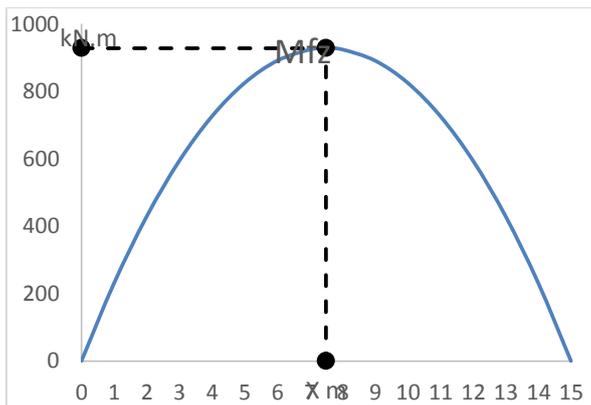
d'où $R_A = \frac{pL}{2}$ et $R_A = R_B$ (symétrie).

Le moment fléchissant M_{fz} en une section d'abscisse x de la poutre est donné en écrivant l'équation d'équilibre statique des moments agissant sur le tronçon de la poutre à gauche de la section d'abscisse x.

Ce qui donne : $\sum M_x = 0$

$R_A x - \frac{px^2}{2} - M_{fz} = 0$, ce qui donne pour $0 \leq x \leq L$, $M_{fz} = \frac{pL}{2}(L - x)$

Valeur maximale pour $x = \frac{L}{2}$, ce qui donne $M_{fz} = \frac{pL^2}{8} = 928,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$



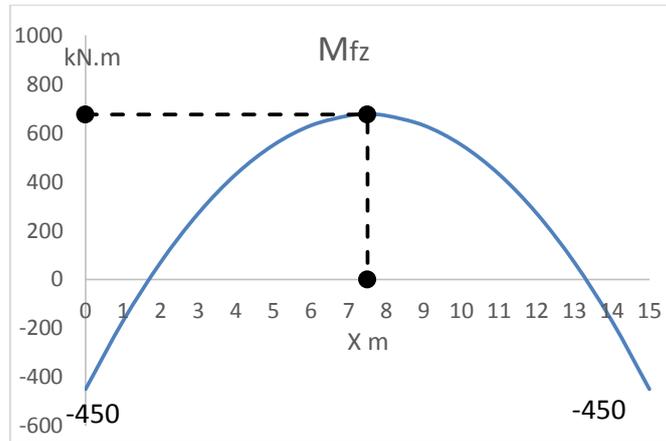
Question 5.5. Tracer le diagramme de variation du moment fléchissant M_{fz} le long de la travée centrale de la dalle en appliquant la méthode forfaitaire du DT8. Indiquer les valeurs du moment de flexion sur chaque appui et la valeur du moment de flexion maximum en travée.

A partir du DT on trouve la valeur des moments sur appuis : $M_{i-1} = M_i = 0,5M_0 = 450 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Et la valeur du moment en travée : $M_t + 0,5(M_{i-1} + M_i) = 1,25M_0$

Ce qui donne $M_t = 0,75M_0$ et donc $M_t = 675 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Le diagramme de variation du moment fléchissant M_{fz} , le long de la travée centrale de la dalle, est une parabole de la forme suivante :

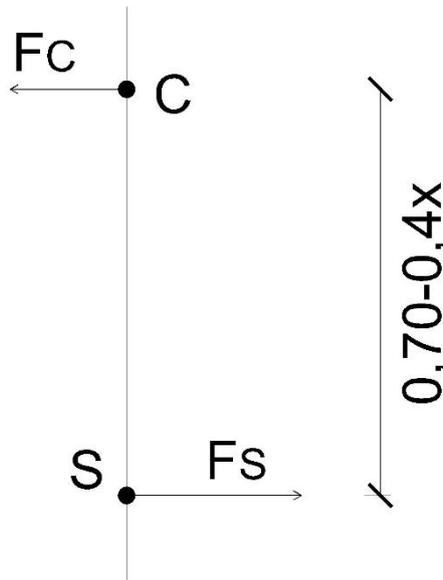


Question 5.6. A partir des valeurs des contraintes indiquées pour le béton et pour l'acier, établir l'expression de l'effort dans le béton F_c en fonction de x et l'expression de l'effort dans l'acier F_s en fonction de A_s .

Expression de l'effort dans le béton : $F_c = \sigma_{\text{béton}} A_c = \sigma_{\text{béton}} b h = 16x$

Expression de l'effort dans l'acier : $F_s = \sigma_{\text{acier}} A_s = 435 A_s$

Question 5.7. Déterminer la hauteur de béton comprimé x en écrivant l'expression du moment $M_{fz\max}$ fonction de l'effort F_c et du bras de levier.



Equation d'équilibre des moments en S : $F_c \times (0,7 - 0,4x) = M_{fz\max}$ ce qui donne :

$$16x \times (0,7 - 0,4x) = M_{fz\max} \Leftrightarrow 6,4x^2 - 11,2x + 0,675 = 0$$

Résolution du trinôme :

- Déterminant : $\Delta = b^2 - 4ac = 108,16$
- Solutions : $x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$, on trouve $x_1 = 0,0625\text{ m}$ et $x_2 = 1,69\text{ m}$

La hauteur de béton comprimé est donc de $x = 6,25\text{ cm}$.

Question 5.8. Déterminer la valeur de la section d'acier A_s en écrivant l'expression du moment $M_{fz\max}$ fonction de l'effort F_s et du bras de levier.

Equation d'équilibre des moments en C : $F_s \times (0,7 - 0,4x) = M_{fzmax}$, ce qui donne :

$$435A_s \times (0,7 - 0,4x) = M_{fzmax} \Leftrightarrow A_s = \frac{M_{fzmax}}{435(0,7 - 0,4x)}$$

On trouve la section d'acier suivante : $A_s = \frac{0,675}{435(0,7 - 0,4 \times 0,0625)} = 23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 23 \text{ cm}^2$

Partie 6. Exploitation pédagogique

Le corrigé s'appuie sur la séquence pédagogique décrite dans la partie 6 du sujet mais ne constitue pas une réponse unique. Pour chaque question les indicateurs de performance qui ont permis l'évaluation sont indiqués dans la marge.

Question 6. 1 sur feuille de copie et à l'aide du document pédagogique DP1 :

Décrire en détail l'organisation globale proposée pour la séquence. Expliquer ces choix. Le candidat précisera et justifiera :

- **la mise en situation en lien avec le contexte industriel proposé ;**
- **le ou les problème(s) à résoudre ;**
- **les résultats attendus ;**
- **les compétences développées ;**
- **le ou les supports utilisés ;**
- **les cours ou les synthèses envisagées ;**
- **les activités prévues ;**
- **nombre d'élève par activités ;**
- **l'organisation des groupes à effectif réduit (îlots).**

L'épreuve écrite «Enseignements technologiques transversaux» est évaluée par compétences par l'intermédiaire d'indicateurs de performance qui permettent de faire le lien entre les réponses des copies et les compétences à évaluer. Une analyse nationale identifiant le nombre de réponses et le taux de bonnes réponses par indicateur, met en évidence une difficulté récurrente dans la maîtrise de l'étude statique des systèmes. Pour la session 2016 les trois indicateurs faisant défauts étaient :

La direction de la réaction à l'appui A est correcte
Le trièdre des efforts est correct
L'intensité de la force du vent est déterminée

Les phénomènes physiques mis en jeu dans ce domaine sont abstraits. Par la suite nous les nommerons en utilisant les termes « étude statique ». Une étude statique peut être abordée de manière théorique décontextualisée ou à partir d'étude concrète dans un contexte réel. La deuxième proposition étant plus appropriée en STI2D, la séquence pédagogique proposée s'inscrit dans une démarche pédagogique inductive. Il ne s'agit pas d'effectuer une étude statique pour une étude statique mais d'apporter du sens à partir d'un dossier technique avec une problématique liée au développement durable ou à l'innovation technologique.

Une étude statique n'ayant de sens que dans le cadre d'un dimensionnement d'une pièce ou le choix de matériaux ou d'une structure, la séquence pédagogique aborde deux centres d'intérêt :

CI1 : Développement durable et compétitivité des produits

CI4 : Dimensionnement et choix des matériaux et structure

La matrice de l'enseignement technologique transversal (DP5) montre qu'il s'agit de la 6ème séquence en première STI2D. 4h concerne le CI1 et 10h le CI4 qui est l'objectif principal.

Les compétences ciblées dans cette séquence pédagogique sont associées à des connaissances mobilisant les phénomènes physiques qui nous intéressent au regard de la problématique de départ. Le tableau suivant énumère les compétences ciblées et les connaissances associées avec en gras les éléments exploitables dans cette séquence.

CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable.	CO3.1 : Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système.	CO4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations d'un système.	CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée.	CO6.3 : Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère.
<u>Eco conception</u> Etape de la démarche <u>Approche comportementale</u> Choix des matériaux Comportement mécanique des systèmes Structures porteuses	<u>Outils de représentation</u>	<u>Approche comportementale</u> Choix des matériaux Comportement mécanique des systèmes Structures porteuses	<u>Approche comportementale</u> Modèles de comportement	<u>Outils de représentation</u> <u>Approche comportementale</u> Choix des matériaux Comportement mécanique des systèmes Structures porteuses

La structure globale de la séquence pédagogique consiste à démarrer par l'étude du dossier de la société Alstom car il met en évidence les enjeux économiques, sociétaux et environnementaux actuels ainsi que les contraintes des entreprises. Il constituera le fil conducteur de cette séquence.

[Depuis plusieurs années, la société Alstom a adopté une politique engagée vis-à-vis des problématiques d'impact environnemental. L'éco conception fait partie intégrante de toutes les réflexions et ce à tous les niveaux. La société a défini des priorités qui sont :

- efficacité énergétique ;
- confort et sécurité des utilisateurs ;
- réduction du bruit et des vibrations ;
- matières premières non polluantes ;
- contrôle des émissions de fluides et de particules ;
- intégration dans le paysage.

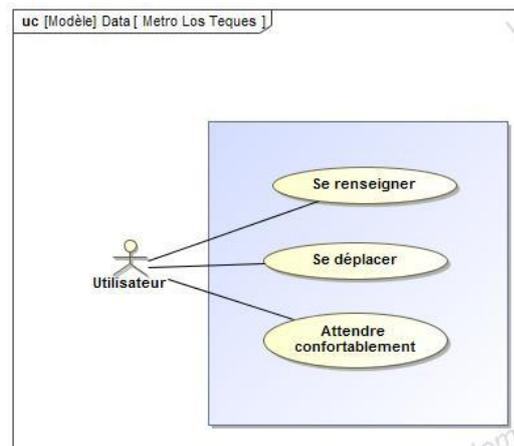
Le besoin de construire une extension répondant à ces enjeux constitue une véritable problématique technique porteuse de sens pour les élèves et l'occasion pour l'enseignant d'aborder les compétences et connaissances souhaitées.

De ces priorités générales il conviendra de diriger la séquence vers des problématiques de dimensionnement de pièces et de choix de matériaux. Il n'est pas question de traiter les parties du programme liées à la résistance des matériaux qui seront vues en terminale mais les connaissances

associées aux phénomènes d'équilibre de solides n'ont de sens que s'il s'agit d'en tirer des conclusions. Cet aspect, souvent absent dans le traitement de ces connaissances empêche de voir l'intérêt d'une étude statique. Les outils de simulation actuel permettent d'avoir des résultats de déformées ou de résistance sans toutefois rentrer dans les détails de calcul, en tout cas en première.

Description de la séquence :

La séquence pédagogique démarre par une présentation globale du dossier, l'analyse du besoin et les différents secteurs d'intervention. Cette partie, menée en interaction avec la classe à partir de diagramme SysML, sera l'occasion de remobiliser la compétence CO3.1 « Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système ». Cette présentation du contexte et de la problématique globale placera les élèves dans une démarche d'investigation.



Après la présentation, un brainstorming associé à la construction d'une carte mentale avec les élèves aura pour objectif de recenser leurs connaissances propres. Les élèves ont déjà abordés ces notions en technologie collège (en 5^e avant la rentrée scolaire 2016 et maintenant dans le cycle 4) et en sciences physiques. Par la suite la synthèse de séquence pourra s'appuyer sur le résultat du brainstorming et ainsi remobiliser les connaissances des élèves en les structurant.

Pendant les heures à effectif réduit, les élèves seront placés par groupe de quatre. Chaque groupe travaillera sur l'amélioration du métro en étudiant des parties complémentaires.

Un groupe sur la mezzanine, le second sur l'essieu d'un bogie, le troisième sur un poteau électrique et le quatrième sur le dispositif d'attelage. Même si les objets d'étude sont différents, ils vont tout de même mobiliser les mêmes compétences. L'étude sur la mezzanine et de l'essieu amènera les élèves à traiter les cas de systèmes soumis à trois actions mécaniques parallèles, les deux autres traiteront les cas de systèmes soumis à trois actions non parallèles.

Ce travail de groupe se décompose en deux phases :

Une première pour prendre connaissance de la partie étudiée et du problème à résoudre. La compétence CO3.1 pourra être à nouveau mobilisée. La relecture du diagramme d'exigence permettra d'identifier les exigences spécifiques pour le travail du groupe.

Suivra une phase d'expérimentation et de simulation pour, à la fois résoudre le problème technique mais également pour mobiliser les compétences CO1.1, CO4.4 et CO5.1 et leurs connaissances associées.

Ici le numérique sera approprié pour faire comprendre ces phénomènes abstraits. Par exemple en s'appuyant sur l'utilisation :

- De la réalité augmentée à l'aide d'une application associant le réel et l'abstrait. L'abstrait étant schématisé (ex : Force Effect) ;
- de bras à retour de force pour solliciter les perceptions kinesthésiques et ainsi faire ressentir des forces, ou moments de forces, ou encore les mobilités des liaisons.

Toujours pendant les heures à effectif réduit un temps sera consacré à une synthèse d'activité afin de vérifier le travail des élèves, les rediriger si nécessaire. Ce temps est l'occasion de faire un point avec les différents groupes sur les conclusions de l'activité et de mettre en place une évaluation formative notamment par rapport aux compétences CO5.1 et CO6.3. Il peut être intéressant que les élèves déposent ces travaux dans un espace collaboratif tel un espace numérique de travail et ainsi mobiliser des compétences numériques et de travail collaboratif, même si ces compétences ne sont pas directement ciblées.

En classe entière, la restitution sera l'occasion de confronter les différents travaux et conclusions des groupes et de mettre en évidence la méthodologie de résolution d'un problème de statique quel que soit le système étudié : Isoler le système, faire le bilan des actions mécaniques extérieures agissant sur le système isolé, analyser les conditions d'équilibre, appliquer le principe fondamental de la statique, déterminer les actions mises en jeu, utiliser ces actions afin de choisir un matériau ou dimensionner une structure.

