



Secrétariat Général

Direction générale des
ressources humaines

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Sous-direction du recrutement

AGRÉGATION INTERNE

GÉNIE ÉLECTRIQUE

Rapport présenté par Monsieur Jean-Pierre COLLIGNON
Président du jury

2011

MODALITES DU CONCOURS DE L'AGREGATION INTERNE

ANNEXE A L'ARRETE DU 12 SEPTEMBRE 1988 FIXANT LES MODALITES DES CONCOURS DE L'AGREGATION

EPREUVES DU CONCOURS INTERNE DE L'AGREGATION SECTION GENIE ELECTRIQUE

A. – Epreuves écrites d'admissibilité

1ère épreuve d'admissibilité.

Durée maximale : 8heures

Coefficient : 1

L'épreuve, qui prend appui sur un système industriel défini par une documentation technique, s'organise en deux parties. La première permet d'évaluer les capacités du candidat à utiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour expliciter ou valider les solutions retenues.

- La seconde permet d'évaluer les capacités du candidat à utiliser le support proposé pour élaborer un exercice permettant l'évaluation des connaissances et méthodes acquises par les élèves.

- Le candidat doit situer l'exercice dans un processus d'apprentissage et par rapport aux autres enseignements scientifiques ou techniques qui lui sont associés.

2ème épreuve d'admissibilité.

Durée maximale : 6heures

Coefficient : 1

L'épreuve permet d'évaluer les capacités du candidat à :

- à mobiliser ses connaissances en automatique pour analyser et résoudre un problème d'automatisation ;

- à proposer, pour certains points clés mis en évidence lors de l'étude, la ressource méthodologique et les techniques pédagogiques nécessaires à l'enseignement à un niveau de formation déterminé.

B. – Epreuves orales d'admission

1ère épreuve d'admission.

Durée : 1heure

Coefficient : 1

L'épreuve consiste en la présentation et la soutenance par le candidat d'un dossier original relatif à un projet qu'il a conduit dans le cadre de la discipline dans laquelle il enseigne.

Le thème du projet est pris dans les programmes des enseignements technologiques de la spécialité donnés dans les classes terminales de lycée ou dans les classes post-baccalauréat.

Le projet doit mettre en valeur :

- d'une part, la dimension technologique du thème dans ses composantes scientifiques, techniques et aussi économiques, sociales et humaines ;

- d'autre part, les aspects pédagogiques en relation avec le niveau d'enseignement retenu.

Le candidat dispose de trente minutes pour présenter :

- les raisons qui l'ont conduit au choix du thème ;

- les réalisations (documents, matériels, logiciels) relatives aux aspects techniques et pédagogiques du projet ;

- les objectifs pédagogiques retenus, leur opérationnalisation, notamment les modes et critères d'évaluation retenus ;

- les documents d'enseignement établis.

Le jury, au cours de l'entretien de trente minutes qui suit l'exposé, peut :

- faire approfondir certains points du projet ;

- demander des précisions sur les solutions techniques adoptées ;

- faire expliciter certains aspects de la démarche pédagogique.

Le jury apprécie :

- la valeur industrielle, technique et économique du thème retenu ;

- la qualité du travail effectué ;

- les connaissances scientifiques et techniques du candidat ;

- la maîtrise de la didactique de la discipline, des méthodes et moyens d'enseignement ;

- la connaissance de l'environnement du système technique support du thème ;

- la qualité d'expression et de communication du candidat.

2ème épreuve d'admission.

Durée maximale : 8heures

Coefficient : 1

Cette épreuve consiste à exploiter des documents techniques et pédagogiques relatifs à une séquence de « travaux pratiques » ou à une séquence à caractère expérimental, élément d'un processus d'apprentissage.

Elle permet d'évaluer les capacités du candidat à :

- proposer et justifier les principes, méthodes et modes opératoires à mettre en œuvre et à dégager les concepts auxquels ils se rattachent ;

- réaliser, pour tout ou partie selon la durée impartie, l'activité prévue.

Le programme du concours est défini par référence aux programmes des B.T.S et D.U.T de la spécialité.

N.B.- Afin de permettre au candidat de composer dans les disciplines correspondant à son enseignement, il choisira de traiter, pour l'ensemble des épreuves du concours, soit la dominante électrotechnique (option B), soit la dominante électronique (option A).

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

COMPOSITION DU JURY – SESSION 2011

M. COLLIGNON Jean-Pierre	Inspecteur général de l'éducation nationale, Président,
M. DARRAULT Carol Poitiers, Vice-président	Inspecteur d'académie, inspecteur pédagogique régional,
M. DRU Isabelle Orléans-Tours, Vice-présidente	Inspecteur d'académie, inspecteur pédagogique régional,
M. BELLEC Dominique	Professeur Agrégé Poitiers,
Mme BOUYSSONNADE Solange	Professeur Agrégé Toulouse,
M. CHARIER Bertrand	Professeur Agrégé Poitiers,
M. CORRIEU Pierre-Louis	Professeur Agrégé Dieppe,
Mme COSTA Pascale	Professeur de chaire supérieure Paris,
M. COUTABLE Grégory	Professeur Agrégé Caen,
M. GALLOY Damien	Professeur Agrégé Toulouse,
M. GUERIN François	Maître de conférences IUT GEII Le Havre
M. HOUZET Eric	Professeur Agrégé Reims,
M. LABOURE Eric	Maître de conférences Créteil,
M. LIEBAUT Jean-François	Professeur Agrégé Créteil,
M. LUBRANO Laurent	Professeur Agrégé Saumur,
M. MARTIN Baudouin	Professeur Agrégé Orléans-Tours,
M. MASINA Thierry	Professeur Agrégé Créteil,
M. MICHEL Patrice	Professeur Agrégé Toulouse,
M. NAËL Richard	Professeur Agrégé Rennes,
M. NARBONNE Yves	Professeur Agrégé Limoges,
M. PICARD Alain Nantes,	Inspecteur d'académie, inspecteur pédagogique régional
M. REYNIER Louis	Professeur Agrégé Limoges,
M. REY Gilles	Professeur Agrégé Créteil,
M. RUAUD Jacques	Professeur Agrégé Nantes,
M. VANDEVILLE Fred	Professeur Agrégé Lille.

Les rapports de jury sont établis sous la responsabilité des présidents de jury

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

SESSION 2011

DONNEES QUANTITATIVES

CONCOURS INTERNE

Nombre de postes :	8
Nombre de candidats inscrits :	386
Nombre de candidats présents aux deux épreuves d'admissibilité :	
Option A :	63
Option B :	104
Nombre de candidats admissibles :	
Option A :	14
Option B :	11
Nombre de candidats admissibles présents aux deux épreuves d'admission :	
Option A :	14
Option B :	9
Nombre de candidats admis :	
Option A :	6
Option B :	2
Moyenne du premier admissible :	
Option A :	14,38
Option B :	10,85
Moyenne du dernier admissible :	
Option A :	8,02
Option B :	8,04
Moyenne du premier admis :	
Option A :	12,44
Option B :	12,34
Moyenne du dernier admis :	
Option A :	10,86
Option B :	11,34

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

SESSION 2010

DONNEES QUANTITATIVES

CONCOURS D'ACCES A L'ECHELLE DE REMUNERATION DES PROFESSEURS AGREGES

Nombre de postes :	2
Nombre de candidats inscrits :	55
Nombre de candidats présents aux deux épreuves d'admissibilité :	
Option A :	12
Option B :	10
Nombre de candidats admissibles :	
Option A :	2
Option B :	2
Nombre de candidats admissibles présents :	
Option A :	2
Option B :	2
Nombre de candidats admis :	
Option A :	1
Option B :	1
Moyenne du premier admissible :	
Option A :	8,59
Option B :	11,07
Moyenne du dernier admissible :	
Option A :	8,45
Option B :	7,35
Moyenne du premier admis :	
Option A :	11,54
Option B :	9,55
Moyenne du dernier admis :	
Option A :	11,54
Option B :	9,55

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

ANALYSE DES RESULTATS CONCOURS INTERNE

	Note la plus basse	Note moyenne	Note la plus haute
Epreuves d'admissibilité			
1^{ère} épreuve (101)			
Option A	0	5,56	14,09
Option B	0,16	4,63	11,05
2^{ème} épreuve (102)			
Option A	0,05	6,48	14,68
Option B	0,00	5,05	10,68
Epreuves d'admission			
1^{ère} épreuve (203 entretien)			
Option A	3	9,71	18
Option B	2	8,56	17
2^{ème} épreuve (204 TP)			
Option A	6	11,11	17
Option B	5,5	9,83	15

ANALYSE DES RESULTATS C.A.E.R.P.A

	Note la plus basse	Note moyenne	Note la plus haute
Epreuves d'admissibilité			
1^{ère} épreuve			
Option A	0,	4,24	8,35
Option B	0,89	4,81	12,68
2^{ème} épreuve			
Option A	0,12	5,46	9,24
Option B	1,88	5,21	10,48
Epreuves d'admission			
1^{ère} épreuve			
Option A	9	10	11
Option B	2	8	14
2^{ème} épreuve			
Option A	10,5	14,25	18
Option B	9,5	11,25	13

CORRIGE EPREUVE OPTION A ELECTRONIQUE

Sujet avec corrigé

Partie 1 : Distribution de signaux vidéo	page 7
Partie 2 : Antennes	page 12
Partie 3 : Réception satellite - Antennes paraboliques	page 17
Partie 4 : Choix des canaux satellites	page 22
Partie 5 : Réception TNT	page 25
Partie 6 : Modulations utilisées	page 26
Partie 7 : Distribution TV sur IP	page 32
Partie 8 : Partie pédagogique	page 35

Partie 1 - Distribution de signaux vidéo

Dans le cas de distribution de signaux vidéo, le critère principal est la distorsion minimale, en particulier due aux échos de désadaptation. L'adaptation des lignes de transmission (câble coaxial) aux deux extrémités est primordiale, le principe est alors d'utiliser des sources et des récepteurs d'impédance précisément égale à l'impédance caractéristique Z_c des lignes de transmission, soit 75Ω en télévision.

Pour ces fréquences VHF et UHF et BIS (voir les plages de valeur documentation constructeur), on dispose de "répartiteurs" et "dérivateurs" qui présentent une résistance constante à la source des signaux (schéma dossier de présentation pages 7 et 8), quel que soit le nombre de récepteurs connectés en sortie. Les répartiteurs passifs réalisent cette condition par l'utilisation de résistances, et au prix d'une atténuation du signal.

A.1 : 1-1 - Calcul d'un répartiteur passif adapté de distribution coaxiale

1-1.1 – A quoi correspond l'impédance caractéristique? Donnez d'autres valeurs d'impédances caractéristiques utilisées en hautes fréquences, en téléphonie, en réseau informatique...

Réponse :

Impédance caractéristique : Valeur caractérisant une ligne de transmission (Ω). Pour une transmission sans réflexion, donc déformation du signal, la résistance de sortie du générateur en amont, et la résistance d'entrée de la charge en aval de la ligne doivent avoir comme valeur l'impédance caractéristique de la ligne.

En HF : 50Ω

En téléphonie : 600Ω

En réseau informatique 100 ou 120Ω

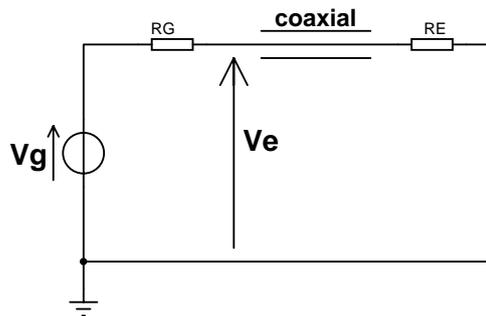


Fig. 1-1.2

1-1.2 - Justifiez la relation entre la valeur de la résistance du générateur R_G débitant dans un câble d'impédance caractéristique Z_c , et la valeur de la résistance d'entrée R_E de la charge placée à l'extrémité du câble pour obtenir une puissance transmise maximum (fig.1-1.2).

Réponse :

Pour qu'il n'y ait pas de signal réfléchi, il faut $R_E = Z_c$, dans ce cas, le générateur ne voit que R_E .

$$P_{\text{reçue}} = V_e^2 / R_E$$

$$V_e = V_g \cdot R_E / (R_E + R_G) = V_g / (1 + R_G / R_E)$$

$$P_{\text{reçue}} = V_g^2 \cdot R_E / (R_E + R_G)^2 = V_g^2 / (\sqrt{R_E} + R_G / \sqrt{R_E})^2$$

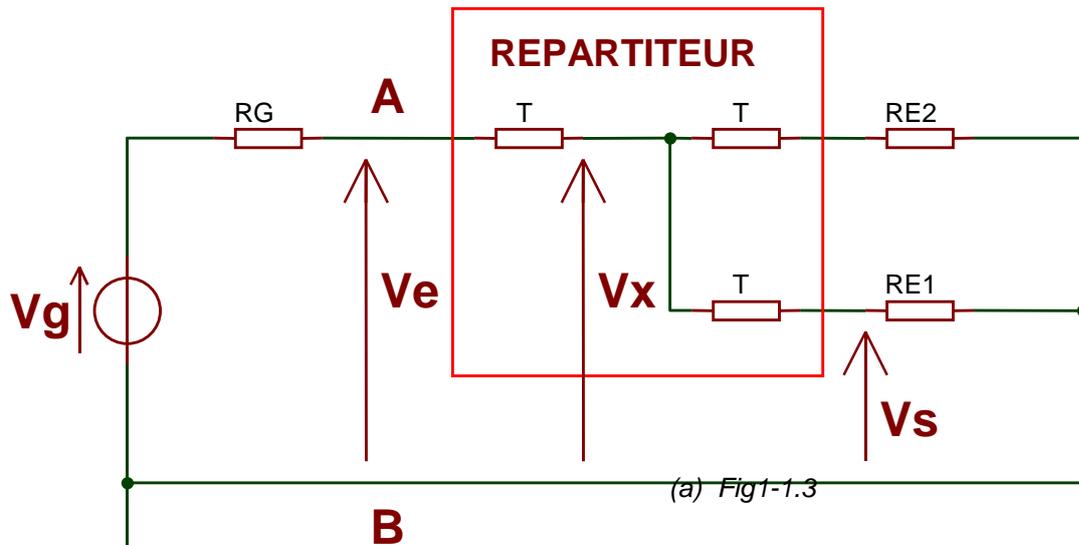
Au dénominateur, nous avons la somme de deux nombres positifs dont le produit est constant.

Pour que sa valeur soit minimale, il faut que les deux termes soient égaux.

$$\Rightarrow \sqrt{R_E} = R_G / \sqrt{R_E} \quad \Rightarrow P_{\text{reçue}} \text{ est maximum pour } R_G = R_E$$

On considère que les pertes dans les câbles coaxiaux d'impédance caractéristique Z_c sont négligeables, ils ne sont donc plus représentés. Un générateur de résistance interne R_G débite dans 2 récepteurs de résistances d'entrée R_{E1} et R_{E2} par

l'intermédiaire d'un répartiteur à 2 sorties composé de 3 résistances égales de valeur T (fig. 1-1.3), avec $R = R_G = R_{E1} = R_{E2} = Z_c$ pour toutes les questions suivantes :



1-1.3 – Calculer la résistance $R_{AB} = f(T, R)$ équivalente au répartiteur et ses charges entre A et B.