Question 6. 2. sur feuille de copie et à l'aide des documents DP1 et DR4 :

Les heures à effectifs réduits permettent la mise en place d'îlots. Dans l'exemple proposé quatre groupes de quatre élèves travaillent sur des supports différents : Mezzanine d'une station, essieux de bogie, poteaux électrique, accroche des véhicules.

Préciser et détailler les activités, « étude de dossier – résolution de problème » et « expérimentation – simulation » du groupe d'élèves travaillant sur la mezzanine.

Le candidat précisera :

- **la démarche pédagogique envisagée ;**
- **les tâches des élèves ;**
- **la répartition de ces tâches au sein du groupe ;**
- **les liens avec les compétences à évaluer ;**
- **L'utilisation des outils numériques (E.N.T, logiciel, etc.) ;**
- **Les ressources nécessaires (Diagrammes SysML, documents techniques, tutoriels logiciels, etc.) ;**
- **Les maquettes didactiques utilisables.**

En STI2D la démarche d'investigation est privilégiée. Cette démarche part d'une situation problème concrète proposée à un groupe d'élèves et les amène à formuler des hypothèses, à les valider par l'expérimentation et/ou la simulation, à analyser les résultats pour découvrir et valider des concepts scientifiques et technologiques. Dans notre exemple, la situation problème est donnée par le dossier d'extension de métro avec la problématique technique : comment maintenir la mezzanine en toute sécurité ?

Derrière cette problématique, les élèves seront amenés à identifier les paramètres influents : charges mises en jeu, matériaux, etc.

La mise en îlot permet d'engager un travail collaboratif et d'apprendre entre pairs mais il arrive qu'un ou deux élèves effectuent les consignes données alors que les autres regardent. N'étant plus dans l'action ils se démobilitent. Il est donc important de répartir les tâches au sein du groupe et ainsi engager davantage un travail d'équipe où chacun pourra apporter des éléments. Dans notre étude de dossier il est possible de construire cette répartition ainsi :

	Elève 1	Elève 2	Elève 3	Elève 4
Lecture du cahier des charges	Définir la fonction d'usage de la mezzanine			
Identification des exigences à vérifier	Rechercher les caractéristiques dimensionnelles de la dalle de la mezzanine			
Identification des actions mécaniques en jeux	Rechercher et identifier les charges permanentes		Rechercher et identifier les charges d'exploitations	
Expérimenter, simuler un problème plan	Expérimenter la transmission des charges à l'aide d'une maquette bois	Simuler la transmission des charges sur un modèle 3d (bois)	Expérimenter la transmission des charges à l'aide d'une maquette métallique	Simuler la transmission des charges sur un modèle 3d (métallique)
Etablir les principes d'équilibre	A partir des expérimentations et des simulations, établir le principe fondamental de la statique			
Choix de la structure	Définir le nombre de poutres (bois)		Définir le nombre de poutres (métalliques)	
Choix d'une structure	Confronter les solutions et justifier un choix			
Vérification des normes de sécurité	Valider les solutions technologiques			

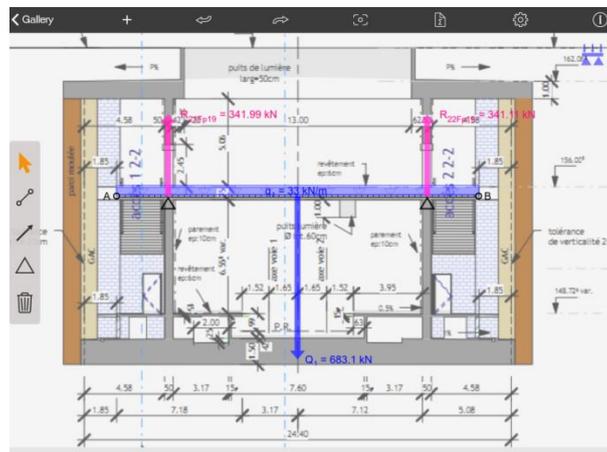
Fiche activité	ED 1 AP 1	
Type d'activité : AP	Etude de dossier/Travaux pratiques	
Durée :		
Nb élèves : 4		
Supports : Mezzanine		
Centres d'intérêt	1	CI1 : Développement durable et compétitivité des produits
	2	CI4 : Dimensionnement et choix des matériaux et structure
	3	
Compétences ciblées	1	CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable.
	2	CO3.1 : Décoder le cahier des charges fonctionnel.
	3	CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système.
	4	CO6.3 : Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère

Ressources	R01	Extrait eurocode
	R02	Animation, fiche de synthèse sur les systèmes soumis à deux ou trois actions mécaniques
	R03	Utilisation de la maquette
	R04	Utilisation modeleur 3D

	<p>2. OUTILS ET METHODES D'ANALYSE ET DE DESCRIPTION DES SYSTEMES</p> <p>2.3 Approche comportementale</p> <p>2.3.1 Modèles de comportement</p> <p>Principe généraux d'utilisation</p> <p>Identification et limites des modèles de comportements, paramétrage associé aux progiciels de simulation</p> <p>Identification des variables du modèle, simulation et comparaison des résultats obtenus au système réel ou a son cahier des charges</p> <p>2.3.3 Comportement mécanique des systèmes</p> <p>Equilibre des solides : modélisation des liaisons, actions mécaniques, principes fondamentaux de la statique, résolution d'un problème de statique plane</p>
--	--

Plan de la séance (<i>étapes principales</i>)	1	Phase de lancement
	2	Lecture du cahier des charges
	3	Identification des exigences
	4	Identification des actions mécaniques mis en jeu
	5	Expérimentation, simulation
	6	Choix de solutions technologiques
	7	Validation des solutions technologiques
Répartition des tâches au sein d'un groupe	Elève 1	Cf. détails tableau précédent
	Elève 2	Cf. détails tableau précédent
	Elève 3	Cf. détails tableau précédent
	Elève 4	Cf. détails tableau précédent

La phase d'expérimentation et de simulation aura pour objectif principal de faire ressentir les phénomènes physiques abstraits de manière concrète. Une expérimentation sur une maquette simple reproduisant une poutre de la mezzanine sur deux appuis permettra aux élèves d'identifier le type de charges, ponctuelles, réparties, etc. ainsi que leur répartition sur les pièces en contact. De même la simulation permet aux élèves de faire varier les charges de manière virtuelle et de visualiser l'impact qui en résulte.



De nouveaux outils numériques, maintenant accessibles, permettent d'associer le ressenti et la visualisation d'une maquette ou d'un système réel avec le résultat instantané d'une simulation. Dans notre exemple, il pourrait être envisagé qu'un élève visualise la mezzanine sur un écran d'ordinateur, une tablette ou des lunettes, et qu'il puisse y exercer des efforts qu'il ressent réellement à l'aide d'un bras à retour de force tout en visualisant l'impact sur les liaisons.

Question 6. 3 sur feuille de copie :

Préciser et détailler **la ou les modalités d'évaluation (formative et/ou sommative)**.

Proposer **une méthode et une grille d'évaluation. Le candidat précisera :**

- **les compétences évaluées ;**
- **les indicateurs de performances observés ;**
- **la mise en œuvre.**

Souvent négligée, l'évaluation formative est pourtant un point essentiel de l'apprentissage. Il ne s'agit pas de classer les élèves mais de mettre en évidence ce qu'ils savent et les progrès qu'ils ont à faire. Visible et compréhensible par les élèves dès le début de la séquence, elle leur permet de savoir pourquoi ils font telles ou telles activités. Elle n'est pas forcément associée à une note mais positionne les élèves par rapport aux compétences à acquérir. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation. Celle proposée reprend la modalité utilisée pour l'évaluation de l'épreuve de conduite de projet de terminale STI2D qui se déroule en continue en observant les élèves pendant les séances.

Ces observations se faisant au travers d'indicateurs de performances, il est intéressant de faire participer les élèves à leur propre évaluation. Là encore le numérique peut faciliter la mise en œuvre par exemple en saisissant les observations directement pendant les séances avec une tablette synchronisée pour obtenir une synthèse automatique.

Voici des exemples d'indicateurs associés aux compétences de la séquence proposée :

CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable.

i11.1 : l'élève a su argumenter sur le choix des matériaux afin de minimiser l'impact environnemental ;

i11.2 : ...

CO3.1 : Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système.

i31.1 : l'élève a su identifier la ou les contraintes dans le diagramme d'exigences ;

i31.2 : l'élève a su trouver les caractéristiques de la structure ou de la pièce étudiée ;

i31.3 : ...

C4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations d'un système.

i41.1 : ...

CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée.

i51.1 : L'élève a su expliquer le modèle proposé par l'enseignant ;

i51.2 : ...

CO6.3 : Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère.

i63.1 : L'élève a su décrire la démarche pour déterminer une action mécanique ;

i63.2 : ...

Question 6. 4 Sur feuille de copie :

On suppose maintenant que l'établissement souhaite mettre en place l'expérimentation définie par l'arrêté du 11 juillet 2016 qui autorise des pratiques pédagogiques relatives au choix différé de la spécialité. Voté au C.A, l'équipe pédagogique organise un renforcement de l'enseignement technologique transversal en début d'année et par conséquent un renforcement de l'enseignement de spécialité en fin d'année. Le cadre règlementaire impose notamment :

- le respect des programmes des enseignements technologiques transversaux et spécifiques des spécialités du cycle terminal de la série STI2D (la démarche de projet permet de mobiliser les compétences communes aux quatre spécialités) ;
- le respect du volume horaire annuel des enseignements technologiques transversaux et de spécialité.

Présenter en quoi cette organisation impacte l'organisation annuelle et montrer l'intérêt.

Les enseignements de spécialité ont pour objectif d'approfondir des champs spécifiques abordés en enseignement technologique transversal. En début de première, le fait de démarrer ces deux enseignements en même temps peut poser quelques difficultés pour construire des progressions pédagogiques qui vont dans ce sens. Il existe plusieurs possibilités pour palier à cela et pour permettre aux élèves de choisir la spécialité en connaissance de cause. Par exemple en démarrant l'enseignement technologique transversal par les fondamentaux du programmes et l'enseignement technologique de spécialité par les parties communes aux quatre, notamment la première partie qui concerne la démarche de projet.

Une autre possibilité consiste à démarrer l'année par 12h d'enseignement technologique transversal pour apporter les fondamentaux dans tous les domaines technologiques puis, en fin d'année, mettre en place une pédagogie de projet pour approfondir ces connaissances et les rendre opérationnelles en enseignement technologique de spécialité.

Dans ces deux cas l'équipe pédagogique respecte les programmes et le volume horaire des deux enseignements quel que soit le choix de la spécialité par l'élève.

Centres d'Intérêt

C11 Développement durable et compétitivité des produits

C14 Dimensionnement et choix des matériaux et structure



STI2D-ETT

STI2D : Enseignement Technologique Transversal

1^{ère} T^{ale}

Prérequis

ETT 1.1.2 Cycle de vie d'un produit et choix techniques, économiques et environnementaux

ETT 2.2.2 Représentation du symboliques

Objectifs

ETT C01.1 Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en oeuvre dans une approche de développement durable

ETT C03.1 Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système

ETT C05.1 Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système

ETT C06.3 Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère

ETT C04.4 Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations (acquisition, traitement, transmission)...

ETT 2.3.1 Modèles de comportement

ETT 2.3.3 Comportement mécaniques des systèmes

ETT 2.3.4 Structures porteuses

Choix de structures et matériaux pour une extension de métro

Classe entière					Investigation	Rés. Problème	Projet	Mezzanine	Essieu de bogie	Poteau électrique	Dispositif d'attelage
Effectif réduit											
Etude et Projet											
1h	C1 <i>Présentation du dossier : Métro de Los Teques</i>				●						
1h	C2 <i>Braingstorming : Conditions d'équilibre des solides</i>				●						
1h	ED1 <i>Etude de dossier - Résolution d'un problème</i>	ED1 <i>Etude de dossier - Résolution d'un problème</i>	ED1 <i>Etude de dossier - Résolution d'un problème</i>	ED1 <i>Etude de dossier - Résolution d'un problème</i>	●			4	4	4	4
3h	AP1 <i>Expérimentation et simulation</i>	AP1 <i>Expérimentation et simulation</i>	AP1 <i>Expérimentation et simulation</i>	AP1 <i>Expérimentation et simulation</i>	●			4	4	4	4
1h	SA1 <i>Réponses aux problèmes - Synthèse des activités</i>				●						
1h	C3 <i>Restitution</i>				●						
1h	SS1 <i>Synthèse : Méthode PFS - Choix matériaux</i>				●						
2h30	AP2 <i>Application</i>	AP2 <i>Application</i>	AP2 <i>Application</i>	AP2 <i>Application</i>	●			4	4	4	4
1h30	SA2 <i>Evaluation sommative</i>				●						
13h											

B) Commentaires du jury

Partie 1 : vérification des bogies

- Roulement d'une rame en courbe : partie abordée par la plupart des candidats. La question 1.1 a été bien traitée. Le jury a remarqué à la question 1.2 une confusion entre diamètre et rayon pour beaucoup de candidats. Un croquis aurait permis d'éviter les erreurs. La notion de roulement sans glissement dans la question 1.3 n'est pas assimilée par la majorité des candidats. Le jury a tenu compte de l'erreur dans les données numériques (valeur de e_c) dans la question 1.4. Il était attendu une conclusion pour la question 1.4 et pas seulement une valeur numérique.
- Renversement du train : partie peu abordée. L'application du PFD pour la question 1.6 n'est pas maîtrisée. Le fait de ramener un torseur en un point a posé des problèmes. Il a été noté un manque de rigueur dans l'écriture des torseurs.

Partie 2 : confort des usagers

- Stabilité : partie abordée par un tiers des candidats

Le modèle masse – ressort est mal maîtrisé. L'écriture de l'équation différentielle s'est révélée difficile pour la plupart des candidats. Le schéma Simulink servant à la modélisation acausale n'a pas été complété correctement. Le jury invite les candidats à se familiariser avec ce type de modélisation.

Partie 3 : freinage

Dans cette partie, il s'agissait d'évaluer les performances en freinage du train dans le cas d'un arrêt d'urgence et ce quelles que soient les conditions d'adhérence. La rame de métro est équipée d'un dispositif anti-enrayage (WSP – Wheel Slide Protection) pour exploiter au mieux l'adhérence disponible en contrôlant le relâchement et la reprise des efforts de freinage (aspect réglementaire). L'étude reposait sur un système fortement simplifié (schéma fonctionnel figure 13) et débutait par une phase de modélisation (glissement en phase de freinage, actionneurs, mesure du glissement,...). Une fois la boucle de régulation modélisée, une évaluation des performances en boucle fermée (en réponse à une variation d'adhérence) devait être réalisée. La dernière partie de l'étude concernait l'envoi de la consigne de glissement au dispositif anti-enrayage (WSP – Wheel Slide Protection) par le bus CAN. Le jury a constaté que cette partie a été traitée par un grand nombre de candidats avec plus ou moins de réussite et conseille :

- de veiller à l'homogénéité des grandeurs physiques et à la cohérence (sens) des résultats obtenus lors de la recherche de modèles pouvant faire l'objet le cas échéant de simulations informatiques ;
- de mieux maîtriser les notions fondamentales de l'automatique (transformée de Laplace, réglage de correcteurs par compensation de pôles,...) et de les appliquer avec davantage de rigueur (théorème de la valeur finale,...) ;
- de mieux connaître les aspects technologiques incontournables des systèmes industriels d'aujourd'hui (boucle de courant 4/20mA, échanges de données sur le bus CAN,...).

Partie 4 : confort des utilisateurs – économie d'énergie - ventilation

Cette partie de l'épreuve portait sur des aspects énergétiques classiques et demandait de mettre en œuvre des relations simples sur les échanges thermiques. Peu de candidats ont cependant abordés ces questions. Parmi ceux qui y ont répondu de nombreuses confusions ont été réalisées par un manque de rigueur dans la mise en place des expressions littérales, notamment par omission des unités. Ceci a souvent conduit à des équations non homogènes et des résultats incohérents loin des valeurs habituellement obtenues. Le jury a été surpris de constater que des enseignants du domaine de l'énergie ne maîtrisent pas ces ordres de grandeurs.

Le concept de bilan thermique d'un système avec une équation d'équilibre entre les flux entrants et sortants n'est pas toujours bien compris. Le calcul de transfert de chaleur à travers une paroi simple homogène a été très peu traité et souvent incorrectement traité. Là encore, il est regrettable d'observer de nombreuses erreurs (confusion entre résistance thermique et coefficient de transmission) alors qu'une simple équation aux dimensions aurait pu permettre d'éviter ces écueils.

Partie 5 : étude d'une dalle de station de métro

Dans cette partie les candidats devaient déterminer les paramètres pour pouvoir effectuer le dimensionnement d'une dalle en béton armé. Puis, après avoir calculé les contraintes mécaniques exercées sur la dalle, calculer la section acier du ferrailage en partie courante de la dalle. Cette partie a été très peu traitée. Les candidats ayant répondu ont souvent mal maîtrisé le modèle proposé. Les valeurs calculées pour les charges permanentes linéiques ont souvent été confondues avec le poids propre global de la travée étudiée. Les unités ne sont pas toujours non plus bien maîtrisées, ce qui a conduit parfois à des résultats bien au-delà des valeurs classiques obtenues sur ce genre de calcul. Le modèle mécanique (ici poutre isostatique sur deux appuis avec une charge uniformément répartie) n'est souvent pas correctement mis en place et conduit à des équations non pertinentes (équations linéaires

au lieu d'équations quadratiques). Le soin apporté aux réponses par les candidats est insuffisant et souvent un peu trop « lapidaire », avec très peu de commentaires ou de justifications des calculs.

Partie 6 : exploitation pédagogique

Il était demandé aux candidats, dans un premier temps, de détailler l'organisation globale de la séquence proposée traitant de l'équilibre des solides. Certains candidats se sont contentés de paraphraser le document pédagogique proposé, sans apporter de valeur ajoutée, d'autres candidats ont commenté une séquence qu'ils avaient certainement déjà mis en œuvre mais avec des objectifs d'apprentissage différents, ce qui ne répondait pas aux consignes du sujet.

La description de la séance n'a pas été très bien traitée. Beaucoup de candidats ont proposé de constituer deux binômes dans chaque îlot de quatre élèves et ont évité ainsi de réfléchir à une répartition des tâches. Des candidats ont confondu répartition des rôles et répartition des tâches au sein de l'îlot.

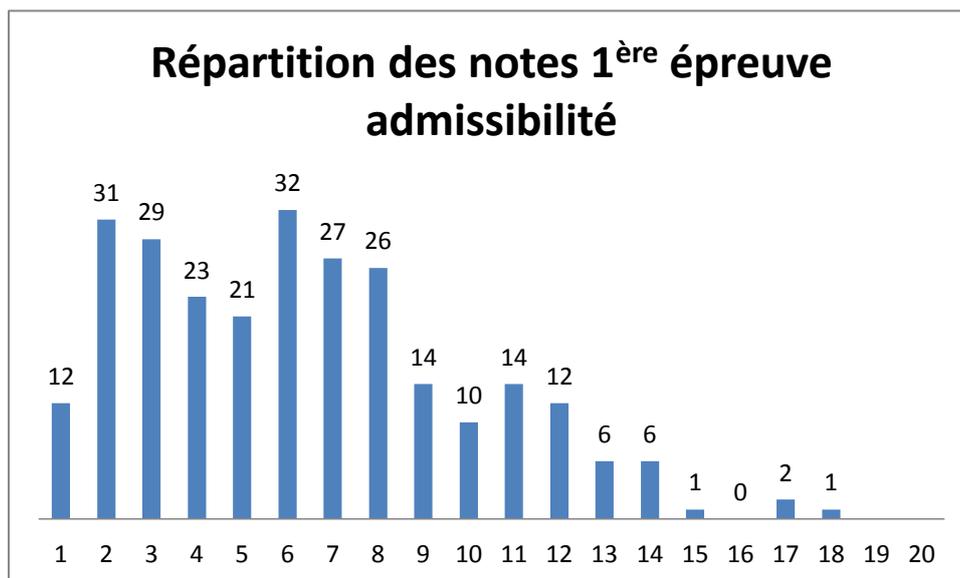
La question sur l'évaluation n'a pas souvent été traitée. Le jury attendait une description des indicateurs de performance permettant d'évaluer les compétences visées et une réelle réflexion sur les modalités d'évaluation.

La question 6.4 concernant l'expérimentation pédagogique a bien été comprise par les candidats qui l'ont traitée. Le jury regrette cependant que certains candidats transmettent leur point de vue très personnel à travers leur copie sans beaucoup de respect pour les auteurs et les correcteurs.

Dans toutes les questions de cette partie 6, l'apport du numérique à la pédagogie mise en œuvre avec les élèves n'est pas souvent décrit.

La maîtrise de l'orthographe, la correction syntaxique des phrases et la propreté des copies sont attendues dans des documents écrits par des professeurs. Le jury déplore que certaines copies soient du même niveau que des copies d'élèves en ce qui concerne ces points précis.

Répartition des notes de l'épreuve (267 candidats)



Épreuves d'admissibilité

Épreuve : étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation (2^{ème} épreuve)

Coefficient 1 - durée : 4 heures

Téléchargement du sujet :

<http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/concours-examens/7086/7086-s2016-agreg-interne-sii-electrique-2.pdf>

A) Eléments de correction

A - Présentation

Depuis le protocole de Kyoto en 1997, une volonté de réduire la production de gaz à effets de serre a conduit au développement de l'exploitation des énergies renouvelables (ENR). Ces énergies se sont développées et sont connectées sur le réseau électrique de façon non régulée vis-à-vis du gestionnaire de réseau.

La production de ces ENR est difficilement prévisible. L'énergie n'étant pas stockable à grande échelle, ceci induit une problématique d'équilibrage production/consommation pour le gestionnaire du réseau.

D'autre part la réglementation impose des contrats de rachat et de revente d'énergie.

Les technologies de SmartGrid (gestion intelligente du réseau BT et HT) se mettent en place pour essayer de réguler ces échanges d'énergies.

Une expérimentation de ce type est mise en place en Bretagne depuis 2011 avec la création d'un bâtiment tertiaire départemental mutualisé de type bioclimatique labellisé **PassivHaus** nommé **Kergrid**.

Ce projet de bâtiment a permis de rassembler 3 organismes partenaires concernés par la gestion des ressources, de l'énergie et de l'environnement :

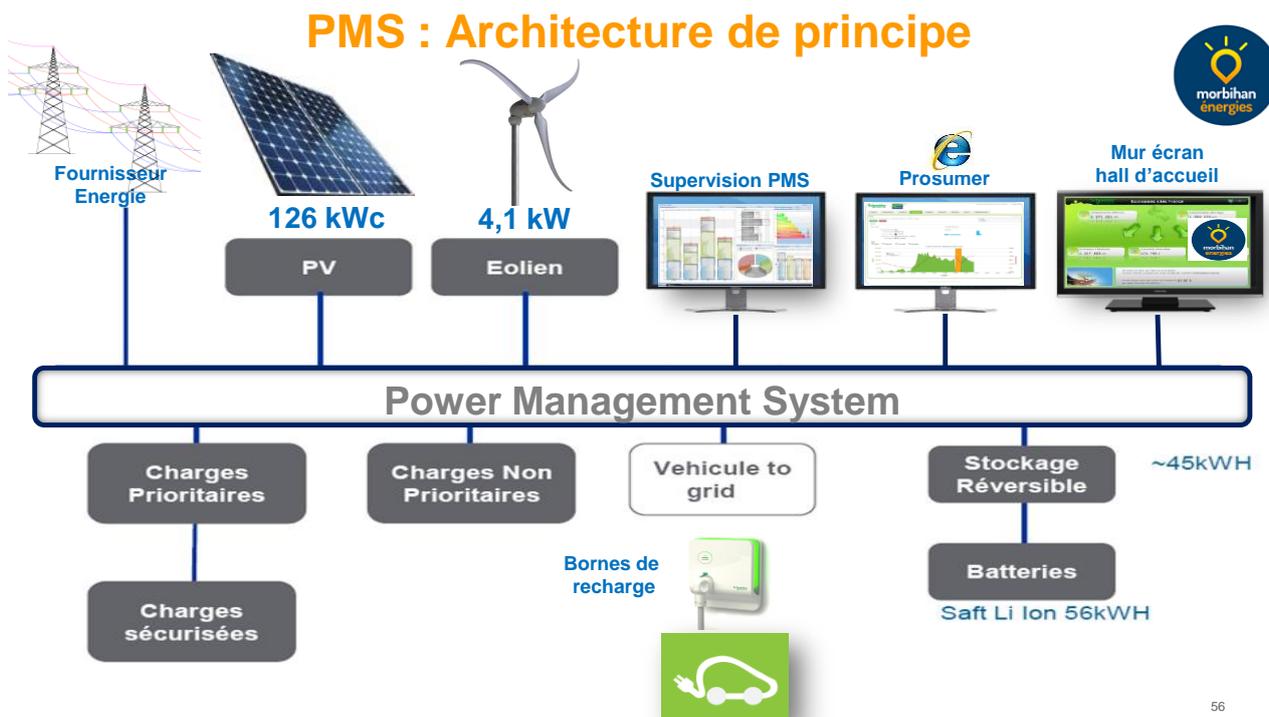
- le syndicat départemental de l'énergie appelé **SDEM** ;
- le syndicat départemental "Eaux du Morbihan" ;
- l'association des maires et présidents d'ECPI du Morbihan.



Vue du site du bâtiment Kergrid

Le bâtiment est connecté au réseau d'énergie électrique Enedis en HT. La production d'énergie locale est obtenue grâce à deux sources de production ENR (un toit solaire et deux éoliennes). Ce dispositif est complété d'un stockage sur batteries.

L'ensemble des flux d'énergie est géré à l'aide d'un dispositif de gestion appelé "**Power Management System**" (PMS) et développé par Schneider Electric.



Présentation du dispositif de gestion de l'énergie du bâtiment

La problématique de l'étude proposée dans ce sujet est de démontrer l'intérêt de la production délocalisée et des modes de fonctionnement envisagés pour rendre ce bâtiment autonome ou acteur d'une gestion intelligente dans un réseau maillé.

B. Présentation du site

L'objectif de cette partie est de décrire l'architecture du système sur la base de son modèle SysML. Tous les éléments de justification seront précisés systématiquement et doivent venir de ce modèle.

Le diagramme de blocs vous est fourni en annexe 1.

Question 1. Sur la base du diagramme de blocs, donner les éléments de premier niveau formant le système Kergrid.

Ce sont directement les éléments raccordés au bloc Kergrid par un lien de composition.

On a donc :

- PMS ;
- onduleur de tête ;
- production d'énergie ;
- stockage ;
- réseau 400 V ;
- borne recharge ;
- TGBT ;
- bâtiment ;

Question 2. Calculer la puissance solaire installée.

Sur le diagramme de blocs il est écrit une puissance crête de 240 Wc et la cardinalité du bloc nous donne 522. Au total on a donc 125280 Wc.

Question 3. Le client exige de pouvoir fonctionner en autonomie complète pendant 2h avec une puissance moyenne consommée de 30 kW sans apport des ENR. Déterminer si l'exigence est validée.

On dispose de 56 kW.h. Si on suppose que les batteries sont chargées à 100%, nous disposons donc de 56 kW.h au lieu de 60 kW.h comme il le faudrait pour tenir 2h à 30 kW de consommation moyenne. L'exigence n'est pas validée.

Question 4. Lister les éléments constituant le PMS (Power Management system).

Il suffit de lire le diagramme de blocs donné.

Le module de gestion est composé de :

- 25 compteurs d'énergie ;
- 3 automates ;
- 1 PC ;
- 1 IHM grand public.

C. Le bâtiment Kergrid et la problématique énergétique locale

Cette partie de l'étude consiste à valider la solution d'architecture énergétique de type SmartGrid.

C1. Le bâtiment PassivHaus

Le projet du bâtiment Kergrid a démarré en 2011. Le choix constructif de bâtiment bioclimatique a conduit à retenir les contraintes réglementaires du label constructif "PassivHaus" (voir document annexe 2).

Question 5. Préciser sur quels facteurs insiste ce label et quelles sont les contraintes constructives. Comparer ce label à la réglementation RT2012.

Label PassivHaus: Permet de réaliser des économies d'énergies. Le bâtiment doit faire usage efficace du soleil et des sources de chaleur interne. La consommation de chauffage doit être $<$ à 15 kWh/m^2 . Autre critère important: une très bonne étanchéité du bâtiment. Les besoins en énergie primaire doivent être inférieurs à 120 kWh/m^2 .

La RT2012: Consommation conventionnelle en E.P. inférieure à la CEP max (environ 50 kWh/m^2). Elle s'appuie sur un calcul des consommations énergétiques (chauffage, ECS, éclairage, refroidissement déduites de productions locales). On doit vérifier également une température de confort en été et on doit recourir aux ENR.

C2. La production locale d'énergie électrique et sa gestion

Question 6. Enoncer les contraintes d'approvisionnement d'énergie électrique dans ce type de région française et conclure quant au besoin de gérer cette énergie électrique dans le bâtiment.

La Bretagne est une région excentrée vis-à-vis des lieux de production d'énergie électrique, ce qui la pénalise pour son approvisionnement lors de pointes de consommation en France. Les conséquences sont les coupures ou l'effacement du réseau, d'où le besoin d'anticiper ces problèmes en menant une stratégie de gestion et d'autoproduction.

C3. Stratégie de gestion d'énergie du bâtiment

Le synoptique du monitoring de l'installation est décrit en annexe 3.

Compte tenu de l'architecture de son installation électrique, ce bâtiment permet plusieurs stratégies de gestion de l'énergie. Ces 4 stratégies sont nommées:

- autoconsommation;
- effacement du réseau;
- revente d'énergie;
- mode îloté (déconnexion du réseau d'Enedis).