Réponse :

$$R_{AB} = (3T+R)/2$$

1-1.4 – Rechercher la valeur de T permettant d'obtenir $R_{AB} = R_G = R$

Réponse :

$$T = R/3$$

1-1.5 – Donnez l'expression de l'amplification $A = V_s / V_e$ en prenant la valeur de T trouvée précédemment.

Réponse :

$$A=1/2 = V_s/V_x \cdot V_x/V_e = R / (R+3T)$$

Déduisez le gain G en dB obtenu par le passage au travers de ce répartiteur.

Réponse :

$$G = 20\log A = -6\text{dB}$$

1-1.6 - Avec $P_{RE1}+P_{RE2}$ = puissance reçue sur les 2 sorties

P_{AB} = puissance disponible à l'entrée du répartiteur

1-1.6.1 - Calculez le rendement $\eta = ((P_{RE1}+P_{RE2})/P_{AB})$ du montage de la figure 1-1.3

Réponse :

$$\eta = \frac{\left(\frac{Ve^2}{4R^2}\right) + \left(\frac{Ve^2}{4R^2}\right)}{\left(\frac{Ve^2}{R^2}\right)} = 0.5 \qquad \eta = 50\%$$

2. **1-1.6.2 - Déduisez le pourcentage de la puissance incidente dissipée dans ce « Té » adapté.**

Réponse :

50% de la puissance est perdue dans le répartiteur

1-1.6.3 - Quelle puissance est dissipée dans le générateur lorsqu'il fournit P_{AB} à ses bornes ?

Réponse :

Il dissipe P_{AB} car il a une résistance interne égale à la résistance présente en AB

Dans la baie de réception, les répartiteurs 2 directions référencés 365020 (Documents constructeurs page 2) présentent une perte de passage dépendant de la fréquence, de valeur légèrement différente que la valeur calculée car réalisée avec une technologie différente (Perte de passage = Atténuation = -G).

1-1.7 - Recherchez la perte de passage

Réponse :

- en fréquence BIS de 950 à 2150MHz 6.5dB
- et en réception terrestre de 470 à 822 MHz 4.7dB

B.1 : 1.2 – Calcul d'un atténuateur adapté

L'amplitude du signal V_1 peut avoir une valeur trop élevée pour le récepteur de résistance d'entrée R_E . On insère alors un atténuateur permettant de diminuer l'amplitude.

Soit une atténuation $Att = V_1/V_2 = 4$.

Schéma du montage :

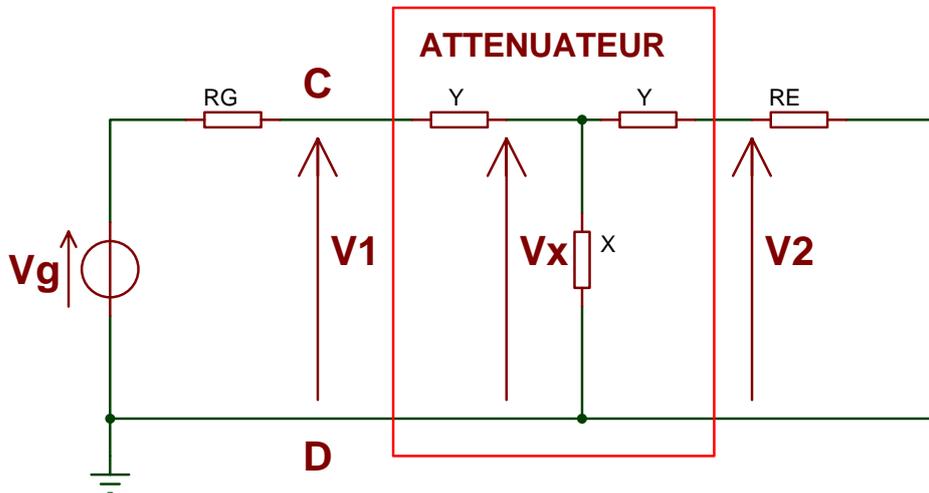


Fig. 1-2

Soit $R = R_E = R_G = Z_c$ l'impédance caractéristique du

câble.

1-2.1 - Exprimer la relation $X = f(Y, R)$ en posant Z_c l'impédance équivalente entre C et D

Réponse :

$$Y + \frac{X(Y + R)}{X + Y + R} = R \quad \Rightarrow \quad X = \frac{R^2 - Y^2}{2Y}$$

1-2.2 – Calculer l'atténuation Att

Réponse :

$$V_x = \frac{\frac{V_1}{Y} + \frac{V_2}{Y}}{\frac{1}{Y} + \frac{1}{Y} + \frac{1}{X}}$$

$$V_x = V_2 \frac{R+Y}{R}$$

$$Att = \frac{2Y}{R} + \frac{Y^2}{X.R} + \frac{Y}{X} + 1 = \frac{Y^2 + 2XY + R(X+Y)}{R.X} = \frac{(R+Y)(2X+Y) - X.R}{R.X}$$

La solution de ces 2 équations donne :

$$Y = R \frac{Att - 1}{Att + 1}$$

$$X = R \frac{2.Att}{Att^2 - 1}$$

1. 1-2.3 – Calculez pour $Z_c = 75\Omega$ les valeurs de X et de Y fournissant une atténuation de 12 dB pour l'amplificateur C4 (Documentation constructeurs p. 2)

Réponse :

$$20 \log Att = 20 \log 4 = 12\text{dB}$$

$$X = 40 \Omega$$

$$Y = 45\Omega$$

Le module réalisant cette atténuation s'appelle PAD (voir documentation).

1-2.4 – Choisissez la référence du « PAD » correspondante pour les fréquences BIS

Réponse :

réf. 976112

1-3 - Niveau du signal arrivant aux démodulateurs.

2.

3. **Le constructeur donne le niveau d'entrée de démodulateurs en dBm, ou en dBμV.**

1-3.1 - Rechercher le niveau en dBm d'une tension de 65μV sur 75Ω.

Réponse :

$$P = (65 \cdot 10^{-6})^2 / 75 = 56,3 \cdot 10^{-12} \text{ W} \Rightarrow P = 56,3 \text{ pW} \Rightarrow P = 56,310^{-9} \text{ mW}$$

$$N \text{ (dBm)} = 10 \log 56,310^{-9} \text{ mW} = -72,5 \text{ dBm}$$

(1) *Un analyseur de spectre avec une impédance d'entrée de 50Ω, relié à une source d'impédance 50Ω par un câble d'impédance caractéristique $Z_c = 50\Omega$, affiche comme niveau -30dBm pour une tension mesurée.*

(2) *1-3.2 - Calculez le niveau équivalent en dBμV.*

Réponse :

$$P \text{ (mW)} = 10^{-30/10} = 0,001 \text{ mW}$$

$$U = \sqrt{(P.R)} = \sqrt{(10^{-6} \cdot 50)} = 7,071 \text{ mV}$$

$$N = 20 \log 7071 = 77 \text{ dB}\mu\text{V}$$

4. 1.3.3 - Recherchez le type de démodulateur, et le niveau de la tension admissible (dBμV) à l'entrée pour les démodulateurs de la baie de réception (Dossier de présentation p7 et 8/9) :

Réponse :				
5. <u>réf</u> <u>erence</u>	6. <u>Typ</u> <u>e de</u> <u>démodu</u> <u>lateur</u>	7. <u>Niv</u> <u>eau</u> <u>d'entrée</u> <u>mini</u>	8. <u>Niv</u> <u>eau</u> <u>d'entrée</u> <u>maxi</u>	
9. <u>435</u> <u>816</u>	10. <u>Ana</u> <u>logique</u> <u>terrestr</u> <u>e</u>	11. <u>55μ</u> <u>V</u>	12. <u>80μ</u> <u>V</u>	
13. <u>435</u> <u>870</u>	14. <u>Sat</u> <u>ellite</u> <u>QPSK</u>	15. <u>43μ</u> <u>V</u>	16. <u>83μ</u> <u>V</u>	

17.

18. 1-4 – Atténuation dans les câbles

Voici les niveaux en dBμV calculés par un logiciel spécialisé pour l'amplificateur C3 placé au nœud n°13 de l'installation dans le lotissement (voir câblage document de présentation page 9).

Nd	Fiche	Référence	Désignation	NdAmt	SrtAmt
13	B4	974667	Amplificateur C3 Ligne PD - 25dB - 48V - 5/55	12	S1

Adresse: Borne B4 au niveau de l'entrée Lotissement N°: B4

Câble amont : Câble type A2 - PE

Longueur : 200 m.

Fréquence (MHz) :	47	65	85	230	470	550	660	862
Entrée :	79,4	79,8	75,8	75,7	76,0	76,5	77,1	76,1
Sortie :	72,1	70,3	92,2	93,5	95,2	96,2	97,3	97,1

Nd	Fiche	Référence	Désignation	NdAmt	SrtAmt
14	B6	975090	Amplificateur C3R ++ FC 30dB/ bt 28/60 V	13	S1

Adresse: Borne B6 au niveau du LOT 28 - TRANCHE 2 N°: B6

Câble amont : Câble type A2 - PE

Longueur : 225 m.

N

Calculez les niveaux à l'entrée de l'amplificateur 975090 du nœud n°14 pour les fréquences 47, 230, 470 et 862 MHz, en vous aidant de la documentation constructeur du câble utilisé réf. 395806

Réponse :				
Fréquence (MHz)	47	230	470	862
Niveau(dBμV)	72.1 - 1.3*2.25 = 69.2	93.5 - 2.9*2.25 = 87	95.2 - 4.2*2.25 = 85.8	97.1 - 5.8*2.25 = 84

Quelles actions va-t-il falloir envisager au niveau du nœud 14 ?

Réponse :
Amplifier le canal 47 de 15dB de plus que les autres, afin d'obtenir les mêmes niveaux sur toute la bande

19. 1-5 – Evolution du système

De plus en plus d'habitants sont équipés de récepteur TNT. Ils demandent de remplacer les objets techniques OT2 et OT3 par le transcodeur QPSK/COFDM (documentation constructeur p6) . Quel est l'avantage de cette modification ?

Réponse :
Conserver la qualité du numérique

Partie 2 : Antennes

On se propose d'analyser le principe de l'onde électromagnétique parvenant à l'antenne parabolique de réception satellite ou à l'antenne terrestre de réception TNT.

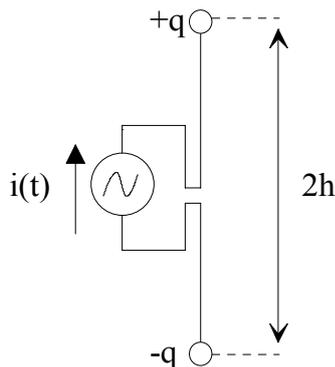
Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'espace libre avec la vitesse de la lumière $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 299793 \text{ m/s}$

Dans un milieu isotrope, $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi 10^9} \text{ F/m}$ est la constante diélectrique, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$ est la perméabilité magnétique et λ est la longueur d'onde.

Lorentz a montré que de même que le champ électrique \vec{E} peut se déduire du potentiel scalaire V , il est possible de déduire l'induction magnétique \vec{B} d'un potentiel vecteur \vec{A} .

2 L'antenne d'émission d'un champ électromagnétique.

Le doublet est l'antenne la plus simple que l'on puisse imaginer. C'est un élément qui va nous permettre d'aborder le comportement de toute antenne d'émission. On se propose de valider le dimensionnement de la parabole de réception. Cette étude préalable décrit la nature et l'ordre de grandeur des signaux électromagnétiques incidents provenant du satellite.

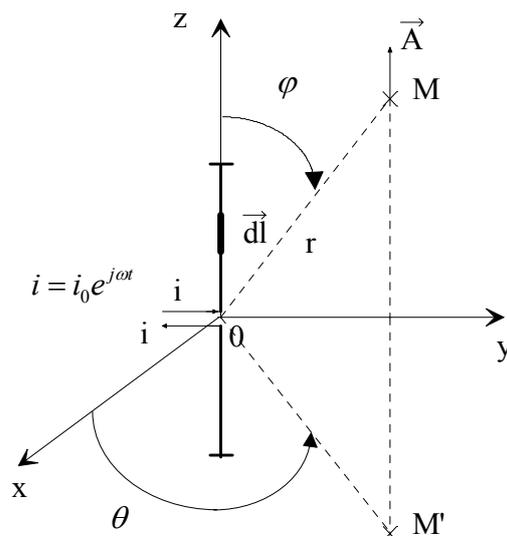


On suppose ici le doublet alimenté par une source de courant sinusoïdale $i(t)$. La hauteur $2h$ du doublet est supposée très inférieure à la longueur d'onde λ dans le vide associée au courant. Le courant est donc uniforme dans les deux brins du doublet, et, comme un condensateur, la charge électrique q stockée aux extrémités de chaque brin est $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ ou $I = j\omega q$.

2.1.1 Sachant point M

distance point M ,

considérer doublet



2-1 Champ de potentiel du doublet

qu'un élément de courant $d\vec{l}$ crée au un potentiel vecteur

$$d\vec{A} = \frac{\mu_0 i \left(t - \frac{r'}{c} \right)}{4\pi r'} d\vec{l}$$

avec r' la distance entre l'élément de courant considéré et le point M . On pourra

$$\vec{A} = \frac{\mu_0 i_0 (2h)}{4\pi r} e^{j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}$$

car $r = r'$ car $r \gg 2h$ (dimensions du doublet faibles devant r)

Réponse :

$$\vec{A} = \int_{\text{doublet}} d\vec{A} = \frac{\mu_0 i \left(t - \frac{r}{c} \right)}{4\pi r} \int_{\text{doublet}} d\vec{l} \quad \text{donc} \quad \vec{A} = \frac{\mu_0 i \left(t - \frac{r}{c} \right)}{4\pi r} 2\vec{h} \quad \text{et comme } i = i_0 e^{j\omega t}, \text{ alors } i \left(t - \frac{r}{c} \right) = i_0 e^{j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}$$

$$\text{donc } \vec{A} = \frac{\mu_0 i_0 e^{-j\omega \frac{r}{c}}}{4\pi r} e^{j\omega t} \times 2\vec{h} \quad \text{et} \quad \vec{A} = \frac{\mu_0 i_0 2\vec{h}}{4\pi r} e^{j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}.$$

2.1.2 En déduire alors que le potentiel scalaire au point M peut s'écrire

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} \times \frac{i_0(2h) \cos \varphi}{j\omega} \times \left(\frac{1}{r} + j \frac{2\pi}{\lambda} \right) e^{j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}. \quad \text{Vous vous appuyerez sur « la jauge de Lorentz » qui veut}$$

que $\text{div}(\vec{A}) + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial V}{\partial t} = 0$. Vous remarquerez que : \vec{A} est parallèle au doublet et que $\frac{\partial A_z}{\partial z} = \frac{\partial A_z}{\partial r} \times \frac{\partial r}{\partial z}$

(formulaire), avec $\frac{\partial r}{\partial z} = \cos \varphi$.