Question 7. Expliciter ces modes de fonctionnement en précisant :

- les contraintes techniques d'exploitation ;
- les transferts d'énergie électrique ;
- les limites de chacune de ces stratégies ;
- les moyens de contrôle à mettre en œuvre pour cette gestion.

Conclure quant à la mise en œuvre de ces différentes stratégies de gestion.

1) Effacement du réseau: dans ce mode, l'énergie consommée est produite par les ENR et le stockage batterie. Au besoin des équipements seront délestés. La limite dépend de la capacité d'autoproduction.

2) Autoconsommation : Le bâtiment utilise au maximum sa production grâce à ses ENR et stockage. En cas de surproduction, l'énergie est utilisée pour recharger les batteries. Une consigne de réinjection au réseau doit être gérée.

3) Revente : dans ce mode, l'énergie consommée est produite par les ENR et le surplus est revendu.

Limite : revente si production > consommation (pas de délestage).

4) Mode Iloté : dans ce mode, le bâtiment est isolé du réseau (disjoncteur de branchement ouvert) et il ne peut utiliser que sa propre production ou énergie stockée. Ce mode permet de gérer le bâtiment en cas de coupure Enedis plus ou moins prolongée; il faut gérer la priorité des charges.

Les transferts d'énergie dépendent de la disponibilité de chaque source ENR (météo..) et état de stockage batterie ainsi que de la présence ou non du réseau à l'arrivée. La limite dépend des conditions climatiques, de la capacité totale du parc batterie (VEL comprise) et cet ensemble doit être géré au plus fin voire même anticipé (prédictions ...).

C4. Gestion intelligente des énergies de type SmartGrid

L'annexe 4 présente une architecture de type SmartGrid.

Question 8. Citer les éléments du bâtiment Kergrid qui justifient la pertinence de son interconnexion avec un réseau intelligent.

- disposer d'autoproduction en local pour pouvoir s'effacer du réseau ;
- disposer de moyens de comptage fiable et réactif ;
- être interopérable vis-à-vis du gestionnaire de réseau électrique ;
- être situé dans un réseau maillé à proximité d'autres producteurs ENR.

Question 9. Conclure quant aux solutions énergétiques déployées par valider une solution de type SmartGrid.

Le bâtiment Kergrid comporte :

- des apports énergétiques liés à la production photovoltaïque et éolienne ;
- un raccordement au réseau Enedis en HTA ;
- un comptage d'énergie électrique en entrée du bâtiment ainsi que des compteurs repartis pour évaluer les apports de production d'énergie locale ainsi que les consommations par secteur.

Ces différents aspects permettent de valider une solution du type SmartGrid.

D. Production d'énergie photovoltaïque du bâtiment

Cette partie de l'étude permet d'analyser l'apport de la production photovoltaïque et de valider les solutions techniques retenues.

La configuration du bâtiment Kergrid a permis d'implanter des panneaux photovoltaïques répartis sur les différentes toitures et faiblement ventilés.

D1. Evaluation de la production d'énergie

L'énergie produite par ces panneaux dépend de leur implantation et de leur mise en œuvre. L'inclinaison moyenne des toitures est de 3° et l'orientation est "Sud + 15°".

Question 10. En utilisant l'extrait de la norme NF EN 15316-4 (voir DT2), estimer la production annuelle photovoltaïque en kW.h.

$$E_{\text{elec pv}} = (E_{\text{sol}} * P_{\text{pk}} * f_{\text{perf}}) / I_{\text{ref}}$$

D'après le tableau B1 (Bretagne): $E_{\text{sol, hor}} = 1150 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$

D'après le tableau B2, zone PV4: $f_{\text{ilt}} = 1 \gg E_{\text{sol}} = 1150$

D'après le tableau B4: $f_{\text{perf}} = 0,75$

$$\text{donc : } E_{\text{elec pv}} = (1150 * 125,28 * 1 * 0,75) / 1 = \mathbf{108,05 \text{ MWh/an}}$$

D2. Equilibre production/consommation

La puissance électrique consommée par les différents équipements du bâtiment a été estimée à 88 kW. Le bâtiment fonctionne 8 heures par jour.

La production photovoltaïque prévisionnelle a été calculée grâce à une modélisation de l'installation donnée sur le DT3. De plus, le stockage batterie installé dans le bâtiment a une capacité maximale de 56 kW.h et une puissance maximale de 100 kW. On considère que l'apport d'énergie de nature éolienne est négligeable.

Question 11. À partir de ces éléments, discuter l'équilibre production/consommation d'énergie électrique du bâtiment durant les différentes périodes de l'année et sa capacité à s'effacer temporairement ou de manière plus longue du réseau d'énergie du distributeur.

La consommation du bâtiment est de: $8 * 88 \text{ kW} = 704 \text{ kWh/jour}$.

Les productions d'énergie journalières et mensuelles moyennées nous permettent d'envisager une autoconsommation pour les périodes de Juin à fin Septembre. Il est à noter que :

- * Certaines valeurs de production d'énergie sont minorées ainsi que la réserve d'énergie des batteries (56 kWh).

- * Les consommations ne prennent pas en compte des périodes plus favorables et minorées (limitation de l'éclairage etc...).

On peut donc prévoir des périodes d'effacement temporaire sur **des périodes de la journée** entre Mars et Octobre et **des journées complètes** entre Juin et Septembre.

D3. Raccordement électrique des panneaux

Les panneaux sont raccordés au réseau d'énergie via 6 onduleurs de marque Schneider et de référence "Conext TL 20000" (voir DT1 puis DT4 à DT6).

Question 12. Justifier l'association des panneaux solaires au vu des caractéristiques de ces onduleurs. Calculer la puissance maximale pouvant être extraite à l'entrée des onduleurs et la puissance totale produite (voir note page suivante).

Note: On considèrera que toutes les chaînes de modules sont constituées de 22 modules.

D'après doc panneaux et schéma: montés en 2 chaînes de 22 modules par entrée d'onduleur:

$$\sum V_{pp} = 22 * 29,8 = 655,6 \text{ V} < \mathbf{1000 \text{ V}}: \mathbf{OK} : \mathbf{voir DT6}$$

$$\sum I = 2 * 8,08 = 16,16 \text{ A} < 30 \text{ A}: \mathbf{OK}$$

$$P_{\text{onduleur}} = 655,6 * 16,16 * 2 = 21170 \text{ W} < \mathbf{22 \text{ kW}};$$

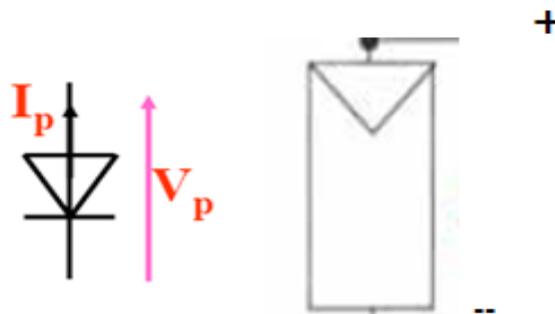
$$P_{\text{tot}} = 6 * 21170 = 127 \text{ kW}$$

D4. Etude des phénomènes de masquage des panneaux solaires

L'implantation des panneaux solaires sur le bâtiment n'a pas été optimisée. Des phénomènes d'ombrage au niveau des panneaux en découlent ainsi que des limitations de production d'énergie.

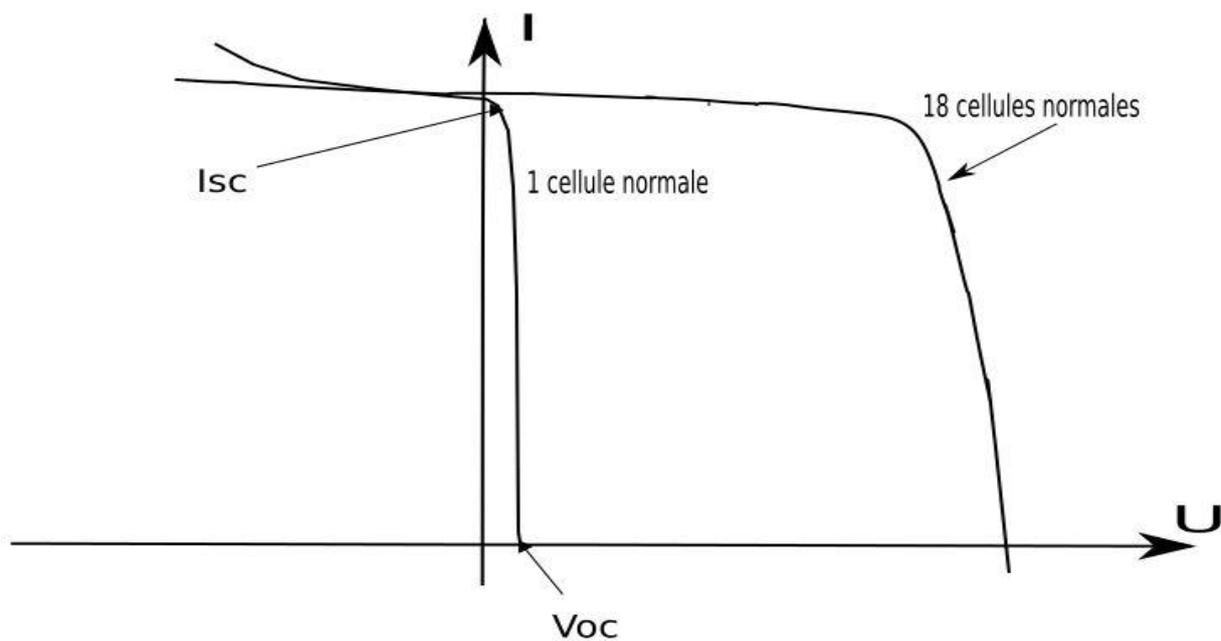
Fonctionnement des cellules éclairées de façon identique

La cellule photovoltaïque unitaire ainsi que son symbole électrique sont présentés sur la figure 3. Le graphe associé indique le fonctionnement d'une cellule unitaire puis celui des **18 cellules** assemblées en série dans le panneau. Ces cellules sont éclairées de façon identique et sans masque d'ombre.



Cellule photovoltaïque en convention générateur et son symbole électrique.

Cellule photovoltaïque unitaire et son symbole

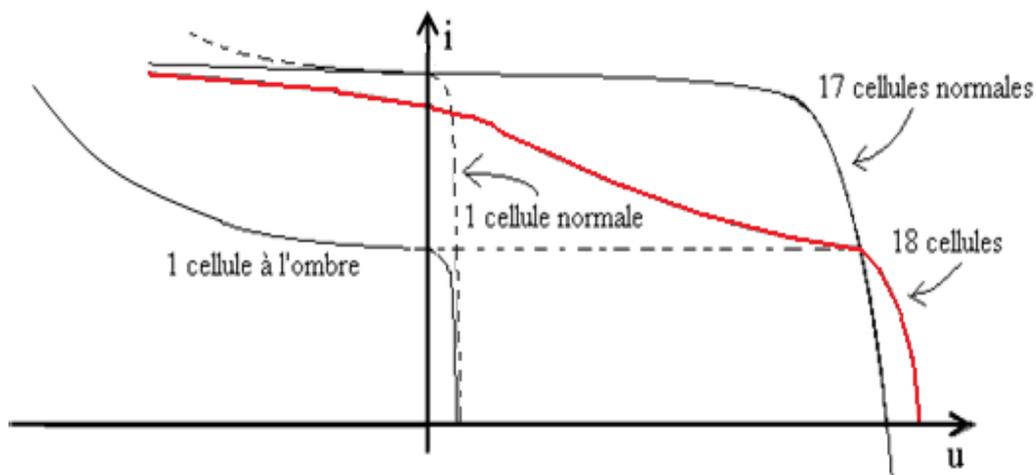


Caractéristique $I=f(U)$ des 18 cellules assemblées

Fonctionnement avec une cellule à l'ombre

La figure 11 du DREP1 présente le fonctionnement d'un panneau comportant 18 cellules dont 17 sont éclairées de façon identique et dont une cellule est à l'ombre à cause de l'implantation des panneaux sur la toiture.

Question 13. Tracer l'allure de la caractéristique $I = f(U)$ pour les 18 cellules sur le DREP1, figure 11. Justifier l'allure du graphe résultant et les conséquences possibles sur la cellule à l'ombre.



Tracé résultant: voir ci-dessus en rouge.

Conséquence: La cellule à l'ombre a un risque de polarisation inverse, se retrouvant dans un fonctionnement "récepteur", elle va dissiper une partie de la puissance produite. La puissance du panneau est donc réduite.

D5. Eléments complémentaires d'un panneau photovoltaïque

Afin de préserver l'état des cellules lors de ces phénomènes d'ombrage, une diode By-pass est intégrée à un groupe de cellules (voir figure 5).

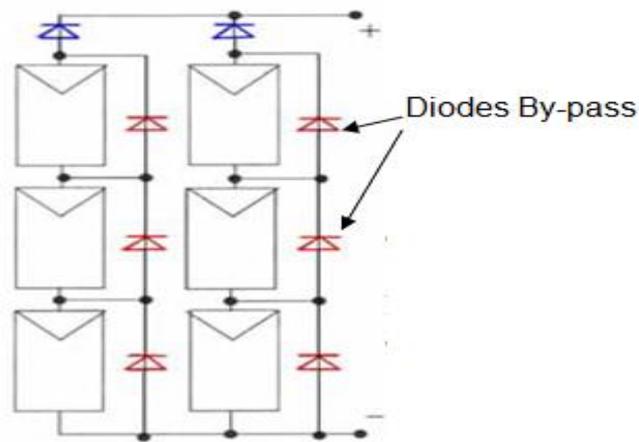


Figure 5. Cellules photovoltaïques associées à des diodes By-pass

Question 14. Expliquer pourquoi cette solution permet de protéger le panneau en cas d'ombrage partiel.

Lors de l'ombrage partiel du panneau, la (ou les) cellule(s) à l'ombre est polarisée en inverse et la diode By-pass shunte la cellule pour éviter qu'elle se retrouve en mode récepteur et absorbe la puissance produite par les autres cellules génératrices. Ceci évite de détruire la cellule en question mais va réduire la puissance globale fournie par le panneau.

E. Modélisation du comportement d'une cellule photovoltaïque

Cette partie de l'étude traite de la modélisation des cellules photovoltaïques en vue d'optimiser leur utilisation.

E1. Introduction

La production d'énergie électrique sous forme photovoltaïque du système Kergrid dépend de caractéristiques météorologiques, de la technologie des panneaux, de l'implantation, etc.

Le modèle d'une cellule est utile pour optimiser la chaîne d'énergie. Cette modélisation fine permet d'estimer la rentabilité économique du système.

On se propose d'étudier un modèle de cellule photovoltaïque pour intégrer les différents paramètres dans un logiciel de simulation.

E2. Présentation du modèle de la cellule P.V. à 4 paramètres

Il existe plusieurs schémas équivalents et modèles pour identifier les éléments d'une cellule photovoltaïque. Le modèle à 4 paramètres présenté ci-dessous traduit correctement les évolutions des phénomènes électriques et thermodynamiques de la cellule.

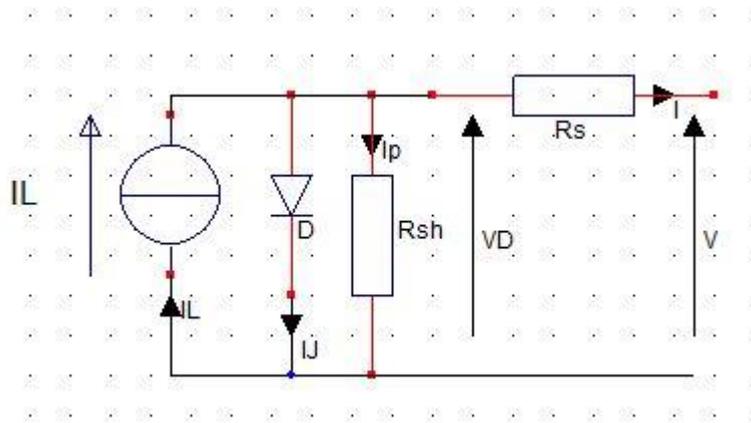


Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Éléments du modèle :

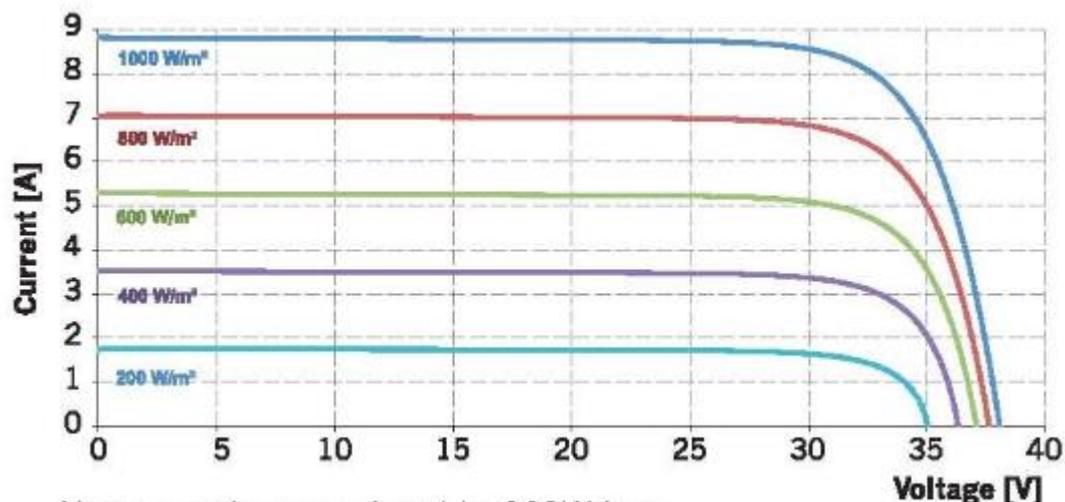
- IL** : Source de courant ou courant photonique.
- D** : Diode modélisant la jonction PN de la cellule.
- Rsh** : Résistance parallèle qui caractérise la perte de courant aux faibles éclairagements.
- Rs** : Résistance série liée aux différentes connexions.

E3. Caractéristiques de la cellule en production d'énergie

Le symbole d'une jonction P-N utilisée en générateur photovoltaïque a été donné figure 3. La figure 12 du DREP1 vous présente les quadrants de fonctionnement de ce dipôle et le relevé de $I = f(V)$ de la cellule pour une irradiation nulle ($E = 0 \text{ W/m}^2$).

Question 15. Tracer sur le DREP1, figure 12, les caractéristiques $I = f(V)$ de ce dipôle pour 4 valeurs d'irradiation allant de 0 à 1000 W/m^2 et indiquer le quadrant correspondant au fonctionnement générateur utilisé lors de la production d'énergie solaire.

Exemple de tracé pour 5 valeurs d'irradiation:



Le quadrant de fonctionnement utilisé en générateur ici est le quadrant 1.

E4. Elaboration du modèle de la cellule

Question 16. A partir du schéma du modèle donné figure 6, établir l'équation du courant de sortie I en fonction de I_L , I_j et I_p .

$$I_L = I_j + I_p + I \gg I = I_L - (I_j + I_p)$$

On donne l'équation caractéristique du courant I_j circulant dans la diode D :

$$I_j = I_0 \cdot (\exp^{V_d/V_t} - 1)$$

- $V_t = (k.T)/q$
 - V_t : tension thermique de la diode;
 - k : constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$);
 - T : température absolue en Kelvin;
 - q : charge de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C).
- V_d : tension imposée à la diode D.
- I_0 : courant de saturation de la diode.

Question 17. A partir de l'équation de I_j et de l'expression calculée précédemment, exprimer l'équation liant les variables : I , I_L , I_0 , V , V_t , R_s , R_{sh} .

$$I = I_L - I_0 \cdot (\exp^{V_d/V_t} - 1) - I_p \text{ avec: } V_d = R_s \cdot I + V \text{ et } I_p = V_d/R_{sh} = (R_s \cdot I + V)/R_{sh}$$

$$\text{Donc: } I = I_L - I_0 \cdot (\exp^{(R_s \cdot I + V)/V_t} - 1) - (R_s/R_{sh}) \cdot I - V/R_{sh}$$

L'élaboration du modèle doit tenir compte également de la résistance R_s qui a un grand impact sur la courbe $I = f(V)$ et qui n'est pas un élément donné par le constructeur de panneau. La valeur de R_s est calculée en évaluant la pente dI/dV de la courbe $I = f(V)$ au point V_{oc} .

L'évaluation de R_s est effectuée à l'aide de l'expression ci-dessous :

$$dI = -I_0 \cdot q \left(\frac{dV + R_s \cdot dI}{n \cdot k \cdot T} \right) \cdot \exp \left(q \frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot k \cdot T} \right)$$

où n représente le facteur de qualité de la diode et prend une valeur comprise entre 1 (diode idéale) et 2.

Question 18. Exprimer l'équation littérale de R_s en fonction de dV , dI , n , k , T , q et I_0 pour $V = V_{oc}$.

$$dI = -I_0 \cdot \exp \left(q \cdot \left(\frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot k \cdot T} \right) \right) \cdot q \left(\frac{dV + R_s \cdot dI}{n \cdot k \cdot T} \right) \quad (1)$$

$$\text{On pose: } A = I_0 \cdot \exp \left(q \cdot \left(\frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot k \cdot T} \right) \right)$$

$$(1) \Leftrightarrow dI \cdot (n \cdot k \cdot T)/q = -A \cdot (dV + R_s \cdot dI)$$

$$(n \cdot k \cdot T)/q = -A \cdot dV/dI - A \cdot R_s \gg R_s = -dV/dI - (n \cdot k \cdot T)/q \cdot (1/I_0 \cdot \exp \left(q \cdot \left(\frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot k \cdot T} \right) \right))$$

$$\text{Pour } V = V_{oc} : R_s = -dV/dI \Big|_{V_{oc}} - (n \cdot k \cdot T)/q \cdot (1/I_0 \cdot \exp \left(q \cdot \left(\frac{V_{oc}}{n \cdot k \cdot T} \right) \right))$$

En tenant compte des éléments du modèle déterminé précédemment et des simplifications possibles (R_{sh} tend vers ∞), l'équation du courant de sortie de la cellule devient :

$$I = I_l - I_o \left(\exp \left(q \cdot \frac{V + R_s * I}{n * k * T} \right) - 1 \right)$$

Pour pouvoir tracer la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule à partir des éléments du modèle identifiés précédemment, la relation précédente a été transformée comme ci-dessous :

$$h(I) = I_{cc} - I - I_o \left(\exp \left(q \cdot \frac{V + R_s * I}{n * k * T} \right) - 1 \right)$$

Pour trouver I en fonction de V , cela revient à fixer V et à résoudre l'équation $h(I)=0$.

Note: I_{cc} est le courant de court-circuit de la cellule et a une valeur fixe pour une irradiation donnée.

Question 19. A l'aide de la méthode décrite dans le document ressource DR1, établir l'équation récurrente des éléments I_{n+1} permettant de reconstituer la caractéristique $I = f(V)$ comme le ferait un logiciel de modélisation.

Remarque: Cette méthode permet de déterminer les 4 paramètres du modèle de la cellule pour les 3 points remarquables de la caractéristique $(0, I_{cc})$, $(V_{co}, 0)$ et (V_{mp}, I_{mp}) .

Les éléments de l'équation de $I = f(V)$ se calculent grâce à l'équation récurrente suivante :

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{cc} - I_n - I_o * \left(\exp * q \left(\frac{V + R_s * I_n}{n * k * T} \right) - 1 \right)}{-1 - I_o * \left(\frac{q * R_s}{n * k * T} \right) * \exp \left(q \left(\frac{V + R_s * I_n}{n * k * T} \right) \right)}$$

Exploitation du modèle

Les paramètres du modèle de la cellule photovoltaïque ont été implantés dans un logiciel de simulation. Le document réponse DREP2, figure 13 représente la caractéristique $I = f(U)$ de la cellule pour une température T_1 de 25° C et une irradiation de 1000 W/m².

Question 20. Tracer sur la figure 13 la caractéristique qu'on obtiendrait pour une température $T_2=50^\circ$. Justifier ce tracé.

Le tracé se trouve sur le DREP2, Fig 13. En reprenant l'expression de I dans la question Q18, on voit que si T augmente, le courant I_o de saturation diminue, ce qui fait augmenter le courant I et provoque une chute de tension plus importante au niveau de R_s . La tension V_{co} en circuit ouvert est diminuée et translate la caractéristique $I = f(V)$ (pente inchangée).

Le document réponse DREP2, figure 14 représente la caractéristique $I = f(U)$ de la cellule pour une température T_1 de 25° C, une irradiation de 1000 W/m² et une résistance série R_s de 0,01 Ω.

Question 21. Tracer sur la figure 14 la caractéristique qu'on obtiendrait pour une valeur de $R_s' = 0,02 \Omega$. Justifier ce tracé.

Le tracé se trouve sur le DREP2, Fig 14. Quand R_s augmente, la pente de la caractéristique $I = f(V)$ au point V_{co} diminue car la chute de tension aux bornes de cette résistance augmente sans changer la valeur du courant.

Question 22. Conclure sur la manière d'optimiser l'utilisation des cellules photovoltaïques à l'aide des résultats graphiques obtenus lors des deux questions précédentes.

Cette approche de modélisation doit nous permettre d'optimiser la production photovoltaïque en explorant 2 paramètres:

- La température des panneaux: optimiser l'implantation et ventilation des panneaux.
- La résistance série R_s : choix des panneaux (sur document constructeur quand la caractéristique existe).

F. Gestion de l'énergie

Dès la conception du système il a été établi différents modes de fonctionnement permettant de répondre à plusieurs situations. Ces modes sont déclenchables soit sur demande d'un technicien depuis l'interface de contrôle de gestion, soit sur demande du gestionnaire de réseau (dans ce cas une interface de contrôle avec ce dernier est prévue). Parmi les modes, on trouve :

- Effacement : le bâtiment efface du réseau sa consommation. La fourniture d'énergie est réalisée par les énergies renouvelables et le stockage d'énergie réalisé ;
- Autoconsommation : le bâtiment utilise au maximum sa production. La fourniture d'énergie est réalisée par les énergies renouvelables, le stockage d'énergie réalisé et en appoint le réseau ;
- Fourniture au réseau : le surplus d'énergie produit par le photovoltaïque et l'éolienne est utilisé pour la fourniture au réseau complété par la batterie.

L'objectif de cette partie est la validation d'une architecture réseau et de commande permettant de gérer l'énergie du bâtiment.

F1. Description de l'architecture

La gestion énergétique du bâtiment est assurée par un ensemble d'automates dont le diagramme de bloc interne est donné ci-dessous :

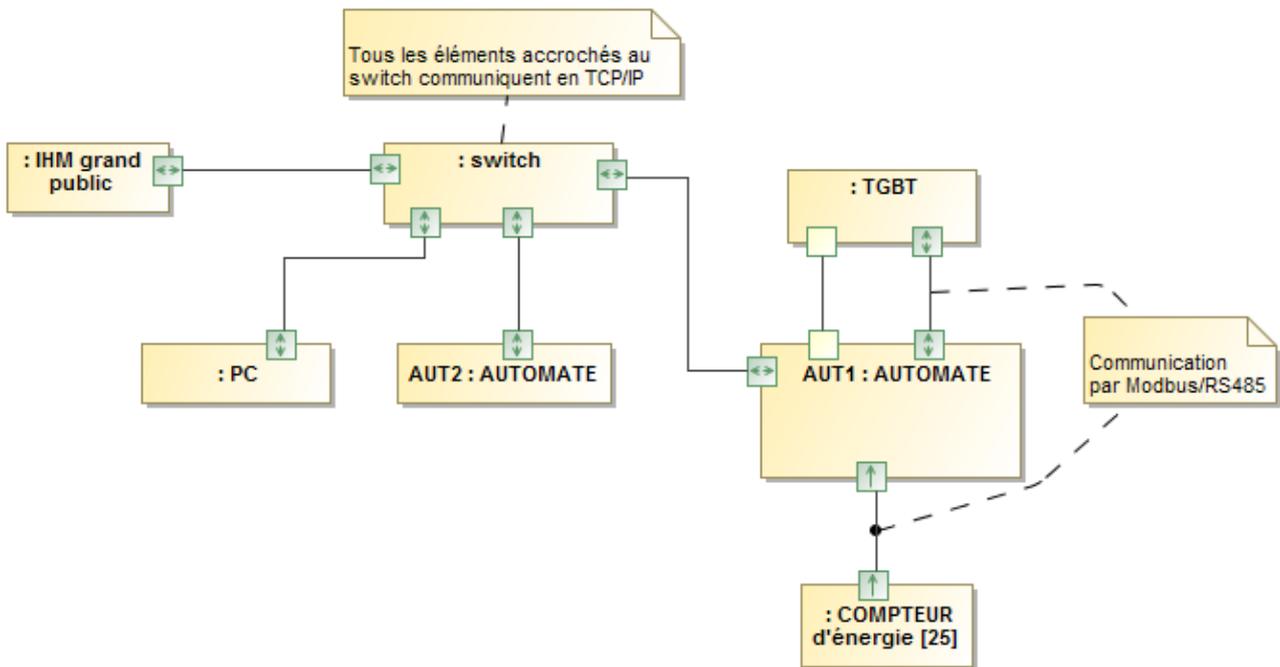


Figure 7. Diagramme de bloc interne de la partie commande (PMS)

L'automate AUT1 est un automate de type M340 permettant de collecter toutes les informations venant des compteurs d'énergie et d'autres éléments. Il permet aussi de commander des éléments du TGBT (Tableau Général Basse Tension). Il est l'unique interface entre la partie commande et les différents appareils.