Réponse :

$$\text{div}(\vec{A}) + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad \text{or} \quad \epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2} \quad \text{donc} \quad \text{div}(\vec{A}) + \frac{1}{c^2} \frac{\partial V}{\partial t} = 0. \quad \text{Comme } \vec{A} \text{ est parallèle au doublet,}$$

$$A_x = A_y = 0. \quad \text{Donc} \quad \text{div}(\vec{A}) = \frac{\partial A_z}{\partial z} = \frac{\partial A_z}{\partial r} \times \frac{\partial r}{\partial z} = \frac{\partial A_z}{\partial r} \cos \varphi, \quad \text{donc} \quad \frac{\partial A_z}{\partial r} \cos \varphi + \frac{j\omega}{c^2} V = 0.$$

$$V = -\frac{c^2}{j\omega} \cos \varphi \frac{\partial A_z}{\partial r} \quad \text{et comme} \quad \frac{\partial A_z}{\partial r} = \frac{\mu_0 i_0}{4\pi} \times \left(-\frac{1}{r^2} - \frac{j\omega}{rc} \right) \times e^{-j\omega \frac{or}{c}} \times e^{j\omega t} \times (2h), \quad \text{alors}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} \times \frac{i_0(2h) \cos \varphi}{j\omega} \times \left(\frac{1}{r} + j \frac{2\pi}{\lambda} \right) e^{j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}.$$

2.2 Champs magnétique et électrique rayonnés.

En utilisant les coordonnées sphériques, les calculs du champ magnétique et du champ électrique rayonnés donnent respectivement :

$$\bar{E} \begin{pmatrix} E_r = -j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{4\pi^2} \times i_0 \times (2h \cos \varphi) \times \left(\frac{1}{r^3} + j \frac{2\pi}{\lambda r^2} \right) \times e^{j(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda})} \\ E_\varphi = -j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{8\pi^2} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times \left(\frac{1}{r^3} + j \frac{2\pi}{\lambda r^2} - \frac{4\pi^2}{\lambda^2 r} \right) \times e^{j(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda})} \\ E_\theta = 0 \end{pmatrix} \text{ et}$$

$$\bar{H} \begin{pmatrix} H_r = 0 \\ H_\varphi = 0 \\ H_\theta = \frac{1}{4\pi} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times \left(\frac{1}{r^2} + j \frac{2\pi}{\lambda r} \right) \times e^{j(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda})} \end{pmatrix}$$

2.2.1 Indiquer l'orientation géométrique du champ magnétique rayonné par rapport au plan défini par le doublet et le point d'observation M .

Réponse :

Une seule composante non nulle H_θ , le champ magnétique est donc horizontal perpendiculaire au plan défini par le doublet et le point M .

2.2.2 Indiquer le plan dans lequel se trouve le champ électrique rayonné et justifier la valeur de sa vitesse de propagation.

Réponse :

Deux composantes E_r et E_φ , le champ électrique est dans le plan vertical, il se propage à la vitesse de la lumière : terme : $e^{j(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda})}$.

2.3 Champs rayonnés à grande distance

Les expressions des champs se simplifient considérablement en négligeant les termes en $\frac{1}{r^2}$ et $\frac{1}{r^3}$ devant ceux en $\frac{1}{r}$ à grande distance r .

2.3.1 Montrer que l'amplitude de H_θ et E_φ décroissent en $\frac{1}{r}$ et que celle de E_r décroît en $\frac{1}{r^2}$ et peut donc être négligée devant E_φ . On montrera que à grande distance,

$$E_\varphi = j \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{i_0}{r} \times \left(\frac{2h}{\lambda} \sin \varphi \right) \times e^{j(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda})} \text{ et } H_\theta = j \frac{1}{2} \times \frac{i_0}{r} \times \left(\frac{2h}{\lambda} \sin \varphi \right) \times e^{j(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda})}.$$

Réponse :

On pose $e^{j^*} = e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda}\right)}$.

$H_\theta = \frac{1}{4\pi} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times \frac{1}{r^2} e^{j^*} + \frac{1}{4\pi} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times j \frac{2\pi}{\lambda r} e^{j^*}$. En négligeant le terme en $\frac{1}{r^2}$ devant celui en $\frac{1}{r}$, il vient $H_\theta = j \frac{1}{2} \times \frac{i_0}{r} \times \left(\frac{2h}{\lambda} \sin \varphi\right) \times e^{j^*}$ qui décroît en $\frac{1}{r}$.

$E_r = -j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{4\pi^2} \times i_0 \times (2h \cos \varphi) \times \frac{1}{r^3} \times e^{j^*} - j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{4\pi^2} \times i_0 \times (2h \cos \varphi) \times j \frac{2\pi}{\lambda r^2} \times e^{j^*}$. En négligeant le terme en $\frac{1}{r^3}$ devant celui en $\frac{1}{r^2}$, il reste un terme qui décroît en $\frac{1}{r^2}$.

$$E_\varphi = -j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{8\pi^2} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times \frac{1}{r^3} \times e^{j^*}$$

$$-j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{8\pi^2} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times j \frac{2\pi}{\lambda r^2} \times e^{j^*}$$

$$+ j \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{8\pi^2} \times i_0 \times (2h \sin \varphi) \times \frac{4\pi^2}{\lambda^2 r} \times e^{j^*}$$

en négligeant les termes en $\frac{1}{r^2}$ et $\frac{1}{r^3}$ devant celui en $\frac{1}{r}$, il reste :

$$E_\varphi = j \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{i_0}{r} \times \left(\frac{2h}{\lambda} \sin \varphi\right) \times e^{j^*} \text{ terme qui décroît en } \frac{1}{r} \text{ ce qui permet de négliger } E_r \text{ devant } E_\varphi.$$

2.3.2 Montrer alors que l'expression de l'onde électromagnétique peut prendre la forme :

$$E_\varphi = 60 \times \frac{i_0}{r} \times \left(\pi \frac{2h}{\lambda} \sin \varphi\right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)} \text{ et } H_\theta = \frac{1}{2\pi} \times \frac{i_0}{r} \times \left(\pi \frac{2h}{\lambda} \sin \varphi\right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)}.$$

Réponse :

En remarquant que $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi$ et que $j = e^{j\frac{\pi}{2}}$, il vient immédiatement les deux expressions demandées.

2.4 Puissance rayonnée et directivité du doublet

La puissance rayonnée par le doublet à un instant t est le flux du vecteur de Poynting défini par : $\vec{P}(t) = \vec{E}_\varphi(t) \wedge \vec{H}_\theta(t)$. En utilisant les expressions de E_φ et H_θ , on peut calculer la puissance moyenne délivrée par le doublet : $P = 40\pi^2 i_0^2 \left(\frac{2h}{\lambda}\right)^2$.

2.4.1 Après avoir exprimé la valeur maximale $|E_\varphi|$ du module de E_φ (voir question 2-3.2), montrer que

$$|E_\varphi| = \frac{\sqrt{90 \times P}}{r}.$$

Réponse :

$$|E_\varphi| = 60 \times \frac{i_0}{r} \times \pi \frac{2h}{\lambda} \text{ et } P = 40\pi^2 i_0^2 \left(\frac{2h}{\lambda}\right)^2 \text{ c'est-à-dire : } \frac{P}{40} = \pi^2 i_0^2 \left(\frac{2h}{\lambda}\right)^2 \text{ donc } \pi i_0 \frac{2h}{\lambda} = \sqrt{\frac{P}{40}}, \text{ donc}$$

$$|E_\varphi| = \frac{60}{r} \times \sqrt{\frac{P}{40}} = \frac{1}{r} \times \sqrt{\frac{3600 \times P}{40}} = \frac{\sqrt{90 \times P}}{r}, \text{ d'où } |E_\varphi| = \frac{\sqrt{90 \times P}}{r}.$$

2.4.2 Calculer alors la valeur maximale du champ électrique créé par un doublet émetteur de 1 W à 10 kms d'une zone de réception. En déduire les raisons du développement important de la transmission électromagnétique.

Réponse :

$$|E_\varphi| = \frac{\sqrt{90 \times 1}}{10 \times 10^3} = 0,95 \text{ mV/m. Sachant que l'on détecte facilement des champs de l'ordre de } 1 \text{ } \mu\text{V/m, ces chiffres}$$

montrent qu'il est facile avec des faibles puissances émises, de créer un champ à grande distance.

2.4.3 Expliquer pourquoi la valeur du champ électrique maximal ne dépend pas de la fréquence.

Réponse :

Le milieu de propagation explique cette conséquence.

Partie 3 : Réception satellite et Antennes paraboliques

C.1 : Cas des liaisons satellites avec antennes paraboliques

On se propose d'étendre les principes précédents à la caractérisation d'une antenne parabolique.

Dès que l'on utilise des fréquences au-delà de 2 ou 3 GHz, les antennes efficaces utilisent les propriétés de l'optique. Ce sont des antennes à réflecteur qui donnent des propriétés de grande directivité et donc de grand gain absolu.

Les calculs précédents sur le doublet peuvent être étendus dans le cas d'une parabole d'émission en sachant que la densité de puissance P_e à une distance d de l'antenne qui rayonne dans une sphère de surface $4\pi d^2$ est donnée par $\frac{P_e}{4\pi d^2}$

W/m² et que la directivité introduit un gain d'antenne G_e tel que à une distance d , la densité de puissance soit : $\frac{P_e G_e}{4\pi d^2}$

W/m². Le produit $P_e G_e$ est appelé Puissance Isotrope Rayonnée Effective : P.I.R.E (Effective Isotropic Radiated Power E.I.R.P) et s'exprime en dBW.

Réversibilité d'un élément rayonnant, aire de captation

L'antenne est un dispositif réversible. Une antenne parabolique de réception va recevoir une fraction de la puissance

rayonnée. Cette fraction est proportionnelle à la surface de l'antenne de réception. On a alors $P_R = \frac{P_e G_e A_R}{4\pi d^2}$ avec A_R

l'aire effective de l'antenne de réception.

Hormis la surface de réception, quelle autre considération géométrique influe sur la puissance reçue ?

Réponse :

Les calculs du 2) montrent que le champ électromagnétique émis, l'est de façon directionnelle. Il est donc important de diriger l'antenne de réception dans la direction du rayonnement principal.

Valider du choix du gain de l'antenne en fonction de l'amplificateur

On se propose de valider le choix du gain de l'antenne en partant de l'entrée de l'amplificateur ref :759870.

On désire obtenir un signal $(P_{amp})_{dBm}$ de -35 dBm à l'entrée de l'amplificateur ref :759870. Calculer la valeur en dB de ce signal et déterminer la puissance nécessaire $(P_R)_{dB}$ devant être reçue au niveau du foyer de la parabole ref :708500 par le convertisseur LNB Quattro repéré 768107.

Réponse :

$10 \log \left(\frac{P_{amp}}{10^{-3}} \right) = -35 \text{ dBm}$ donc $P_{amp} = 10^{-3} \times 10^{-3,5} = 3,16 \times 10^{-7}$ donc $(P_{amp})_{dB} = 10 \log(P_{amp}) = -65 \text{ dB}$. Il

nous faut donc -65 dB avant la LNB Quattro ref :768107 dont le gain typique est $(G_{LNB})_{dB} = 54 \text{ dB}$. Comme

$(P_{amp})_{dB} = (P_R)_{dB} + (G_{LNB})_{dB}$, il faut donc : $(P_R)_{dB} = (P_{amp})_{dB} - (G_{LNB})_{dB} = -65 \text{ dB} - 54 \text{ dB} = -119 \text{ dB}$.

Préciser la fonction remplie par le LNB.

Réponse :

Le L.N.B., pour Low Noise Blockconverter, sert à transformer la fréquence du signal émis par le satellite en une fréquence utilisable par le démodulateur.

Sachant que l'aire effective A_R de l'antenne de réception de diamètre D est égale à l'aire du disque de contour de diamètre

D pondérée par un coefficient de rendement η , montrer que la puissance reçue s'écrit $P_R = \frac{P_e G_e G_R}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2}$. Avec

$G_R = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$ le gain d'une antenne de réception de diamètre D .

Réponse :

$$G_R = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \text{ et } A_R = \eta \frac{\pi D^2}{4} \text{ donc } A_R = \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \text{ donc } P_R = \frac{P_e G_e}{4\pi d^2} \times \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} = \frac{P_e G_e G_R}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2}.$$

On nomme $L_S = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$ la perte en espace libre (Free Space Path Loss). En prenant en plus les pertes de propagation atmosphériques sous la forme d'un terme L_A , la puissance reçue devient $P_R = P_e G_e G_R L_S L_A$. Donner l'expression littérale de $(P_R)_{dB}$ en fonction de $(P.I.R.E)_{dB}$ du satellite.

Réponse :

$$(P_R)_{dB} = (P.I.R.E)_{dB} + (G_R)_{dB} + (L_S)_{dB} + (L_A)_{dB}.$$

Pour l'installation du lotissement situé en France, calculer le gain $(G_R)_{dB}$ de l'antenne nécessaire pour obtenir les -35 dBm en entrée de l'amplificateur à la fréquence de 12,75 GHz.

Réponse :

Dans le dossier, la P.I.R.E sur la France est de 50 dBW et l'atténuation atmosphérique est $(L_A)_{dB} = -3 \text{ dB}$. Comme

$$(P_R)_{dB} = (P.I.R.E)_{dB} + (G_R)_{dB} + (L_S)_{dB} + (L_A)_{dB}, \text{ alors}$$

$$(G_R)_{dB} = (P_R)_{dB} - (P.I.R.E)_{dB} - (L_S)_{dB} - (L_A)_{dB} = -119 - 50 - (L_S)_{dB} + 3.$$

$$\text{Comme } (L_S)_{dB} = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{299793000}{12750000000}\right)^2}{(4\pi \times 35786000)^2} \right] = -205,63 \text{ dB}, \text{ alors } (G_R)_{dB} = 39,63 \text{ dB}.$$

Vérifier la cohérence avec le gain proposé par l'antenne Tonna ref :708500.

Réponse :

Gain cohérent de 39,7 dB à 12,75 GHz.

Valider du choix du gain de l'antenne en fonction du rapport signal/bruit

On se propose de valider de nouveau le gain de l'antenne, mais en considérant maintenant le rapport signal sur bruit et le facteur de mérite. On considérera le bruit additif du canal de transmission ainsi que le bruit du récepteur.

A partir de la densité spectrale de puissance de bruit « monolatérale » D_{Sb} et de l'énergie par bit E_b , calculer la puissance de bruit P_b et la puissance du signal utile reçu P_R . On notera :

B_W : La bande passante équivalente de bruit en Hz.