L'automate AUT2 contient l'intelligence permettant de contrôler les différents modes de fonctionnement. Il tire ses informations de l'automate AUT1 en allant y lire des données par protocole Modbus/TCP. En retour, il génère et fournit les différentes consignes pour AUT1 selon les différents modes de fonctionnement à adopter (indiqués en début de sujet).

Le PC permet de gérer l'écran d'accueil affichant les données et gère l'archivage des données dans une base de données. Comme AUT2 il va lire les informations contenues dans l'AUT1.

On précise que le niveau Ethernet fonctionne en 100 BASE-TX.

F2. Réseau

L'automate AUT2 et le PC lisent continuellement les informations stockées dans AUT1. Le responsable réseau du SDEM a décidé de placer un routeur entre le réseau de l'établissement (d'adresse réseau 172.16.0.0/16) et le réseau créé entre les automates.

Question 23. Rappeler le rôle d'un routeur et justifier le choix technique du responsable.

Routeur : un routeur agit au niveau IP (niveau 3). Il permet de créer des sous-réseaux donc de segmenter le réseau en différentes zones IP.

Les automates fonctionnant en lecture permanente, ils ont tendance à "charger" le réseau. Un routeur permet donc de créer un sous-réseau et de circonscrire le flux à un sous-réseau pour ne pas gêner d'autres parties du réseau.

Pour être compatible avec le réseau actuel, le responsable du réseau impose une adresse de base en 192.168.1.128/26, soit un masque de réseau de 26 bits.

Question 24. Après avoir rappelé ce qu'est une adresse IP privée, compléter le tableau du DREP 3 permettant de faire une synthèse des adresses IP utilisables.

Une adresse IP privée est une adresse non routable sur le domaine public d'internet. Elles ont été réservées pour créer des réseaux non accessibles depuis le domaine public d'internet.

Pour le DREP 3 :

- Adresse réseau : 192.168.1.128
- Masque de réseau : /26 -> 255.255.255.192
- Adresse max : 192.168.1.191
- Adresse min : 192.168.1.129
- Nombre d'adresses assignables : il reste 6 bits pour les machines soit $2^6 - 2 = 62$

Question 25. Donner la table de routage du routeur en complétant le DREP 3 sachant que le routeur possède les adresses 192.168.1.150 et 172.16.0.254.

Destination	Masque	Passerelle	Interface
192.168.1.128	255.255.255.192	192.168.1.150	192.168.1.150
172.16.0.0	255.255.0.0	172.16.0.254	172.16.0.254

F3. Validation de la stratégie de commande

Comme indiqué dans la partie précédente, la gestion est partagée principalement entre trois machines et fonctionne comme indiqué ci-dessous :

- L'automate AUT1 met à jour en permanence ses informations et scrute continuellement les différents appareils auxquels il est connecté (par Modbus/RS485). Il maintient une table d'informations accessible en lecture par protocole Modbus/TCP par le PC et AUT2. Il pilote également les différents modes de fonctionnement. Les consignes lui sont fournies par AUT2 et le PC via l'écriture de variables internes par protocole Modbus/TCP également.
- Le PC lit en permanence les informations de la table de AUT1 par protocole Modbus/TCP. Chaque changement de valeur est relevé et enregistré dans une base de données.
- L'automate AUT2 récupère les informations de AUT1 par Modbus/TCP, calcule les consignes nécessaires et les envoie à AUT1 pour que celui-ci puisse basculer dans le bon mode et le piloter.

On cherche à vérifier que cette stratégie de commande permet une communication sans perte d'information, c'est à dire que le PC a le temps de lire toutes les informations de la table de AUT1 avant que celui-ci ne les ait mises à jour.

Les fonctionnements des protocoles Modbus/RS485 et Modbus/TCP sont rappelés en annexe 5 et 6.

Question 26. Expliquer pourquoi le protocole Modbus/TCP ne comporte pas de champ "n° esclave" alors que le Modbus/RS485 en a un.

En RS485 il faut pouvoir adresser un esclave par son numéro, ce champ est donc présent. En TCP/IP cela est inutile puisque pour communiquer on utilise une adresse IP qui désigne forcément un esclave particulier.

Dans un premier temps, nous cherchons à estimer le temps que met AUT1 pour lire toutes les informations par Modbus/RS485 des différents appareils.

Question 27. Justifier que l'hypothèse la plus pessimiste est celle où le maître cherche à lire un seul mot d'un esclave.

AUT2 va chercher les informations auprès d'AUT1 comme indiqué dans le sujet. On cherche donc à savoir si le temps de cycle de AUT2 est inférieur à celui de AUT1 afin de pouvoir récupérer les informations. Le cas le plus pessimiste est celui où AUT1 est le plus rapide, c'est-à-dire lorsqu'il doit récupérer très peu d'informations, soit 1 mot au minimum.

Question 28. Calculer le temps qu'il faut à l'automate AUT1 pour récupérer une information d'un mot sur 23 compteurs d'énergie. La vitesse maximale de transmission du compteur est de 38400 bauds.

Le temps de transmission d'un bit est de 26,04 μ s. Selon la documentation donnée on a l'envoi de 8 octets :

- 1 pour l'adresse de la station ;
- 1 pour le code fonction ;
- 2 pour l'adresse ;
- 2 pour le nombre de mots à lire ;
- 2 pour le CRC ;
- un espace inter-trame de 3,5 octets minimum.

Ceci nous donne :

- 11,5 octets pour le temps d'émission soit 2,4 ms environ ($11,5 \times 8 \times 26,04 \times 10^{-6}$) ;

- Et autant pour le retour de l'information ;
- On a au total environ 4,8 ms pour la lecture de l'information d'un mot sur un esclave ;
- Pour 23 esclaves on a au pire un temps de cycle de 110 ms.

Question 29. Donner le temps de lecture permettant de récupérer l'ensemble des informations de AUT1 depuis le PC. Pour simplifier l'étude, on supposera que les données sont contiguës et qu'elles ont une taille de 10 ko.

On est en 100 Base-TX. Ce qui veut dire que nous fonctionnons à 100 Mbits/s. La totalité des informations contenues dans l'automate représente 10 ko d'information. Une trame Ethernet permet de transporter jusqu'à 1,5 ko d'information. Si on ajoute les entêtes des différents protocoles, cela fait peu d'octets rajoutés car il y aura très peu de trames Ethernet. Cela laisse l'argumentation inchangée. Un bit d'information est transmis en 10 ns. Donc 10 ko seront transmis en 100 µs. Même si la lecture des données est faite en plusieurs fois, cela reste beaucoup plus rapide que par RS485.

Question 30. Conclure sur la stratégie de gestion mise en place.

Même si la stratégie est rudimentaire, cela ne pose aucun problème puisque le PC lit les informations de manière continue beaucoup plus rapidement que l'automate AUT1 ne met à lire les informations des compteurs d'énergie (on a un rapport de l'ordre de 1000). Même avec une taille d'information plus importante, il y a une bonne marge.

F4. Mise au point des modes de fonctionnement

Comme expliqué précédemment, le choix des modes de fonctionnement est dévolu à l'automate AUT2. Les ordres sont envoyés à l'automate AUT1 qui pilote ensuite le mode de fonctionnement choisi.

L'objectif de cette partie est de mettre au point un programme pour automate permettant de piloter un mode de fonctionnement. Ceci sera fait en deux temps :

- mise au point d'un modèle de comportement par machine d'état ;
- implémentation du modèle dans un langage de programmation.

Modélisation d'un mode de fonctionnement par machine d'état

On s'intéresse plus particulièrement au mode de fonctionnement **autoconsommation**.

La description de ce mode est donnée ci-dessous :

Dans ce mode de fonctionnement, le bâtiment utilise au maximum sa production. La fourniture d'énergie est réalisée par les énergies renouvelables et le stockage d'énergie.

En cas de surproduction, celle-ci est utilisée pour charger la batterie de stockage.

Si la batterie a atteint son niveau de stockage maxi il y a alors revente du surplus avec limitation de réinjection (consigne maxi de réinjection).

La régulation PV (régulation de la production des panneaux Photovoltaïques -> on cherche à moins produire) est activée si la production locale est supérieure à la consommation du bâtiment et à la consigne de réinjection.

*Le mode de fonctionnement **autoconsommation** peut être activé dans les cas suivants :*

- affectation à une période tarifaire ;
- demande opérateur depuis le superviseur PMS.

On cherche à modéliser le comportement de l'automate AUT1 selon ce cahier des charges grâce à une machine d'état.

Les événements auxquels réagit le système sont listés ci-dessous :

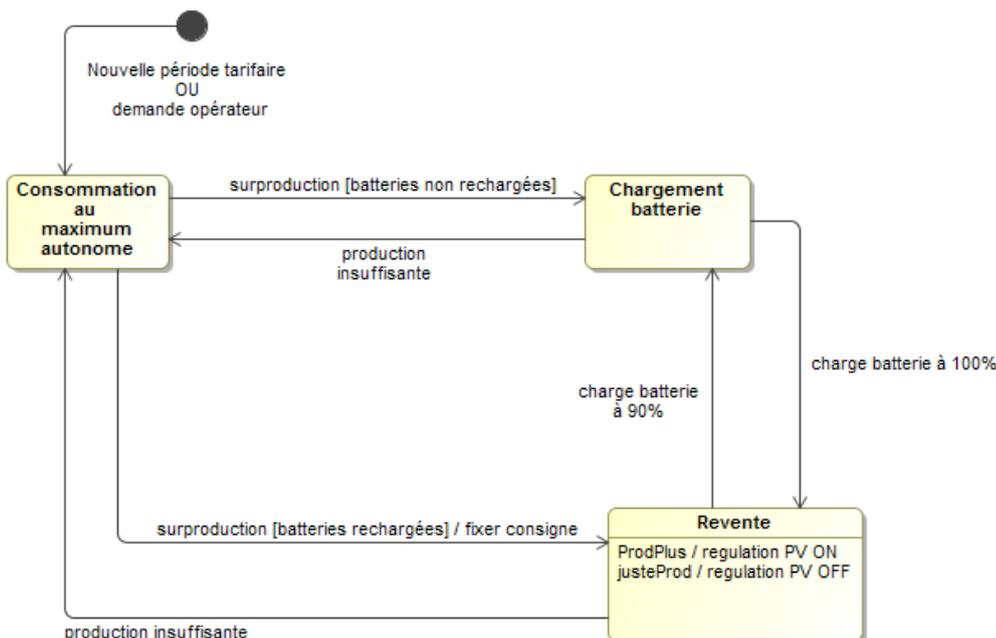
- *Nouvelle période tarifaire* : une demande tarifaire issue d'Enédis.
- *Demande opérateur* : le passage dans ce mode est fait par un opérateur.
- *Surproduction* : indique que la production dépasse la consommation.
- *Production insuffisante* : indique que la consommation est supérieure à la production.
- *Charge batterie à 90%* : indique que les batteries peuvent être de nouveau rechargées.
- *Charge batterie à 100%* : indique que les batteries sont rechargées.
- *ProdPlus* : indique que la production dépasse la capacité de consommation et de revente. Ce sera un événement interne car on reste toujours dans le mode revente (déjà positionné sur le document réponse). Cela a pour effet de déclencher la régulation de production des panneaux photovoltaïques.
- *JusteProd* : événement interne généré si, lors de la revente, la production ne permet par la revente. Dans ce cas cela enlève la régulation photovoltaïque.

Les différents états donnés sont :

- *Consommation au maximum autonome* : dans ce mode, toute l'énergie renouvelable est consommée ainsi que celle de la batterie. Le reste vient du réseau Enédis.
- *Chargement batterie* : dans ce mode, toute la consommation vient des ENR et le surplus vient recharger les batteries.
- *Revente* : dans ce mode, toute la consommation vient de l'ENR mais les batteries sont chargées à 100%. Le surplus est revendu. Dans le cas où la production dépasse la capacité de consommation et de revente, l'événement interne tropProd permet de déclencher la régulation PV (permet de limiter la production des PV).

Question 31. Sur la base de ces informations, compléter le document réponse DREP 4 décrivant une machine d'état répondant au cahier des charges en plaçant les transitions et les événements associés.

Dans le sujet il y a une petite erreur sur la dénomination d'un événement interne (entre tropProd et ProdPlus qui sont en fait les mêmes).



CORRECTION DE LA MACHINE D'ETAT

Programmation d'un mode de fonctionnement

L'objectif de cette partie est de mettre au point un programme répondant au modèle issu du cahier des charges ci-dessous.

Parmi les modes de fonctionnement possibles, le système doit permettre de renvoyer de l'énergie au réseau selon une consigne donnée par celui-ci. Le cahier des charges ci-dessous en donne le fonctionnement :

Dans ce mode de fonctionnement, le surplus d'énergie produit par le photovoltaïque et l'éolienne est utilisé pour fournir de l'énergie au réseau public, complété par la batterie si la production est insuffisante. Si les productions photovoltaïque et éolienne sont insuffisantes, les charges sont délestées. L'automate AUT2 transmet à l'automate AUT1 une consigne de consommation :

- *consigne = 0 => Délestage global de tous les départs ;*
- *consigne = 1 => Relestage des départs.*

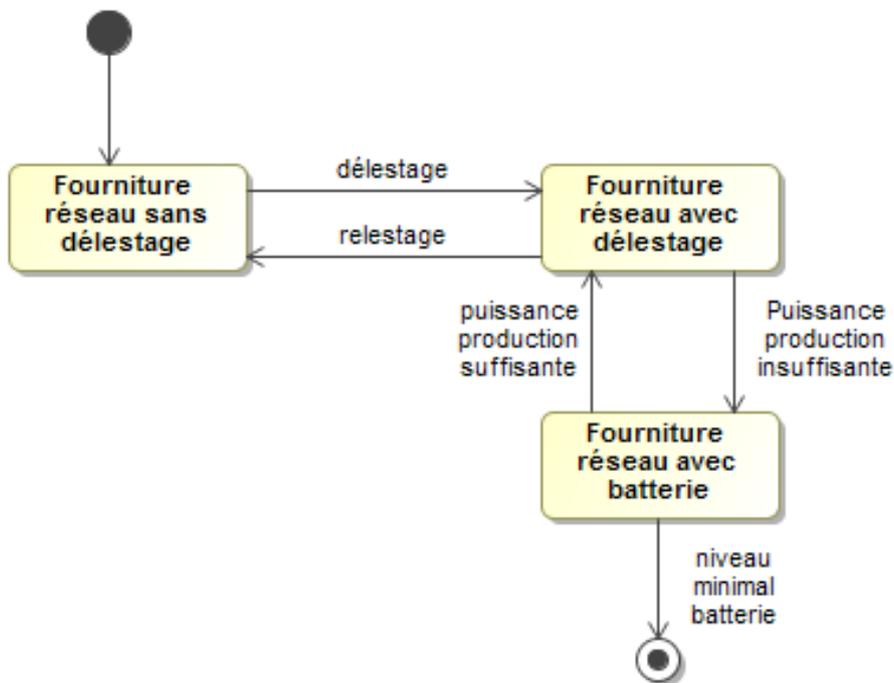
Si la puissance fournie reste inférieure à la consigne après délestage de tous les départs, la batterie est utilisée en décharge pour atteindre le seuil de consigne souhaité.

Si la batterie a atteint son niveau de stockage mini => arrêt du mode de fonctionnement puis passage en mode revente surplus énergie.

Si la puissance fournie reste supérieure à la consigne après relestage de tous les départs, la batterie est utilisée en charge pour atteindre le seuil de consigne souhaité (inclus dans la phase de fourniture au réseau et non détaillé ici).

Si la batterie a atteint son niveau de stockage maxi => mise en marche de la régulation PV (inclus dans la phase de fourniture au réseau et non détaillé ici).

Le modèle de machine d'état simplifiée correspondant à ce fonctionnement est donné ci-dessous :



Modèle de machine d'état du mode revente

Le M340 est un automate pouvant être programmé à l'aide de plusieurs langages. Pour programmer une machine d'état il est possible d'utiliser le langage Structured Text (ST), ressemblant beaucoup au pseudo-langage utilisé pour décrire un algorithme de manière universelle.

Il existe plusieurs manières de programmer un machine d'état et une idée simple est d'utiliser une structure conditionnelle de type **switch... case** en utilisant une variable d'état pour faire évoluer le programme. Un exemple est fourni à l'annexe 7.

Question 32. Compléter le code du document DREP5 afin d'implémenter la machine d'état décrite ci-dessus sachant qu'il ne reste à compléter que la gestion des événements.

Voir à la fin du sujet.

Question 33. Conclure sur la méthode de mise au point du programme de gestion d'énergie.

L'idée ici est de bien voir la démarche utilisée. On est dans une démarche d'ingénierie système. Les modes de fonctionnement sont ébauchés dans un cahier des charges pour ensuite être traduits dans un formalisme plus approprié (machine d'état). Il ne reste ensuite qu'à l'implémenter avec un langage de programmation. Chaque mode peut ainsi être mise au point séparément puis une autre machine d'état vient piloter l'ensemble des modes.

G. Conclusion générale

Question 34. En reprenant les éléments traités, conclure sur la problématique énoncée en début de sujet en mettant en évidence les avantages et les inconvénients d'une telle solution.

Exploitation du modèle de la cellule - Corrigé

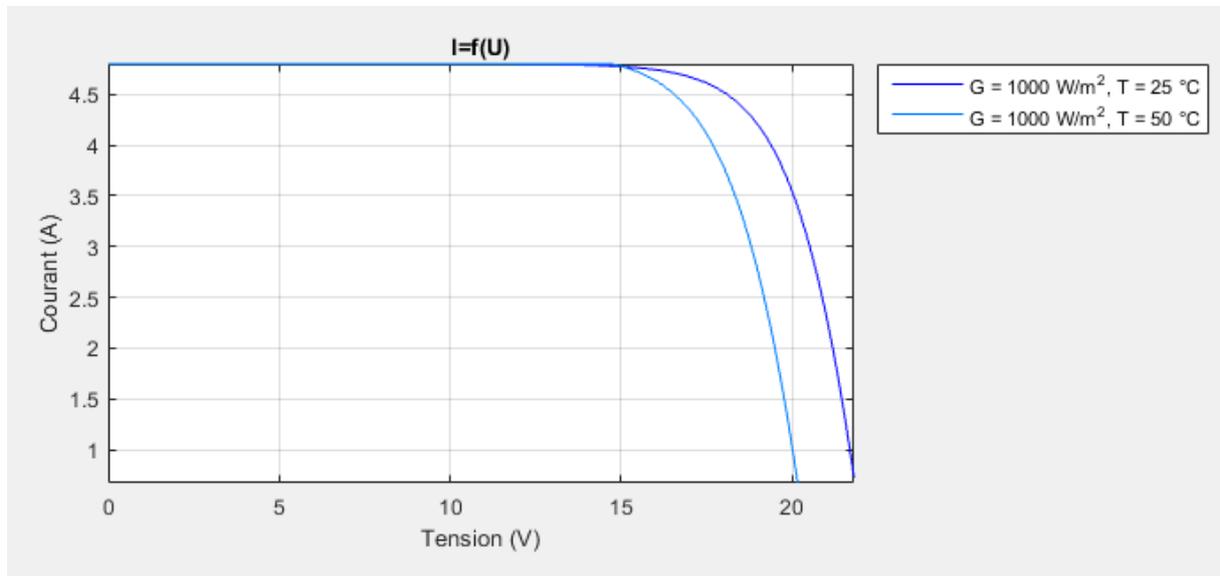


Figure 1. Evolution de la caractéristique $I=f(U)$ en fonction de la température

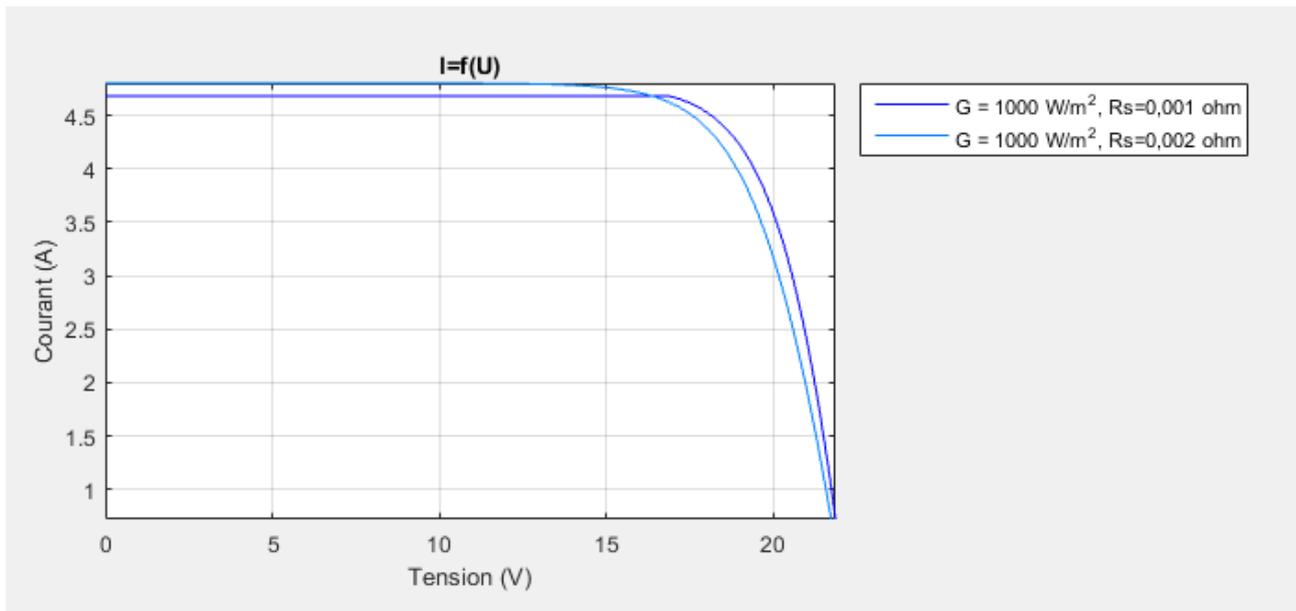


Figure 2. Evolution de la caractéristique $I=f(U)$ en fonction de R_s

B) Commentaires du jury

Pour la rédaction, le jury conseille vivement aux candidats de soigner la syntaxe et l'orthographe de leurs compositions et de veiller à rédiger des textes cohérents et structurés.

Pour la partie scientifique et technique, le jury invite les candidats à être attentifs aux applications numériques et aux ordres de grandeur des résultats. Les équations aux dimensions sont utiles pour vérifier l'homogénéité des formules.

Partie B – Présentation du site

Cette partie permettait d'évaluer la capacité des candidats à extraire des informations d'un diagramme de définition de blocs SYSML. Elle a été correctement traitée par la plupart des candidats.

Partie C – Le bâtiment Kergrid et la problématique énergétique locale

Cette partie permettait de vérifier que les candidats étaient capables d'analyser les documentations fournies, d'en tirer des réponses synthétiques et d'éviter les paraphrases.

Le jury conseille aux candidats de ne pas hésiter à présenter les réponses sous forme de tableaux ou de graphiques.

Il était demandé de comparer les deux réglementations thermiques et non de recopier les données techniques.

Partie D – Production d'énergie photovoltaïque du bâtiment

Les candidats devaient rechercher dans le sujet les caractéristiques pertinentes sur les panneaux solaires et les onduleurs de façon à analyser leur comportement et justifier leur association.

Une étude des phénomènes d'ombrage des panneaux était proposée, insistant sur les solutions de protection. Cette partie a été relativement peu traitée même si elle correspond à une problématique réelle lors de la mise en œuvre d'une installation photovoltaïque.

Le jury recommande aux candidats d'être vigilants sur les unités utilisées et l'homogénéité des relations (question 10).

Pour la justification de l'association panneaux solaires/onduleurs, la plupart des candidats n'a pas pris en compte l'ensemble des paramètres électriques.

Le jury déplore un manque de rigueur lors de la résolution des problématiques technologiques.

Partie E – Modélisation du comportement d'une cellule photovoltaïque

Il s'agissait ici d'exploiter la modélisation mathématique de la cellule photovoltaïque pour prédire l'influence de la température et de la qualité des contacts sur son comportement. Si les questions introductives ont souvent été bien traitées, l'approfondissement et l'interprétation des résultats ont posé plus de problèmes.

Les questions Q15 et Q16 et Q17 ne présentaient pas de difficultés majeures et ont été relativement bien traitées. En revanche, peu de candidats ont abordé la question Q19, sans doute rebutés par son aspect mathématique.

Les candidats ont eu, pour la plupart d'entre eux, des difficultés à extraire des formules données dans le sujet l'influence de la température et de la résistance série sur le fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

Partie F – Gestion de l'énergie

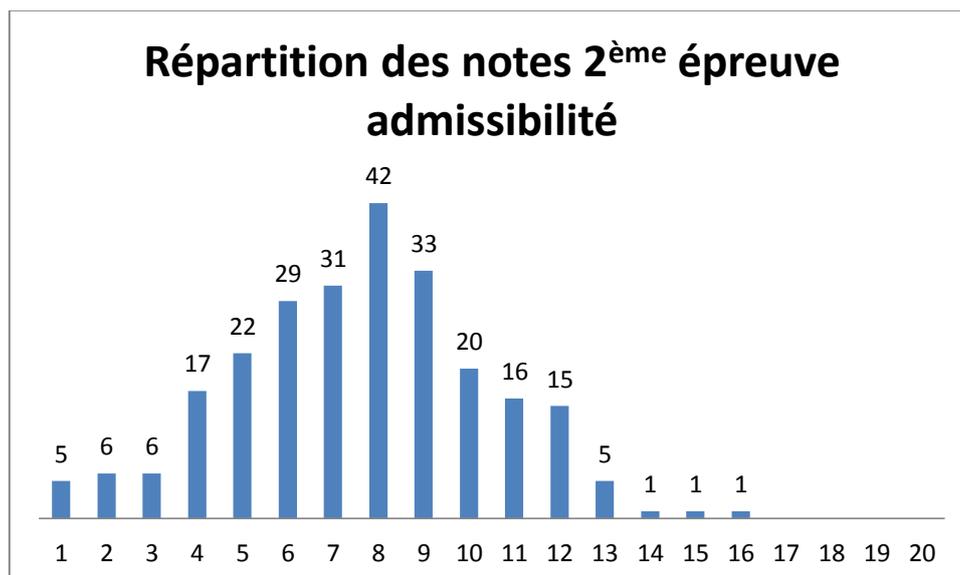
Cette partie avait pour objectif d'évaluer le candidat sur la communication réseau et sur sa capacité à modéliser un sous-ensemble de la solution logicielle à l'aide d'un diagramme d'état.

Cette partie a été globalement mal traitée. Le jury note que sur la partie réseau TCP/IP, les notions sont un peu mieux maîtrisées que lors des sessions précédentes. Cependant les réponses restent souvent très approximatives. Quant à la partie commande, sa mise au point passait par une phase d'abstraction permettant de prendre une certaine hauteur de vue en utilisant des modèles comportementaux (diagramme d'états, diagrammes de séquence). Le jury recommande aux candidats de ne pas négliger ces aspects indissociables du domaine de l'énergie.

Partie G – Conclusion générale

La conclusion globale a été très peu traitée et est souvent restée au niveau des généralités.

Répartition des notes de l'épreuve (250 candidats)



Epreuves d'admission

Les épreuves d'admission se sont déroulées du 11 avril au 14 avril 2017 dans de très bonnes conditions au lycée JOLIOT-CURIE à Rennes. Les membres du jury adressent de vifs remerciements au proviseur et au directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluri-technique (1^{ère} épreuve d'admission)

Coefficient 2 – Durée 6h

Cette épreuve d'admission a pour objectif de vérifier la capacité du candidat à prendre en charge un système technique imposé et à développer des expérimentations ayant pour objectif la construction d'activités pédagogiques en STI2D, en STS ou en DUT. Elle se décompose en trois phases distinctes et complémentaires.

Expérimentation (4h)

Après avoir tiré au sort un sujet traitant d'une problématique liée à la spécialité choisie (GE ou SI), le candidat doit mener des investigations sur un objet technique imposé.

Le candidat est d'abord guidé, avec un sujet, pendant deux heures, afin de s'approprier le fonctionnement et la structure du système.

Il est ensuite invité pendant les deux heures suivantes à poursuivre sa démarche d'investigation en explorant, s'il le souhaite, d'autres pistes d'exploitation. Afin d'anticiper l'élaboration d'une application pédagogique, il doit sauvegarder les résultats expérimentaux qui illustreront ses propositions.

Durant les deux premières heures, le candidat est suivi par les membres du jury qui le questionnent sur les protocoles expérimentaux qu'il met en œuvre, sur l'analyse de ses résultats et qui vérifient ses connaissances sur le thème abordé. Durant les deux heures suivantes, **alors que le candidat doit commencer à construire ses activités pédagogiques au niveau imposé dans le sujet**, les membres du jury lui apportent le soutien technique nécessaire à la mise en place des investigations qu'il souhaite réaliser.

Préparation de la leçon (1h)

Le candidat dispose d'une heure en loge afin de préparer sa soutenance. Il peut emporter les documents qui lui étaient fournis lors des quatre heures d'activités pratiques et une clé USB où il a sauvegardé ses relevés expérimentaux. Il dispose d'un ordinateur équipé d'une suite bureautique classique.

Soutenance (1h)

Le candidat doit présenter durant trente minutes et devant une commission de jury la production pédagogique qu'il a élaborée. Trente minutes sont ensuite dédiées à l'entretien avec les membres du jury. Le candidat dispose d'un PC, d'un vidéoprojecteur et des supports numériques préparés lors des précédentes phases de cette épreuve.