R_b : Le débit binaire en bits/s.

Réponse :

$$P_b = D_{Sb} \times B_W \text{ et } P_R = E_b \times R_b.$$

En déduire l'expression du rapport signal sur bruit : $\frac{P_R}{P_b}$.

Réponse :

$$\frac{P_R}{P_b} = \frac{E_b}{D_{Sb}} \times \frac{R_b}{B_W}.$$

La modulation utilisée ici transmet « n » bits par symbole. En nommant « m » le nombre de symboles et R_S le débit symbole (en symboles/s), établir la relation liant R_b à R_S et m .

Réponse :

$$R_S = \frac{1}{T_0} \text{ et } R_b = \frac{n}{T_0} \text{ et comme } n = \log_2(m), \text{ alors } R_b = \frac{\log_2(m)}{T_0} = R_S \times \log_2(m).$$

Montrer que le rapport signal sur bruit en dB peut s'écrire :

$$\left(\frac{P_R}{P_b} \right)_{dB} = \left(\frac{E_b}{D_{Sb}} \right)_{dB} - 10 \log_{10} \left(\frac{B_W}{R_S \times \log_2(m)} \right).$$

Réponse :

En remplaçant $R_b = R_S \times \log_2(m)$ dans $\frac{P_R}{P_b} = \frac{E_b}{D_{Sb}} \times \frac{R_b}{B_W}$, cela donne : $\frac{P_R}{P_b} = \frac{E_b}{D_{Sb}} \times \frac{R_S \times \log_2(m)}{B_W}$ et donc en dB :

$$\left(\frac{P_R}{P_b} \right)_{dB} = \left(\frac{E_b}{D_{Sb}} \right)_{dB} - 10 \log_{10} \left(\frac{B_W}{R_S \times \log_2(m)} \right).$$

On souhaite pouvoir recevoir correctement un signal dont le BER est de 2×10^{-4} et qui utilise une modulation QPSK.

Rechercher la valeur $\left(\frac{E_b}{D_{Sb}} \right)_{dB}$ nécessaire puis calculer $\left(\frac{P_R}{P_b} \right)_{dB}$. On donne B_W : La bande équivalente de bruit du filtre du démodulateur QPSK ref :435870. et $R_S = 27,5$ MBauds le débit symbole de l'émetteur.

Réponse :

Le graphique de la présentation indique $\left(\frac{E_b}{D_{Sb}} \right)_{dB} = -8$ dB pour un BER de 2×10^{-4} environ.

La modulation est QPSK donc $m=4$ et $B_W = 36$ MHz pour le circuit 435870. Donc

$$\left(\frac{P_R}{P_b} \right)_{dB} = -8 - 10 \log_{10} \left(\frac{36 \times 10^6}{27500000 \times \log_2(4)} \right) = 9,84 \text{ dB}.$$

A partir du tableau d'évaluation du rapport signal sur bruit en réception satellite, indiquer la qualité pouvant être espérée avec le résultat du calcul précédent.

Réponse :

Dans le tableau, 10 dB correspond au seuil pratique nominal – Image propre et exempte de parasites – Qualité d'image commerciale.

Le rapport signal sur bruit précédent va nous permettre avec le facteur de mérite du système de réception de valider le gain de la parabole. On rappelle que le facteur de mérite est $\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB}$ avec T_b la température équivalente de bruit à

réception, qui est la somme ici de T_{bA} la température de bruit de l'antenne supposée égale à 45°K et de T_{bLNB} la température de bruit de la LNB. *Montrer que :*

$$\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB} = \left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB} - (P.I.R.E)_{dB} - (L_S)_{dB} - (L_A)_{dB} + 10 \log_{10}(k \times B_W) \text{ avec } k \text{ la constante de Boltzmann égale à } 1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K .}$$

Réponse :

$P_R = PIRE \times G_R L_S L_A$ en divisant par P_b il vient : $\frac{P_R}{P_b} = \frac{PIRE}{P_b} \times G_R L_S L_A$ et comme $P_b = k \times T_b \times B_W$, alors et

$$\text{donc } \left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB} = (P.I.R.E)_{dB} + (G_R)_{dB} + (L_S)_{dB} + (L_A)_{dB} - 10 \log_{10}(k \times T_b \times B_W) \text{ d'où}$$

$$(G_R)_{dB} - (T_b)_{dB} = \left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB} - (P.I.R.E)_{dB} - (L_S)_{dB} - (L_A)_{dB} + 10 \log_{10}(k \times B_W) \text{ d'où}$$

$$\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB} = \left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB} - (P.I.R.E)_{dB} - (L_S)_{dB} - (L_A)_{dB} + 10 \log_{10}(k \times B_W) .$$

Calculer alors le facteur de mérite à 12,75 GHz.

Réponse :

$$\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB} = 9,84 - 50 + 3 + 205,63 + 10 \log_{10}(1,38 \times 10^{-23} \times 36 \times 10^6), \text{ d'où } \left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB} = 15,43 \text{ dB} .$$

Sachant que le facteur de bruit F d'une LNB est tel que $T_{bLNB} = (F - 1)T_0$ avec T_0 la température ambiante valant 290°K, calculer la température de bruit T_{bLNB} de la LNB Quattro ref :768107 et en déduire T_b .

Réponse :

Pour la ref :768107, $F = 0,5$ dB donc $T_{bLNB} = (1,122 - 1) \times 290 = 35,385^\circ K$ et comme $T_b = T_{bLNB} + T_{bA}$ on a $T_b = 35,385 + 45 = 80,38^\circ K$.

A partir de la valeur trouvée pour le facteur de mérite, calculer la valeur G_R du gain de la parabole permettant d'obtenir le rapport signal sur bruit souhaité.

Réponse :

$$\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB} = 15,43 \text{ dB donc } \frac{G_R}{T_b} = 34,91, \text{ d'où } G_R = 34,91 \times 80,38 = 2806,38 \text{ c'est-à-dire } (G_R)_{dB} = 34,48 \text{ dB.}$$

En considérant que la parabole a un rendement de 70%, calculer le gain G_R nécessaire avec cette perte compensée et comparer au choix effectué.

Réponse :

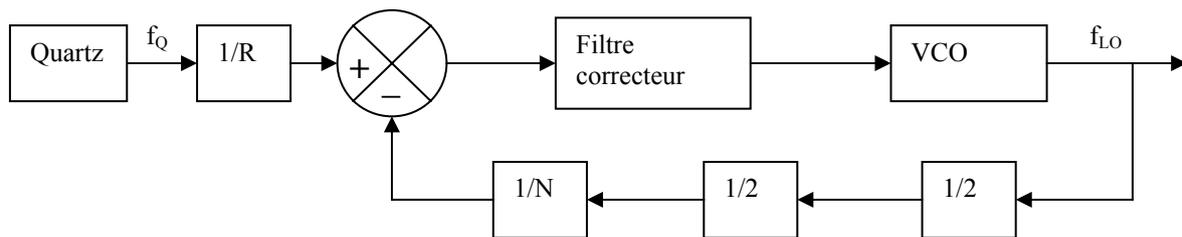
$(G_R)_{dB} = 34,48$ dB et 70% de rendement enlève 1,549 dB qu'il faut compenser soit un gain $(G_R)_{dB} = 36,03$ dB. Avec 39,7 dB, il n'y a pas de problème.

Partie 4 - Choix des canaux satellites

Etude de la PLL

Le démodulateur satellite est analysé document de présentation page 10. Pour démoduler les signaux QAM en provenance de la tête satellite, il faut générer deux signaux en quadrature, de fréquence f_{LO} .

Les circuits intégrés TSA5059 et TDA8060ATS (schéma partiel du démodulateur dossier de présentation page 10) participent à la synthèse de cette fréquence en formant une PLL modélisable par le schéma ci-dessous :



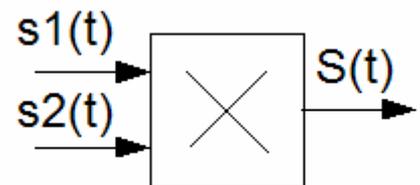
D.1 : Cette PLL génère une fréquence f_{LO} (oscillateur local) dont la valeur est programmée par liaison I2C.

Les 3 diviseurs programmables du TSA5059 (documentation constructeurs page 17) sont paramétrables par I2C. On considère que le premier diviseur placé derrière le pré-amplificateur est configuré pour diviser par 2. Il reste la division par R sur 4 bits, et la division par N sur 17 bits.

E.1 : Sur un multiplieur du circuit TDA 8060ATS, 2 signaux s_1 et s_2 de fréquences f_1 et f_2 sont appliqués.

$$s_1(t) = A_{1m} \cos 2\pi f_{LO} t$$

$$s_2(t) = A_{2m} \cos 2\pi f_{BIS} t$$



F.1 : 4.1 - Calculez le contenu spectral des fréquences en sortie du multiplieur .

Réponse :

$$S(t) = [\cos 2\pi(f_{LO} + f_{BIS})t + \cos 2\pi(f_{BIS} - f_{LO})t] \cdot A_{1m} \cdot A_{2m} / 2$$

On obtient un signal ayant comme composantes la somme et la différence des fréquences en entrée.

G.1 :

H.1 : 4-2 - Le circuit TDA8060ATS possède un oscillateur qui génère une fréquence f_{LO} ; Le signal RF est appliqué sur les broches RFA (broche n°6) et RFB (broche n°5).

I.1 : Le tuner satellite est de type « zéro IF ». Que signifie cette appellation ? En déduire la relation liant f_{LO} à f_{BIS} .

Réponse :

La fréquence intermédiaire IF de valeur $(f_{BIS} - f_{LO})$ est nulle

$$\text{Donc } f_{BIS} = f_{LO}$$

J.1 : 4.3 - Quel est le rôle du filtre placé derrière chaque multiplieur (Doc technique application diagramme TDA 8060 ATS) ?

Réponse :

Il permet de rejeter la composante spectrale de fréquence ($f_{BIS}+f_{LO}$)

4-4 – Quelles broches du circuit 5059 sont concernées par la programmation I2C ? Commentez leur rôle.

Réponse :

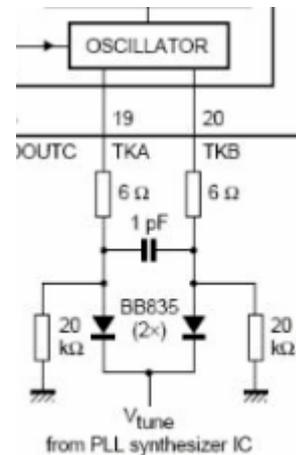
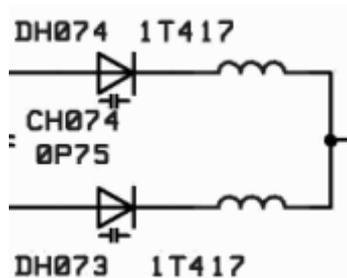
SDA	5	I ² C-bus serial data input/output
SCL	6	I ² C-bus serial clock input

Broche 5 : donnée

Broche 6 : horloge

4.5 – Identifier les composants permettant de faire varier la fréquence du VCO. Expliquer leur principe de fonctionnement.

Réponse :



Les diodes 1T417 sont des varicap => leur capacité dépend de la tension continue appliquée par l'intermédiaire de la broche « VT » n° 16 du circuit 5059.

L'oscillateur génère une fréquence contrôlée par la valeur de la capacité de ces diodes

Le constructeur du tuner préconise le réglage suivant : $N = 2 \cdot f_{BIS}$ avec f_{BIS} (en MHz)

4-6 – Nous voulons décoder la fréquence $f_{BIS} = 1817.50\text{MHz}$. Calculez la valeur de R.

Réponse :

La boucle à verrouillage de phase est verrouillée, donc des signaux f^+ et f^- du comparateur de phase ont la même fréquence.

$$f^+ = f_Q/R = f^- = f_{LO}/4N = f_{BIS}/4N$$

$$N = R \cdot f_{BIS} / 4 f_Q$$

$$f_Q = 4 \text{ MHz} \Rightarrow N = R \cdot f_{BIS} / 16 \text{ avec } f_{BIS} \text{ en MHz}$$

$$N = 2 f_{BIS} \Rightarrow R = 32$$

4-7 – Quelle est alors la fréquence de fonctionnement du comparateur de phase ?

Réponse :

Il travaille à la fréquence $f^+ = f_Q/R = 4000/32 = 125\text{kHz}$

4-8 – Donnez la valeur des 4 premiers octets de la trame I2C à écrire dans les registres du circuit TSA 5059

Réponse :

Il faut connaître la tension appliquée à la broche AS : circuit ouvert => MA1 = 0 et MA0 = 1

Octet 1 = 1 1 0 0 0 0 1 0

$N = 2 \cdot f_{BIS} = 2 \cdot 1817.50 = 3635 = 0 \cdot 4096 + 1 \cdot 2048 + 1 \cdot 1024 + 1 \cdot 512 + 0 \cdot 256 + 0 \cdot 128 + 0 \cdot 64 + 1 \cdot 32 + 1 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1$

Octet 2 = 0 0 0 0 1 1 1 0

Octet 3 = 0 0 1 1 0 0 1 1

Table 8 Reference dividing ratios

R3	R2	R1	R0	RATIO	COMPARISON FREQUENCY ⁽¹⁾	STEP	
						BIT PE = 0 ⁽¹⁾	BIT PE = 1 ⁽¹⁾
0	0	0	0	2	2 MHz	2 MHz	4 MHz
0	0	0	1	4	1 MHz	1 MHz	2 MHz
0	0	1	0	8	500 kHz	500 kHz	1 MHz
0	0	1	1	16	250 kHz	250 kHz	500 kHz
0	1	0	0	32	125 kHz	125 kHz	250 kHz

R=32 => R3=0 R2=1 R1=0 R0=0

Préscalaire activé => PE = 1

Octet 4 = 1 0 0 1 0 1 0 0

K.1 : 4-9 – Quelle action I2C permet de savoir si la PLL est verrouillée ?

Réponse :

Il faut effectuer une lecture . Le bit 7 « FL » = 1 si verrouillé

4-10 - On veut recevoir la chaîne ARTE sur le canal 24 (Voir Documentation technique chaînes satellites ASTRA).
Quelle fréquence f_{BIS} doit-on programmer ?

Réponse :

$f_{BIS} = 11567.50 - 9750 = 1817.50\text{MHz}$

Partie 5 : Réception TNT

Chaîne de réception terrestre.

Le système est composé d'un démodulateur TNT 435835 et d'un double démodulateur terrestre 435816 suivi de deux transpondeurs de fréquence 435641. Il y a donc Deux chaînes analogiques et une chaîne TNT disponibles en sortie, sur des canaux programmables par l'intermédiaire d'un boîtier spécialisé.

Rechercher le plan de fréquences TNT (n° du canal , fréquence centrale et nom du multiplex numérique) associé à la zone Paris Tour Eiffel.

Réponse :		
Canal	Fréquence centrale(MHz)	Nom multiplex numérique
21	474	R2
24	498	R4
27	522	R3
29	538	R5
32	562	R6
35	586	R1

Indiquer sur quel canal est reçue la chaîne Eurosport TNT.

Réponse :
Eurosport est sur le multiplex R6 donc le canal 32 Paris Tour Eiffel.

Pour le canal précédent, indiquer les paramètres relatifs à la transmission de l'information : Type de modulation, Taux de Viterbi, Intervalle de garde.

Réponse :
Type de modulation : DVB-T COFDM 6818 porteuses modulées en en 64 QAM. Taux de Viterbi : $\frac{2}{3}$. Intervalle de garde : $\frac{1}{32}$.

Indiquer la largeur du canal 32.

Réponse :
8 MHz

On mesure un niveau de réception de 60 dB μV pour le canal 32. Ce niveau est-il compatible avec le niveau d'entrée admissible du démodulateur ref :435835 ?

Réponse :
Le circuit 435835 autorise 35 à 73 dB μV , on dispose de 60 dB μV c'est donc correct.

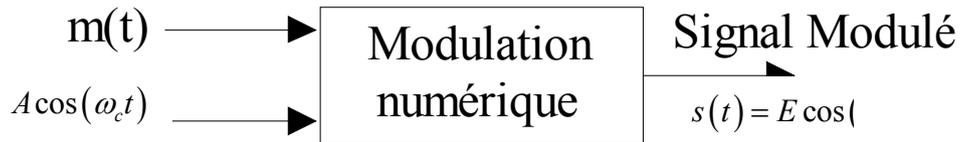
Partie 6 : Modulations utilisées

Etude des modulations utilisées dans le système.

On se propose d'analyser les modulations utilisées dans le système.

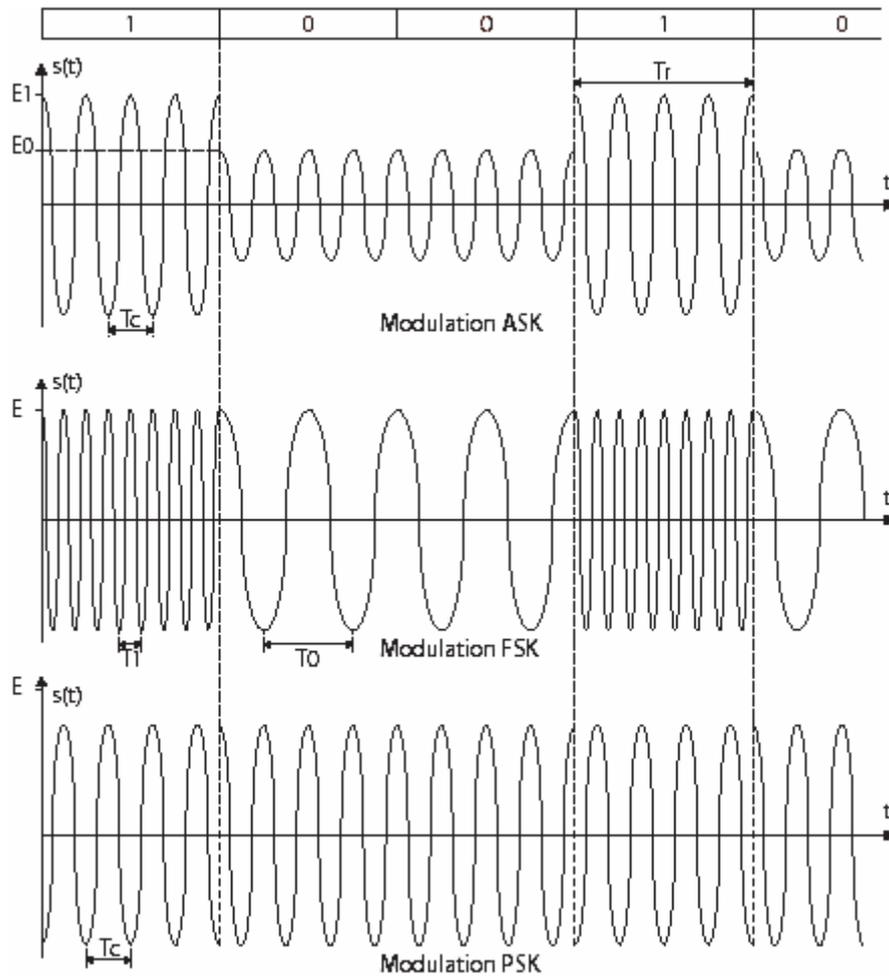
Modulations numériques

Une modulation numérique requiert une onde porteuse sinusoïdale de fréquence f_c destinée au transport du message binaire $m(t)$ à transmettre.



avec : E : amplitude en V. F : Fréquence en Hz. φ : Phase en rd.

Le signal modulé en ASK (Amplitude Shift Keying) ; FSK (Frequency Shift Keying) et PSK (Phase Shift Keying) a l'allure suivante pour un message 10010₍₂₎.



Compléter sur le document réponse DR1, les expressions analytiques de $s(t)$ en fonction du type de modulation.

Réponse :

Type de modulation	Expression analytique de $s(t)$	
	Pendant la transmission d'un « 0 »	Pendant la transmission d'un « 1 »
ASK (Amplitudes E_0, E_1 et	$E_0 \cos(2\pi f_c t + 0)$	$E_1 \cos(2\pi f_c t + 0)$

fréquence f_c)		
FSK (Amplitude E et Fréquences f_0, f_1)	$E \cos(2\pi f_0 t + 0)$	$E \cos(2\pi f_1 t + 0)$
PSK (Amplitude E et Fréquence f_c)	$E \cos(2\pi f_c t + 0)$	$E \cos(2\pi f_c t + \pi)$

Quel que soit le type de modulation, le modulateur élabore : $s(t) = E \cos(2\pi f_c t + \varphi)$, φ pouvant être une fonction du temps. Montrer que cette expression peut se mettre sous la forme $s(t) = I \cos(2\pi f_c t) + Q \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}\right)$.
On explicitera les termes I et Q.

Réponse :

$$s(t) = E \cos(2\pi f_c t + \varphi) = E [\cos(2\pi f_c t) \cos \varphi - \sin(2\pi f_c t) \sin \varphi] \text{ donc}$$

$$s(t) = E \cos(2\pi f_c t) \cos \varphi - E \sin(2\pi f_c t) \sin \varphi = E \cos \varphi \cos(2\pi f_c t) + E \sin \varphi \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ donc}$$

$$s(t) = I \cos(2\pi f_c t) + Q \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ avec } I = E \cos \varphi \text{ et } Q = E \sin \varphi.$$

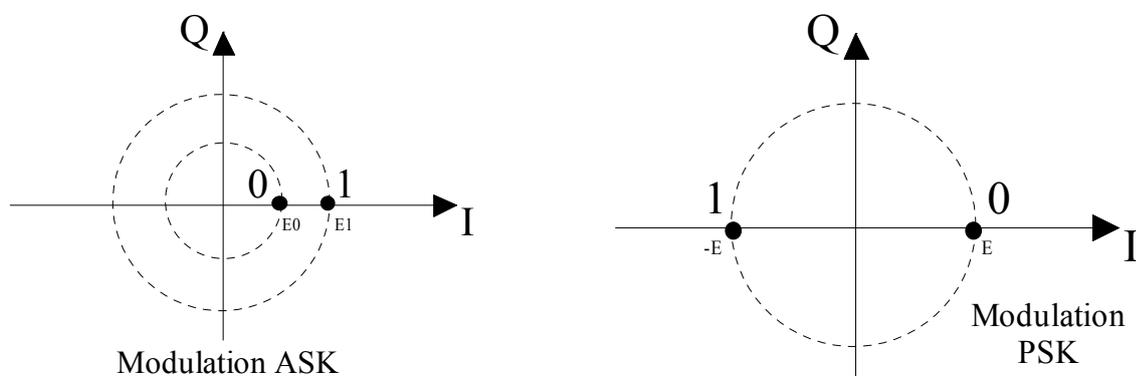
Montrer que pour une valeur φ donnée de $s(t)$, la représentation graphique de $Q = f(I)$ est un cercle de rayon E .

Réponse :

$$I = E \cos \varphi \text{ et } Q = E \sin \varphi \text{ donc } I^2 + Q^2 = E^2 \cos^2 \varphi + E^2 \sin^2 \varphi = E^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = E^2.$$

Les paramètres de la tension modulée $s(t)$ sont matérialisés dans le plan IQ, par le point de constellation P. Compléter sur le document réponse DR1 les diagrammes de constellation pour les modulations ASK (avec $E_0 < E_1$) et PSK exprimées au 6.1.1.

Réponse :



Modulation PSK

La modulation numérique à déplacement de phase PSK précédente présente deux points de constellation. A chacun d'eux correspond la transmission d'un seul bit (0 ou 1). Cette modulation à deux états présente une vitesse de transmission égale à

$\frac{1}{T_r}$ en bits/s. On désire augmenter cette vitesse de transmission en conservant la même fréquence rythme f_r . Il faut alors

transmettre plusieurs bits du message par état de modulation, c'est-à-dire à chaque durée élémentaire T_r . C'est le principe de la modulation QPSK utilisée en réception satellite.

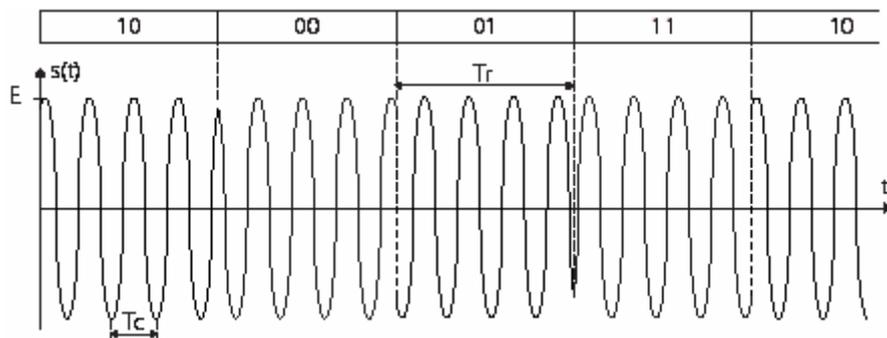
L'évolution temporelle du signal modulé en QPSK (modulation PSK à 4 états) étant donnée ci-dessous, et sachant que :

A la combinaison de 2 bits 00 correspond la phase $+\frac{\pi}{4}$,

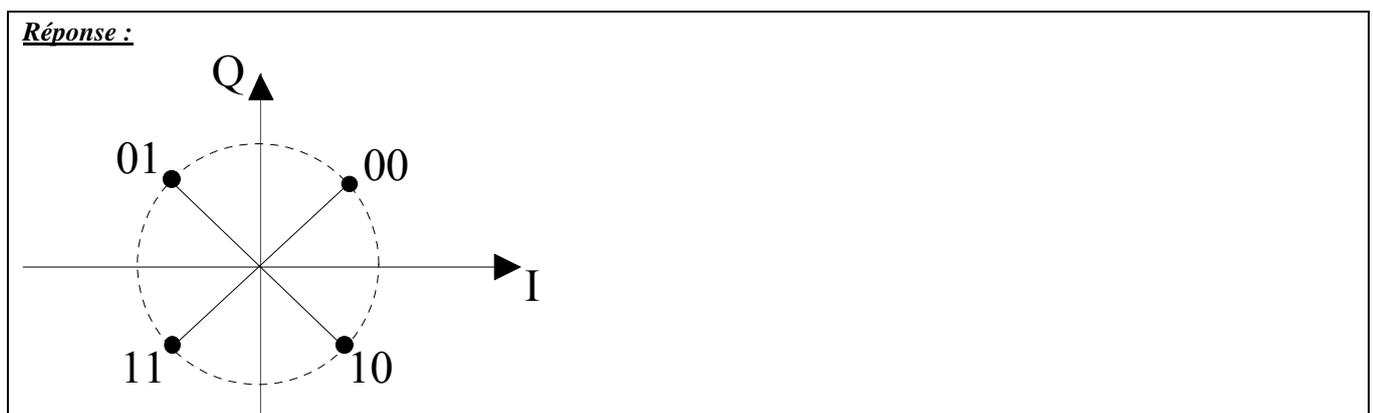
A la combinaison de 2 bits 01 correspond la phase $+\frac{3\pi}{4}$,

A la combinaison de 2 bits 10 correspond la phase $-\frac{\pi}{4}$,

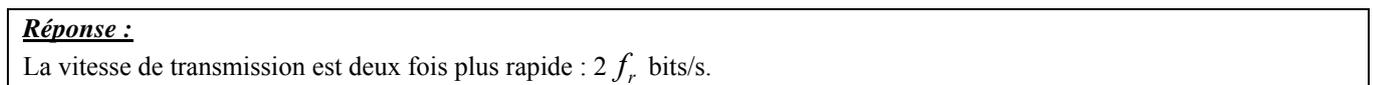
A la combinaison de 2 bits 11 correspond la phase $-\frac{3\pi}{4}$.



Dessiner sur le document réponse DR1 le diagramme de constellation d'une modulation QPSK.



Indiquer la vitesse de transmission en QPSK par rapport à la fréquence f_r de la modulation PSK à deux états.



A partir des informations du document de présentation sur la transmission en DVB :

Calculer le débit utile pour un canal satellite, pour un code binaire à deux états.



$$\text{Débit binaire} = \frac{\text{Largeur canal}}{(1 + \text{Rolloff})} = \frac{36 \times 10^6}{1 + 0,35} = 26,6 \text{ Mbits/s.}$$

En considérant ce débit utile à 27,5 Msymboles/s, calculer le débit binaire brut en QPSK satellite.

Réponse :

Un symbole transporte 2 bits, donc le débit binaire brut est de 55 Mbits/s.

Indiquer quels sont les principes qui diminuent le débit binaire brut pour ne laisser qu'un débit utile plus faible.

Réponse :

Le débit utile est fonction du rendement du code reed Salomon $\left(\eta_1 = \frac{188}{204}\right)$ et de celui du code convolutif $(\eta_2 = \text{Viterbi})$.

Calculer alors ce débit utile.

Réponse :

$$55 \times 10^6 \times \frac{188}{204} \times \frac{2}{3} = 33,79 \times 10^6 \text{ bits/s car Viterbi} = \frac{2}{3} \text{ en France.}$$

Montrer que le démodulateur QPSK utilisé dans le système permet de faire face au débit de symbole nécessaire et au Viterbi Français.

Réponse :

Le circuit utilisé en démodulateur QPSK autorise un débit de symbole entre 3 et 30 Msymbol/s ce qui est donc convenable pour les 27,5 Msymboles/s de notre transmission. Les Viterbi de $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ et $\frac{7}{8}$ sont possibles, donc le $\frac{2}{3}$ choisi en France est disponible.

Modulation QAM

En considérant une modulation PSK à 16 états, calculer la valeur angulaire en degré des variations de phase élémentaires.