Remarques concernant la session 2017

Domaine d'activité « gestion de l'énergie »

Les supports proposés permettaient l'étude de l'optimisation énergétique dans différents contextes et selon différentes modalités : le domaine tertiaire était abordé par la gestion des flux de ventilation, par les réseaux d'informations domotiques et par la production d'énergie solaire; le domaine industriel était abordé par l'optimisation de l'énergie appelée par une installation et par le prototypage d'un système électromécanique.

L'ensemble de ces thèmes et supports représentent les activités modernes de l'ingénierie électrique.

Le jury a apprécié :

- la connaissance préalable des applications d'optimisation énergétique, la problématique liée aux harmoniques et au placement de correcteurs ;
- la mise en œuvre de protocoles expérimentaux pertinents et adaptés au problème posé ;
- les meilleurs candidats ont été ceux qui ont cherché une cohérence dans leur scénario pédagogique dès le début de la phase d'expérimentation en conceptualisant leur proposition sur un support technique adapté et un cahier des charges réaliste ;
- la maîtrise de l'utilisation d'analyseur de réseau d'énergie ainsi que les exploitations possibles des mesures et contrôles liés à ces appareils est indispensable.

Domaine d'activité « systèmes d'information »

Les supports choisis dans le champ des systèmes d'informations mettaient en œuvre des platines de prototypage rapide permettant :

- l'acquisition de l'information par cible FPGA ou PSOC ;
- le traitement du signal ;
- la transmission de données.

Le jury a apprécié :

- la faculté d'adaptation de la plupart des candidats quant à la mise en œuvre des différents systèmes de prototypage rapide proposés dans les activités de travaux pratiques ;
- la connaissance des langages procéduraux et matériels employés lors des investigations ;
- pour la plupart des candidats, une capacité d'analyse satisfaisante permettant l'appropriation des concepts.

Une préparation préalable est indispensable dans les domaines suivants :

- connaissances théoriques générales relatives au traitement du signal (transformée en Z, équation de récurrence, analyse temporelle et spectrale d'un signal échantillonné) ainsi qu'à la transmission d'un signal (réseaux) ;
- compétences techniques générales dans le domaine du numérique (composants programmables, développement logiciel,...) ;
- mise en œuvre et maîtrise des instruments de mesure.

Soutenance (pour les deux domaines d'activités)

En majorité, les candidats n'utilisent pas les trente minutes mises à disposition pour la présentation de l'exploitation pédagogique. Certains se limitent à une description sommaire des activités expérimentales conduites en amont alors qu'il est attendu **qu'ils transfèrent ces différentes activités vers une application pédagogique au niveau imposé dans le sujet.**

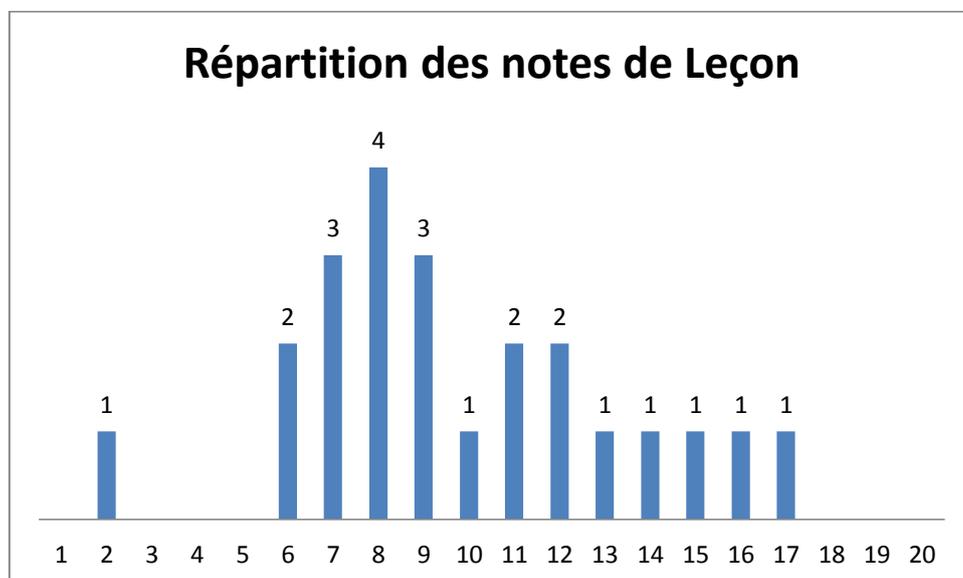
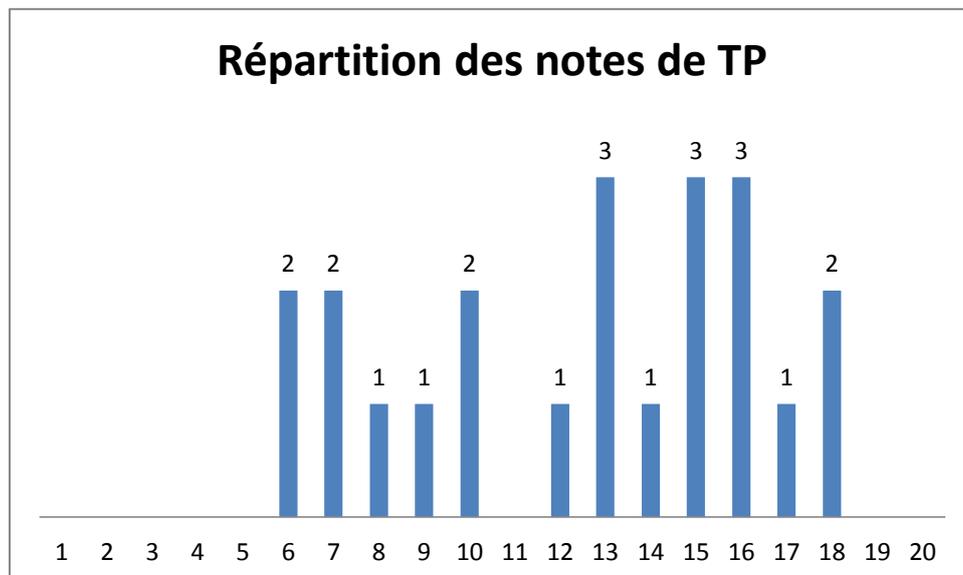
Le jury a apprécié les prestations des candidats qui ont réellement exploité la phase expérimentale pour développer un projet pédagogique structuré comportant :

- une description des intentions pédagogiques, qui fasse apparaître les objectifs de formation en termes de compétences et de connaissances visées ;
- un positionnement de la séance pédagogique dans une séquence structurée ;
- une description des moyens mis en œuvre dans la classe pour conduire l'activité pratique proposée (organisation du groupe classe, mise en activité des élèves, consignes données et résultats attendus...);
- une description détaillée de la séance ;
- une conclusion.

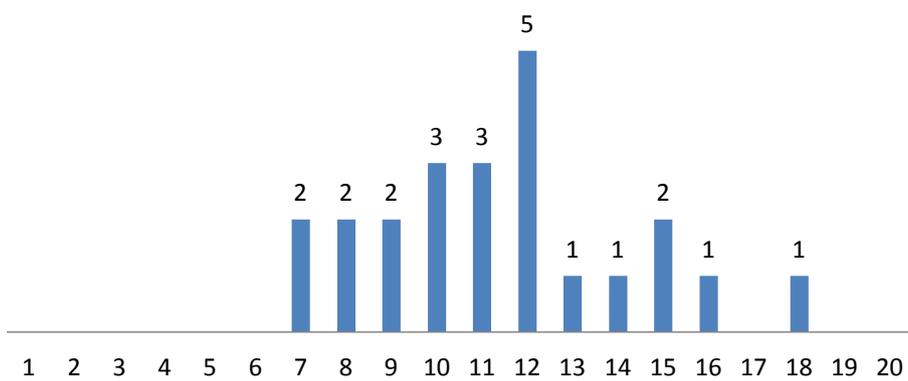
Dans la phase de questionnement, le jury a particulièrement apprécié que les candidats justifient :

- les fondements scientifiques et technologiques en relation avec l'exploitation pédagogique proposée ;
- leurs choix et stratégies pédagogiques de manière claire et synthétique.

Répartition des notes de l'épreuve



Répartition des notes 1^{ère} épreuve admission



Epreuves d'admission

Epreuve sur dossier (2^{ème} épreuve d'admission)

Coefficient 1 – durée une heure

L'épreuve consiste en la soutenance du dossier devant le jury suivie d'un entretien (*présentation n'excédant pas trente minutes ; entretien avec le jury : trente minutes au maximum*).

L'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et industriel et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes pour son enseignement en collège ou au lycée. Le dossier doit mettre en évidence les compétences du candidat à transférer des données scientifiques et technologiques du milieu économique et industriel vers l'éducation nationale.

Le candidat déclaré admissible envoie par courrier postal avec accusé de réception, avant une date définie par le calendrier du concours, deux exemplaires d'un rapport écrit (le dossier) ainsi qu'une version numérique sur support à sa convenance (CD ou clé USB).

Les dossiers (deux versions papier et une version numérique) doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission. Le jury expertise ce dossier avant la soutenance du candidat.

La salle de l'épreuve est mise à disposition du candidat une heure avant le début de l'épreuve afin de préparer l'environnement de présentation. Les équipements mis à disposition sont : un poste informatique, un vidéoprojecteur, un tableau. Le candidat peut aussi utiliser son ordinateur portable personnel.

Constitution du dossier

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système technique de la spécialité choisie. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs. Le dossier préparé par le candidat ne doit pas dépasser quarante pages. Il est constitué des éléments définis ci-dessous.

1. Les représentations et documents techniques nécessaires à la compréhension du système technique. Si ces documents sont trop riches, le candidat doit faire des choix pour son dossier et sa présentation, mais il doit transmettre la totalité des documents sous format numérique ;
2. Une réflexion sur le choix du support et les études conduites, exploitant les connaissances attendues d'un professeur dans la spécialité choisie pour le concours, qui peuvent être articulées autour :
 - du traitement d'un problème pertinent au regard du support utilisé ;
 - de simulations (de fonctionnement et de comportement), lorsqu'elles sont utiles. Les fichiers de simulation sont également à transmettre sur le support numérique inclus dans le dossier ;
 - de toutes les informations permettant de justifier les solutions et/ou les évolutions projetées du système.

Le candidat doit mettre en évidence sa capacité à s'appropriier dans sa totalité la structure, le fonctionnement et les problématiques du support d'étude.

3. Les investigations menées qui pourraient donner lieu à des exploitations pédagogiques pertinentes au cycle terminal du lycée, en STS, en IUT ou en CPGE. Le cadre d'une exploitation pédagogique doit être

proposé de manière détaillée. Elle doit être structurée à partir des compétences à faire acquérir aux élèves.

Le candidat doit donc :

- présenter les objectifs, le principe de déroulement et les moyens didactiques à mobiliser pour une séquence de formation correspondant à un objectif pédagogique d'un programme et d'un niveau de classe précisé ;
- indiquer, selon son point de vue, les points clefs, les difficultés prévisibles et les scénarios alternatifs pouvant permettre de les contourner.

Exposé et entretien

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 de l'option choisie. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur l'analyse scientifique et technologique développée ainsi que l'exploitation pédagogique envisagée. En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, etc.), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve, ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles. 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 fait préciser certains points. Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

Critères d'évaluation

Le jury évalue :

- l'authenticité, l'actualité, le niveau scientifique et technologique du cas choisi ;
- la capacité du candidat à en faire une présentation construite, claire et objective ;
- la mise en évidence des problèmes posés par l'étude choisie ;
- l'identification, dans le sujet traité, des points remarquables et transférables dans un enseignement ;
- la qualité des investigations conduites et la pertinence des exploitations pédagogiques retenues par rapport aux niveaux de formation choisis ;
- la description détaillée de certaines exploitations pédagogiques ;
- la qualité du dossier élaboré par le candidat.

Remarques concernant la session 2017

Les points suivants ont été valorisés par le jury :

- le dossier fait référence à un support industriel ou du domaine du grand public parfaitement maîtrisé et analysé. La complexité est suffisante pour envisager l'analyse scientifique et technologique au niveau du concours de l'agrégation ;
- le candidat a souvent rencontré les concepteurs ou les responsables techniques ;
- l'analyse du support a été conduite avec précision sans éléments inutiles. Elle est étayée de développements scientifiques et modélisations logicielles. Les choix technologiques sont analysés et discutés ;
- les problématiques étudiées et exploitées au niveau pédagogique sont en relation avec les éléments essentiels de l'analyse du support retenu ;
- les objectifs pédagogiques sont explicités, organisés et font clairement apparaître les compétences visées ;
- le dossier comporte une ou des séquences pédagogiques complètement développées (avec les documents à transmettre aux élèves, la préparation professeur, les dossiers annexes) ;

- la ou les séquences développées sont contextualisées au sein d'une progression annuelle ;
- les objectifs, les contenus et les modalités des évaluations sont précisés ;
- les stratégies pédagogiques sont clairement explicitées ;
- le candidat qui a expérimenté les propositions pédagogique présentées, ou qui a rencontré des professeurs qui enseignent dans les classes retenues pour ces propositions ;
- la présentation est bien organisée et bien minutée, le candidat expose clairement son propos en s'adressant au jury de façon détachée vis-à-vis du texte ou support de présentation ;
- le niveau de langage et la présentation du candidat sont irréprochables.

Pour les candidats n'ayant pas correctement réussi cette épreuve, le jury a constaté les insuffisances détaillées ci-dessous.

Concernant la partie technique du dossier :

- l'absence du cahier des charges industriel original ;
- le choix d'un système déjà didactisé par une entreprise spécialisée ;
- la reprise d'une tâche développée par des lycéens en projet ou par des étudiants dans le cadre des épreuves professionnelles de synthèse ;
- une étude technique réduite à une compilation de documents, ne proposant que peu d'analyses scientifiques et technologiques des solutions retenues par le concepteur ;
- l'obsolescence des systèmes choisis, ou des supports insuffisamment riches sur les plans scientifiques et technologiques ;
- l'absence de description fonctionnelle et/ou structurelle du support;
- une lisibilité insuffisante des documents fournis ;
- un manque d'initiative et de curiosité scientifique ;
- un manque de maîtrise des différents champs scientifiques et technologiques abordés.

Concernant la partie pédagogique du dossier :

- une partie pédagogique réduite à quelques intentions « génériques » ne permettant pas d'explicitier de réels choix pédagogiques ;
- l'éloignement de l'exploitation pédagogique par rapport à la structure réelle du support choisi.

Les candidats doivent apporter une attention particulière à la préparation de cette épreuve. L'élaboration d'un dossier répondant aux attentes du jury demande plusieurs mois et ne peut pas être raisonnablement prévue entre les épreuves d'admissibilité et les épreuves d'admission.

Répartition des notes de l'épreuve

Répartition des notes 2^{ème} épreuve admission