Réponse :

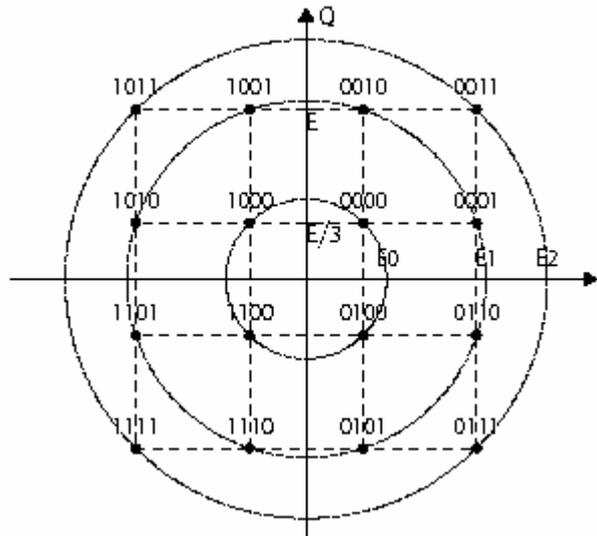
$$\frac{360}{16} = 22,5^\circ.$$

Expliquer pourquoi cela devient rapidement une limite technologique ?

Réponse :

Compte tenu des altérations possibles du signal modulé $s(t)$ dans le canal de transmission qui est l'air, les points de constellation sont relativement proches les uns des autres et cela ne permet plus une démodulation suffisamment fiable.

Pour contourner cette limitation technologique, on utilise une modulation à déplacement d'amplitude et de phase combinée (QAM : Quadrature Amplitude Modulation). L'exemple suivant présente le diagramme de constellation de la modulation 16 QAM (QAM à 16 états).



Comparer les débits binaires d'une modulation PSK à 16 états et d'une modulation 16 QAM de même rythme.

Réponse :

Ce sont le mêmes. 1 symbole représente 4 bits.

Modulation COFDM

En TNT, on utilise le principe de modulation à grand nombre de porteuses COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui consiste à moduler en 64 QAM un grand nombre de porteuses.

Rechercher dans les documents de présentation les caractéristiques de la modulation COFDM pour la TNT en France.

Réponse :

Plusieurs porteuses modulées en 64 QAM. 6 bits/symbole.

Largeur d'un canal 7,61 MHz.

Mode 8k en France – 6818 porteuses par canal.

Porteuses séparées de 1116 Hz.

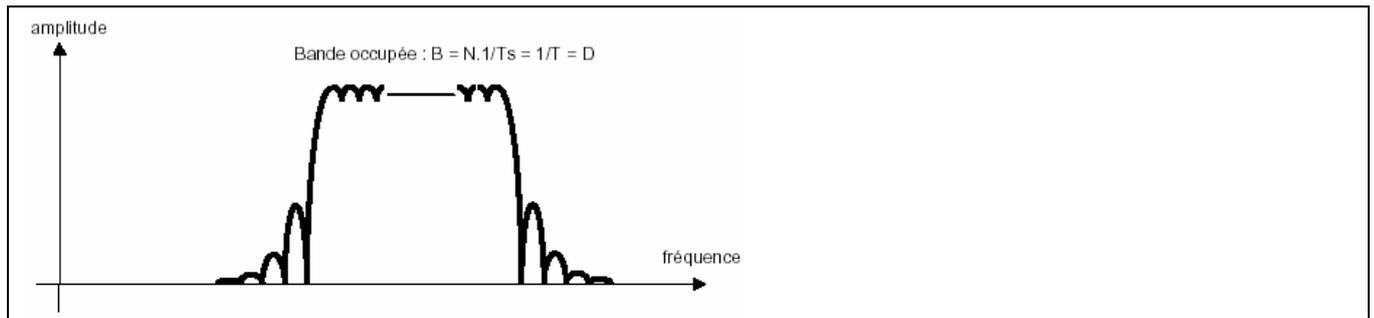
Temps utile par symbole : $\frac{1}{1116} = 896 \mu s$.

Temps total par symbole entre 1120 μs et 924 μs .

Intervalle de garde en France $\frac{T}{32}$.

En COFDM, le signal binaire à haut débit $D = \frac{1}{T}$ est réparti sur N porteuses modulées par des signaux de débit N fois plus faible, soit, par des bits de durée T_s , N fois plus longue $T_s = N \times T$. Le spectre d'une porteuse est en $\frac{\sin(x)}{x}$ et passe par 0 à $\frac{1}{T_s}$, $\frac{2}{T_s}$, etc.. de la porteuse. A la fréquence d'une porteuse, les autres spectres passent par 0. Donner sur le document réponse DR1 l'allure du spectre d'un signal COFDM.

Réponse :



Estimer, alors, la bande de fréquence occupée en fonction de N et de T_S .

Réponse :

En bande de base, le sinus cardinal propose l'essentiel de la puissance (>90%) dans la bande $0 - \frac{1}{T}$. Dans le cas du COFDM, la bande occupée par les N porteuses en sinus cardinal est $B = N \times \frac{1}{T_S}$ c'est-à-dire $\frac{1}{T} = D$ si on considère une puissance >90% pour chaque porteuse.

On se propose de retrouver certains des éléments caractéristiques de la modulation COFDM utilisée pour la TNT en France.

Sachant que la France a choisi le mode COFDM 8k et que 1374 porteuses ne sont pas utilisées, calculer le nombre de porteuses utilisées.

Réponse :

$8 \times 1024 = 8192$ donc $8192 - 1374 = 6818$ porteuses donc $N = 6818$.

Sachant que la largeur d'un canal est de 7,61 MHz, calculer l'espacement entre les porteuses et la durée du bit T_S .

Réponse :

$\frac{7,61 \times 10^6}{6818} = 1116$ Hz et donc $T_S = \frac{1}{1116} = 896 \mu s$.

La modulation COFDM 8k permet d'émettre le même programme dans les mêmes canaux à condition que les différents émetteurs pouvant être captés par un récepteur se trouvent à moins d'une certaine distance L . Préciser la condition permettant de garantir une interprétation cohérente de l'information.

Réponse :

la différence de trajet maximale correspondant à la durée d'un bit T_S .

Calculer la distance L maximale acceptable entre 2 émetteurs.

Réponse :

$\frac{7,61 \times 10^6}{6818} = 1116$ Hz et donc $T_S = \frac{1}{1116} = 896 \mu s$.

$L = c \times T_S = 299793 \times 896 \times 10^6 = 268,6$ kms.

Partie 7 : Distribution TV sur IP

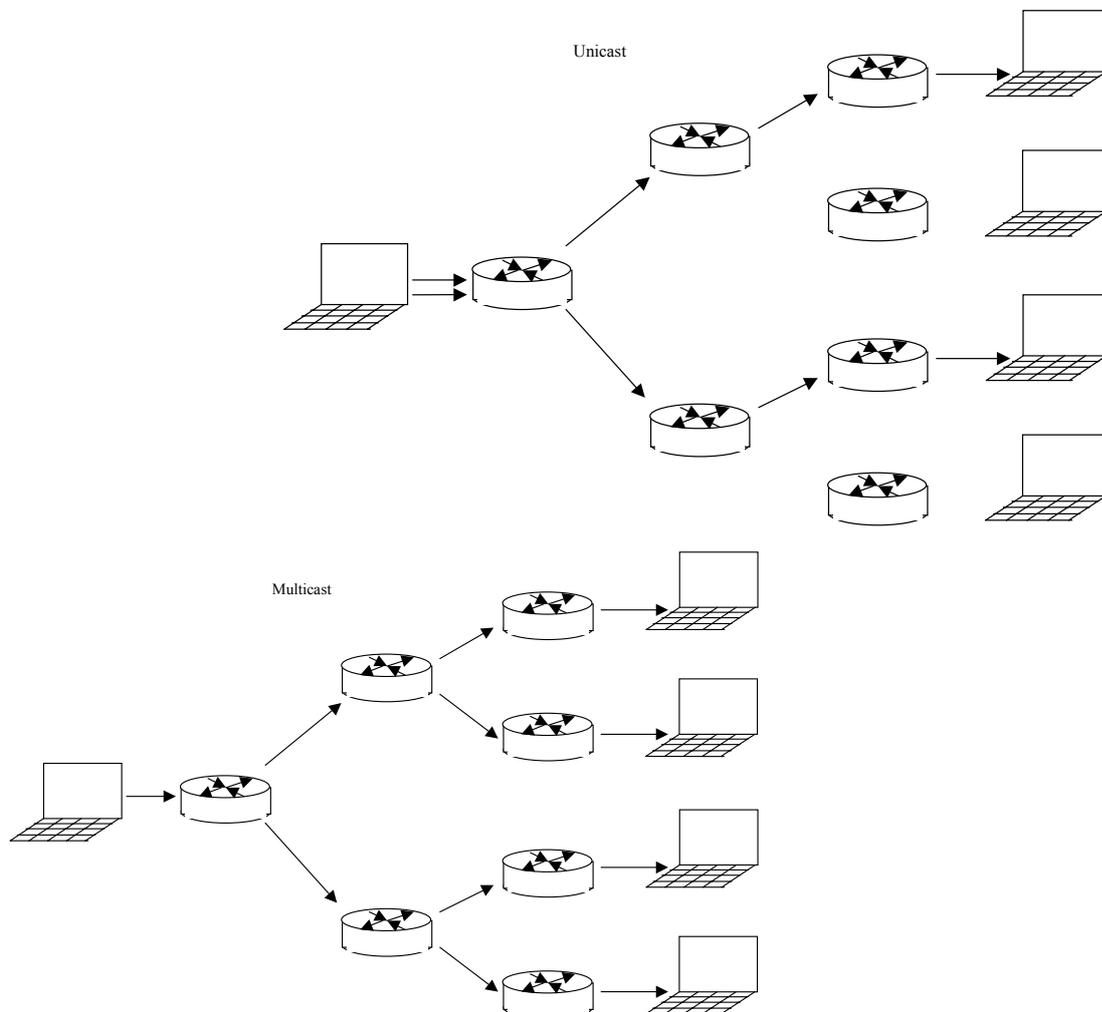
Le système de distribution utilisé dans les lotissements ne permet pas d'assurer un service à la demande, ainsi que la remontée d'informations nécessaires à la mise en œuvre d'un portail de distribution, par exemple lorsque l'on veut distribuer la télévision dans un hôpital. Les schémas de câblage partiel de TV sur IP sont donnés pages 22 et 23. Le patient qui veut recevoir la télévision dans sa chambre doit payer un abonnement à la journée. Les chaînes numériques satellites ou terrestre sont diffusées à partir de serveurs IP à travers le réseau IP vers les terminaux clients équipés de boîtiers décodeurs (OT5 réf. 829101). Un streamer COFDM (OT6 réf. 829012) ou satellite QPSK (OT7 réf. 829017) renvoie 4 flux IP.

7 Paramétrage du réseau informatique

7.1 Quelle différence faites-vous entre les protocoles unicast et multicast ? Utilisez un schéma pour illustrer votre réponse.

Réponse :

Unicast : une source, une destination



Multicast : une source et plusieurs destinations

- 7.2 Expliquez précisément la différence entre les protocoles UDP et TCP, notamment le traitement de la gestion des erreurs de transmission. Justifiez alors le choix du constructeur du diffuseur vidéo 829012 pour la diffusion de ses flux d'images.

Réponse :

TCP : mode connecté , si erreur, demande renvoi => plus fiable

UDP : mode non connecté => pas de retour => si erreur, image figée, mais peu important car la prochaine image est bonne

- 7.3 Quel va être le débit max. sur la sortie Ethernet pour un streamer 829012 ? La bande passante de la sortie Ethernet est-elle suffisante ?

Réponse :

3x 15Mbits/s = 60 Mbits/s

60Mbits/s < 100Mbits/s , donc suffisant

- 7.4 Quelle est la caractéristique technique du diffuseur vidéo 829012 qui interdit l'utilisation de concentrateur réseau (hub) pour la diffusion des flux vidéo ?

Réponse :

Full duplex only

- 7.5 Quel est l'intérêt pour le terminal réf 829107 de gérer les deux codecs MPEG2 et MPEG4 ?

Réponse :

MPEG2 : SD image simple définition

MPEG4 : HD image haute définition

- 7.6 On s'intéresse aux problèmes de saturation du réseau informatique actuel de l'hôpital.

- 7.6.1 Dans un premier temps, on constate que les éléments actifs du réseau actuel sont saturés au niveau de la disponibilité des ports physiques. On vous propose document réponse DR2 le schéma version1 de l'intégration de la distribution TV dans le réseau actuel. Le schéma solutionne-t-il le problème décrit ? Justifiez votre réponse.

Réponse :

Oui, car les nouveaux ports physiques sont suffisants pour l'application

- 7.6.2 Dans un deuxième temps, la saturation au niveau de la disponibilité des ports physiques est réglée, mais on constate une saturation de la bande passante de la connexion serveur. Donnez le ou les schémas document DR2 et DR3 qui solutionne(nt) le problème décrit en justifiant votre réponse.

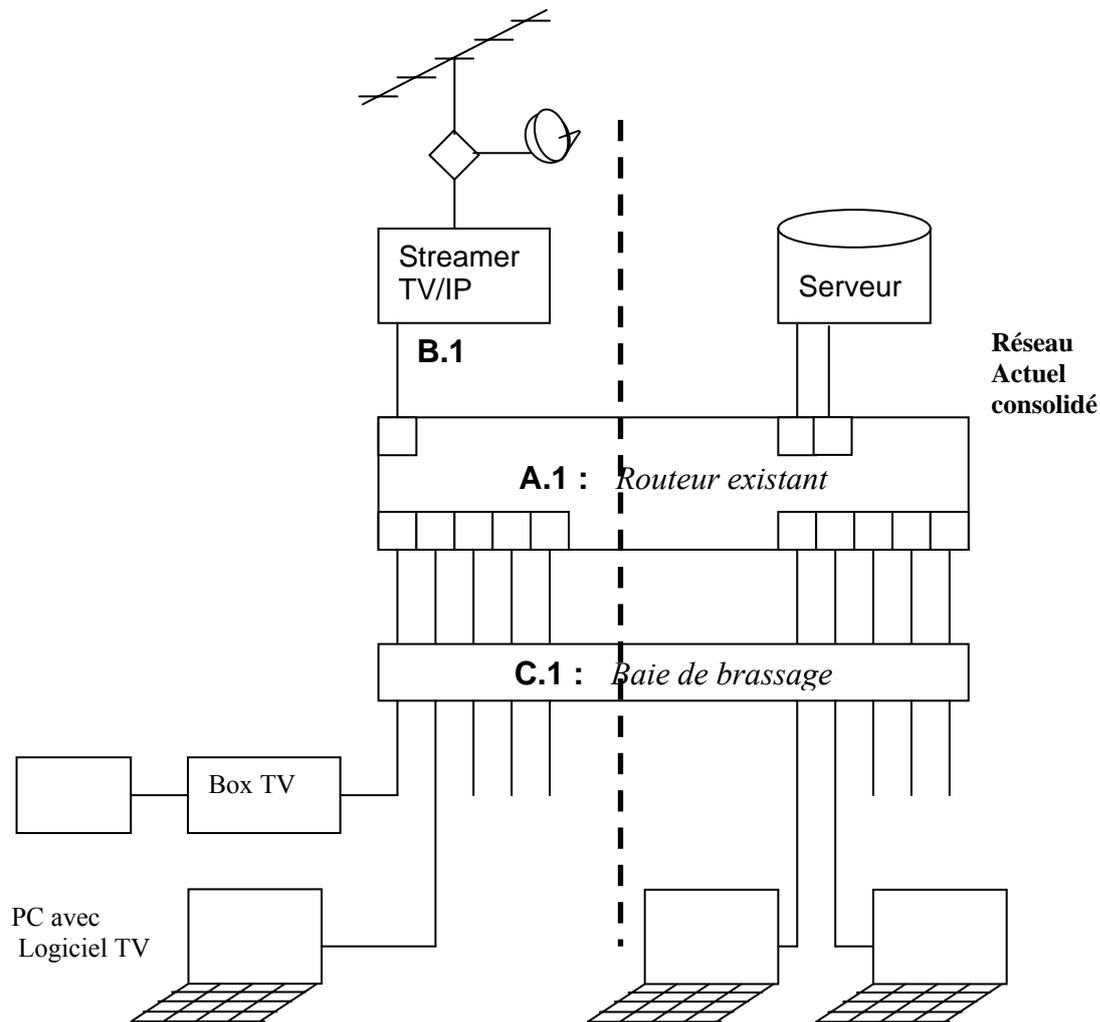
Réponse :

Les deux solutionnent le problème , car l'ajout de la distribution de télévision ne charge pas la tâche du réseau actuel.

Envisageons le cas où le problème de saturation de bande passante reste posé, proposez une solution sur le document réponse DR3.

Réponse :

Il suffit de doubler la chaîne de distribution :



- 7.7 Donnez la classe du réseau internet nécessaire à la mise en œuvre de la multidiffusion (multicast).
Donnez le protocole de routage nécessaire pour assurer la multidiffusion.
Dans la documentation constructeur pages 22 et 23, choisissez l'élément actif nécessaire.

Réponse :

Classe D

Protocole IGMP

Le routeur 2 CISCO 7604 permet de réaliser de la multidiffusion car il utilise le protocole IGMP

- 7.8 Quelle est la distance maximum entre le terminal IP près de la télévision et le routeur ?

Réponse :

90m

Partie 8 : Partie Pédagogique

A partir d'une application utilisant le principe du STREAMING et des contraintes de diffusion au format multicast de la télévision dans l'enceinte d'un établissement hospitalier, identifier les apprentissages (cognitifs ou méthodologiques) qui peuvent être abordés en classe pour un niveau BTS ou DUT, puis, vous développerez une séquence pédagogique (cours, TD, TP, synthèse) permettant l'acquisition de l'un de ces apprentissages.

Vous prendrez appui par exemple sur les acquisitions à faire au niveau « protocoles de communication » et vous donnerez la liste complète du matériel utilisé ainsi qu'un descriptif des questions et des réponses.

Vous pouvez vous appuyer sur les extraits des documents intégrées dans le dossier « documents constructeurs » pages 21 à 25 (streamer et routeur)

ÉTUDE D'UN SYSTÈME INDUSTRIEL

Option A : ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

COMMENTAIRES DU JURY

Le système étudié au cours de cette épreuve est la distribution de télévision numérique

Le sujet était constitué de 8 parties indépendantes :

- La partie 1 portait sur la distribution de signaux vidéos
- La partie 2 portait sur les antennes
- La partie 3 portait sur le bilan de liaison d'une réception satellite
- La partie 4 portait sur la boucle à verrouillage de phase du démodulateur satellite
- La partie 5 portait sur la réception TNT
- La partie 6 portait sur les modulations numériques
- La partie 7 portait sur la distribution TV sur IP
- La partie 8 était consacrée à l'exploitation pédagogique

Répartition des points (environ) :

- Partie 1 : 25 %
- Partie 2 : 25 %
- Partie 3 : 15 %
- Partie 4 : 15 %
- Partie 5 : 20 %

Partie 1 :

Cette première partie traitait de l'atténuation du signal dans le câble coaxial du système de distribution des signaux vidéos. Elle a été traitée par une grande partie des candidats. Globalement, les conseils donnés lors des sujets précédents ont été suivis et la majorité des compositions a été jugée satisfaisante. Toutefois, le jury a déploré que les explications qualitatives n'aient pas été à la hauteur des calculs menés. Le métier d'enseignant nécessite une grande rigueur dans la formulation des explications et suppose une certaine maîtrise dans l'expression écrite.

A la marge, des résultats aberrants ont été présentés. Cela est choquant dans un tel concours. Il est nécessaire dans un tel cas de formuler des réserves dans ce type de situation.

Des erreurs de conversion dans les unités (dB, dBV, dB μ V, dBm) ont été constatées. Ces calculs de base doivent être maîtrisés par les candidats.

Partie 2 :

Le sujet proposé cette année portait sur l'émission et le rayonnement d'un champ électromagnétique à partir d'une antenne. Le traitement de cette partie par les candidats a été très hétérogène. Le formulaire donné et la progression des questions permettaient à un candidat de spécialité d'origine quelconque de répondre à cette partie. On peut conseiller aux futurs candidats de s'entraîner à exploiter un questionnaire en utilisant éventuellement les résultats (même non démontrés) des questions précédentes pour progresser dans le sujet.

Partie 3 :

Le sujet proposé cette année portait sur la validation d'une antenne. Les contraintes d'amplification et de rapport signal sur bruit étaient abordées. La partie a été relativement peu traitée dans sa totalité. Les confusions persistent entre les grandeurs mises en jeu dans les calculs. Les unités données par les documents constructeurs ne sont pas utilisables systématiquement dans un calcul sans avoir fait une transformation. Les notions de rapport signal/bruit n'a pas été abordée par une majorité des candidats

Partie 4 :

Très peu de candidats ont été capables de déterminer la fréquence de fonctionnement du comparateur de phase de la PLL.
La recherche de la valeur de la fréquence BIS a été peu traitée. La notion de bande basse et bande haute doit être connue en réception satellite.

Partie 5 :

Il s'agissait, ici, de rechercher un certain nombre d'informations sur la réception TNT dans une documentation. Cette partie a été plutôt bien traitée par les candidats qui l'ont abordée.

Partie 6 :

Les candidats ne connaissent pas l'allure d'un spectre de signal TNT
Beaucoup de candidats semblent ne pas posséder les bases rudimentaires en modulations numériques.
Peu de candidats ont validé le choix du récepteur TNT en consultant la documentation

Partie 7 :

Le sujet proposé cette année portait sur une thématique en développement. Cette partie a été traitée de manière très inégale révélant sans aucun doute les différences d'origine des candidats. Les notions de base telles que le rôle des différentes couches, sont approximatives. La culture réseau n'est donc pas encore partagée par tous.
Ainsi on peut conseiller aux futurs candidats de s'appropriier les connaissances nécessaires relatives aux mécanismes de routage, aux différents protocoles de base.

Partie 8 :

Cette partie pédagogique a été traitée par un quart des candidats seulement ce qui est trop peu dans le cadre d'une agrégation interne. Etroitement associée à la partie réseau, les productions proposées se sont donc révélées très disparates et ne répondant pas forcément à la question posée. Certains développements pédagogiques sont ainsi restés centrés sur des généralités.
Nombre de candidats éprouvent de la difficulté à distinguer les pré-requis des enseignements apportés au cours des séances proposées. De même les compétences développées sont rarement ciblées. La partie cours semble également l'emporter sur les apprentissages pratiques or on attend dans cette partie une mise en activité plus importante des étudiants. Le cadre était peu contraignant. Certains candidats ont choisi de proposer des projets de BTS SE ou IRIS bien construits.

A. Toutes parties confondues :

Trop souvent, la présentation des copies et l'expression écrite sont inacceptables à ce niveau de concours. **Un enseignant se doit de produire des documents propres, lisibles et respectant la syntaxe et le vocabulaire de la langue française.**

Un petit nombre de candidats n'a abordé sérieusement aucune partie. Le jury s'interroge sur leurs motivations réelles.

Note Max	14,09
Note Min	
Note Moy	5,56
Etype	2,78

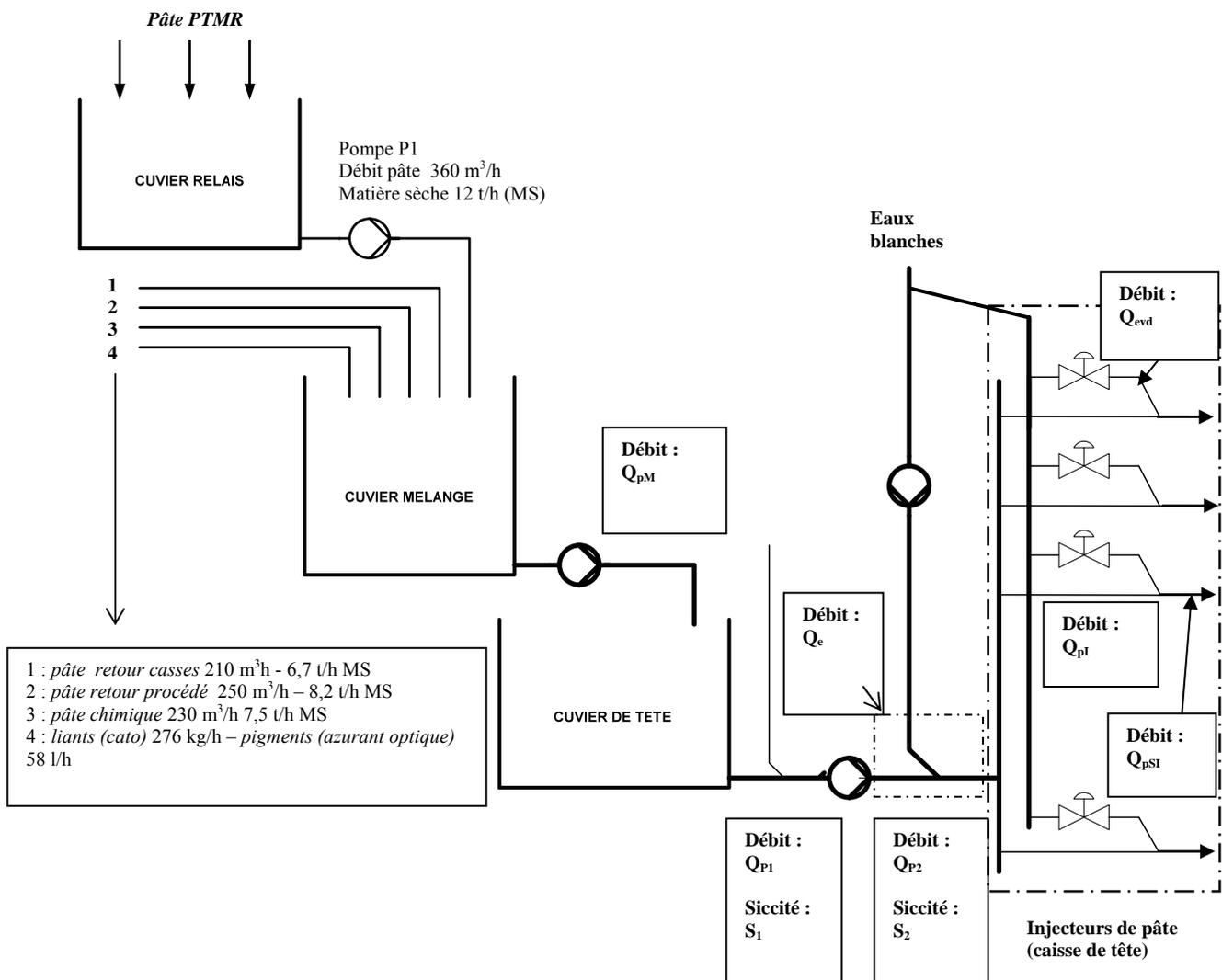
CORRIGE EPREUVE OPTION B ELECTROTECHNIQUE et ELECTRONIQUE de PUISSANCE

PARTIE A : AUGMENTER LE CADENCE DE PRODUCTION EN AUGMENTANT LA VITESSE DE DÉFILEMENT DU PAPIER

A-1. Analyse fonctionnelle du procédé

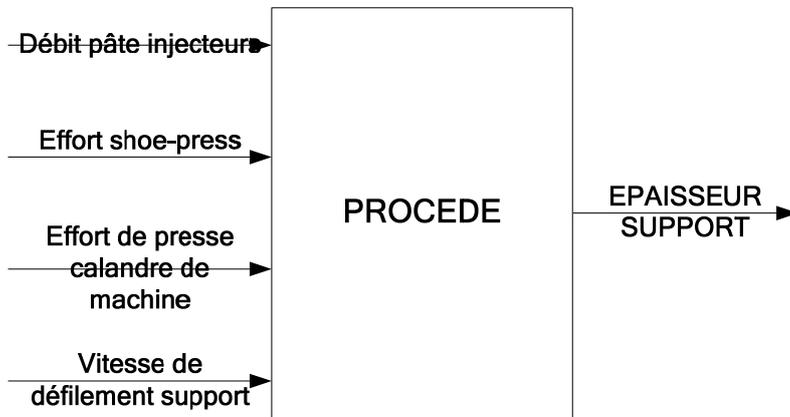
Après étude du procédé décrit §1 du DTA et en suivant la méthode donnée §2

A-1-1. Compléter le document-réponse DR1 : cf document réponse

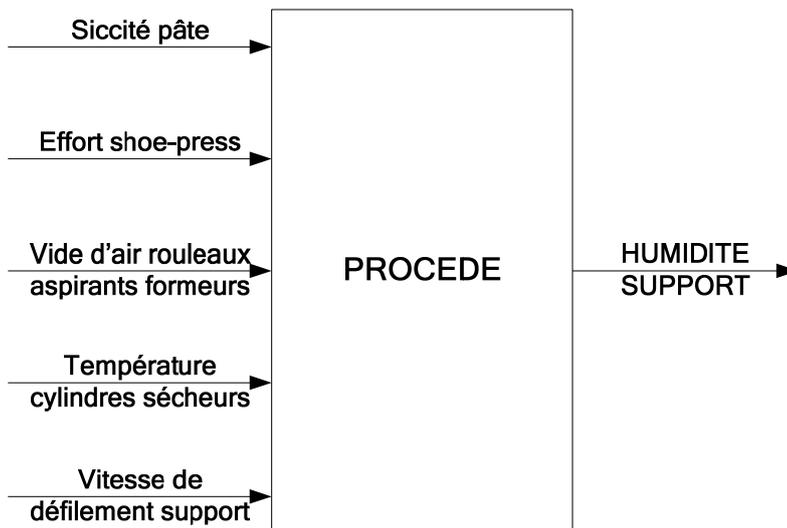


A-1-2. Compléter, sur les documents-réponses DR2-1 et DR2-2, les schémas fonctionnels de 1^{er} niveau des grandeurs à maîtriser suivantes :

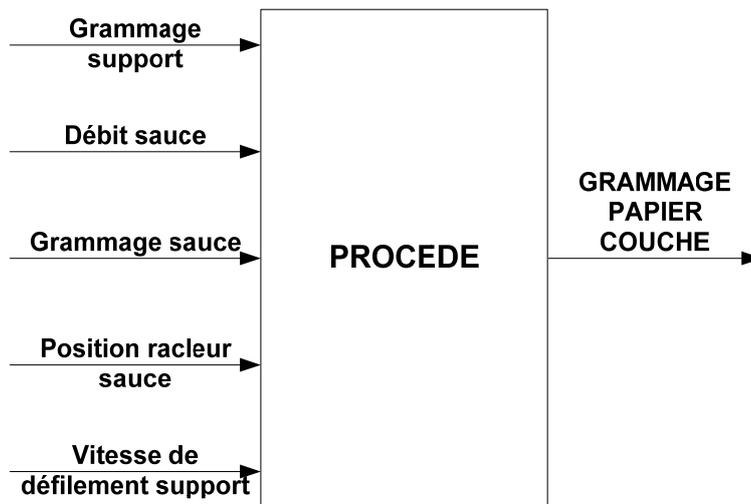
Epaisseur du support papier



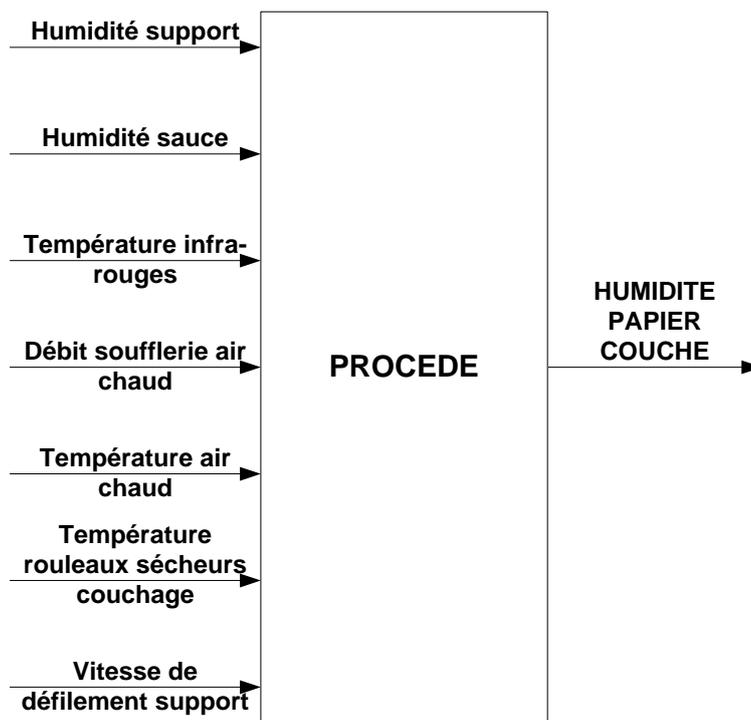
Taux d'humidité du support papier (sortie sèche)



Grammage du papier couché



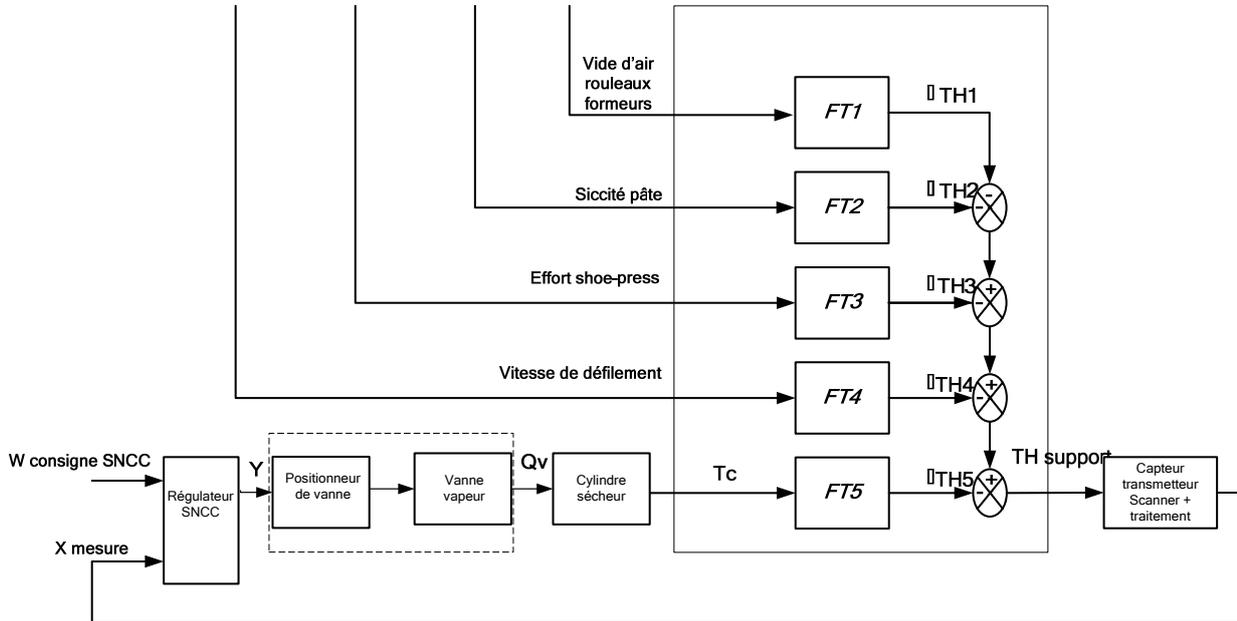
Taux d'humidité du papier couché.



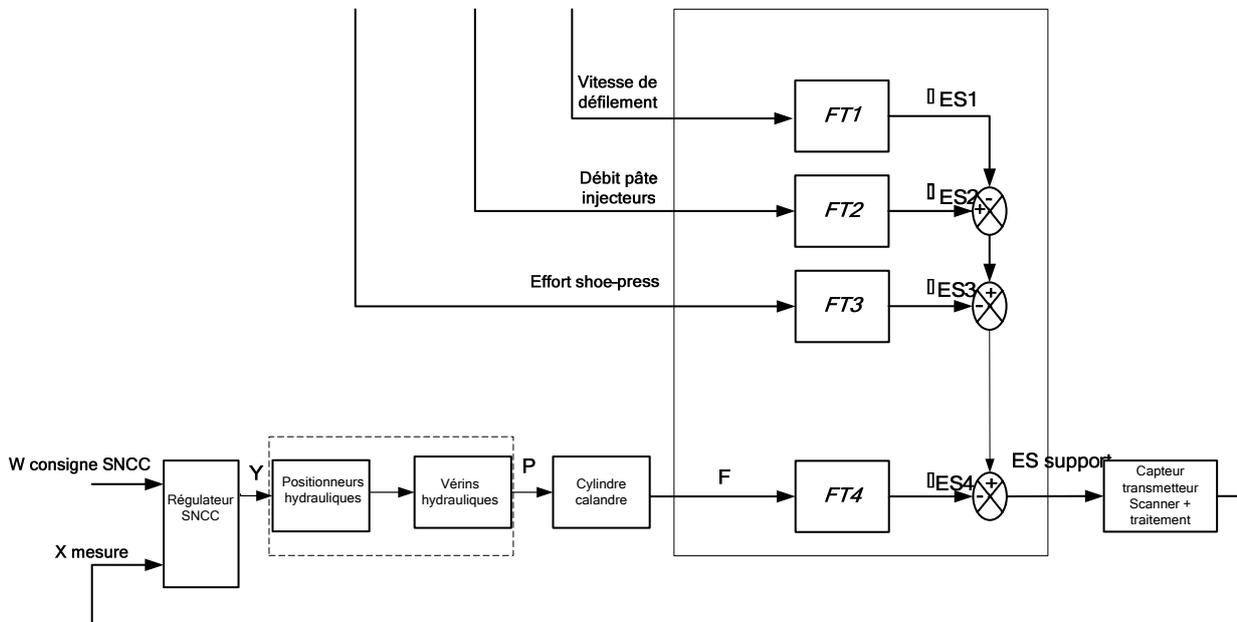
A-1-3. Compléter le tableau du document-réponse DR3 :

Grandeur à maîtriser	Grandeur réglante	Grandeurs perturbatrices
Epaisseur du support	Effort de presse calandre machine	- Débit pâte injecteurs - Effort shoe-press - Vitesse de défilement du support
Taux d'humidité du support	Température cylindres sécheurs	- Siccité pâte - Effort shoe-press - Vide d'air rouleaux formeurs - Vitesse de défilement du support
Grammage du papier couché	Position râcleur sauce	- Grammage support - Débit sauce - Grammage sauce - Vitesse de défilement du support
Taux d'humidité du papier couché	Température cylindres sécheurs couchage	- Humidité support - Humidité sauce - Température infra-rouges - Débit soufflerie air chaud - Température air chaud - Vitesse de défilement du support

- A-1-4.** En déduire les schémas fonctionnels des boucles de régulation :
- du taux d'humidité du support
 - de l'épaisseur du support.



Qv : débit vapeur cylindre
 Tc : température cylindre
 TH : taux d'humidité

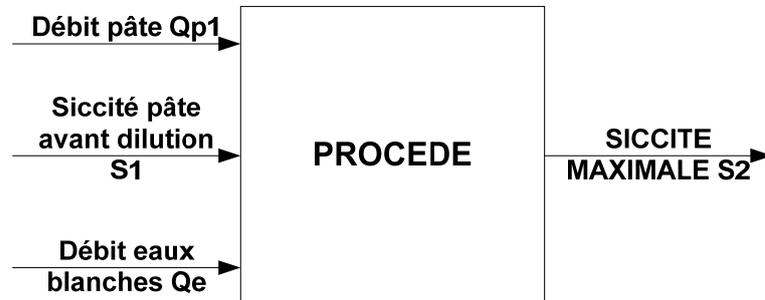


P ; pression hydraulique
 F : effort de presse
 ES : épaisseur support

A-2. Réglage du grammage

A-2-1. Réglage de la siccité maximale après dilution générale S₂

L'analyse fonctionnelle de 1^{er} niveau conduit au schéma suivant :



La siccité maximale n'est pas mesurable : il faut donc maîtriser toutes les grandeurs incidentes :

- la siccité avant dilution S₁ est fixée en amont par le cuvier mélange
- les débits de pâte Q_{p1} et d'eaux blanches Q_e deviennent des grandeurs à maîtriser.

Les grandeurs réglantes et perturbatrices des grandeurs à maîtriser sont :

Grandeur à maîtriser	Grandeur réglante	Grandeur perturbatrice
Débit de pâte (Q _{p1})	- Vitesse de la pompe centrifuge P3	- Pression de sortie du cuvier de tête
Débit d'eaux blanches (Q _e)	- Vitesse de la pompe P4	- Débit de pâte

La consigne du débit Q_e est générée par la mesure du débit Q_{p1} et par le ratio général de dilution R_g.

A-2-1-1. Citer les éléments de la boucle de régulation de proportion (ratio control) :

- Mesure de débit de pâte XQ_{p1}
- Multiplicateur de ratio R_g générant la consigne de débit WQ_e
- Mesure du débit d'eaux blanches XQ_e
- SNCC générant le signal de commande YQ_e
- Préactionneur-modulateur d'énergie : variateur de vitesse
- Actionneur et effecteur : ensemble moto-pompe

A-2-1-2. Montrer que le coefficient de proportionnalité R_g (ratio dilution générale) tel que :

$$R_g = \frac{Q_e}{Q_{p1}}$$

avec :

- *Q_e : débit d'eaux blanches
- *Q_{p1} : débit de pâte en sortie du cuvier de tête

peut se mettre sous la forme :

$$R_g = \left(\frac{S_1}{S_2} - 1\right)$$

La siccité S_1 s'écrit :

$$S_1 = \frac{Q_{MS}}{Q_P}$$

avec

- Q_{MS} : débit de matières sèches
- Q_P : débit de pâte avant dilution générale.

La siccité S_2 s'écrit :

$$S_2 = \frac{Q_{MS}}{Q_{P2}}$$

avec

- Q_{P2} : débit de pâte après dilution générale et valant :
 $Q_{P2} = Q_P + Q_e$

avec

- Q_e : débit d'eau ajouté lors de la dilution

soit $S_2 (Q_P + Q_e) = Q_{MS}$

et $S_1 (Q_P) = Q_{MS}$

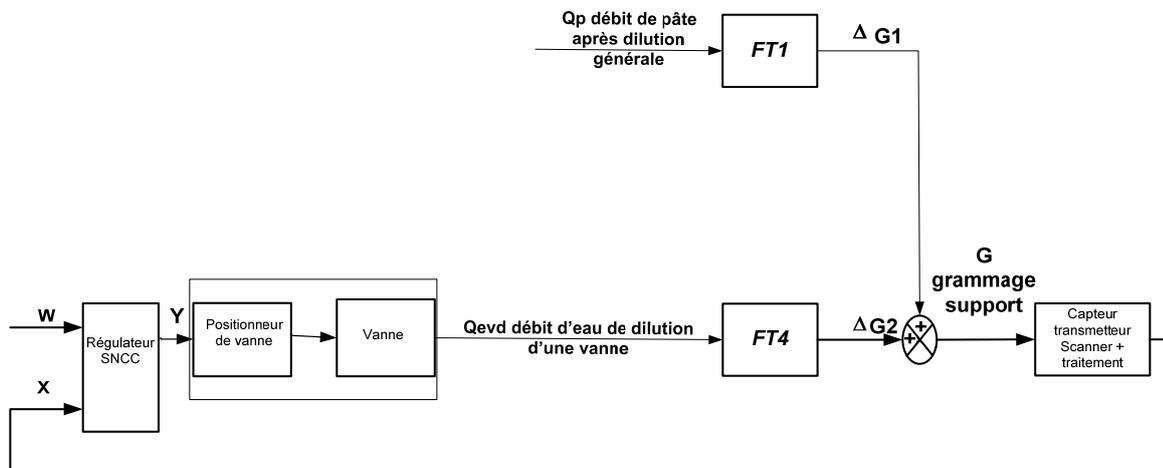
donc
$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{Q_P + Q_e}{Q_P} = 1 + \frac{Q_e}{Q_P}$$

et finalement , en remplaçant $\frac{Q_e}{Q_P}$ par R_g :

$$R_g = \frac{S_1}{S_2} - 1$$

A-2-2. Réglage fin du grammage (dilution locale)

A-2-2-1. Etablir (pour un secteur d'injection) le schéma fonctionnel de régulation de la dilution locale.



SCHEMA DE BOUCLE VALABLE POUR UN SECTEUR SUPPORT

A-2-2-2. Montrer que , pour un injecteur , le débit d'une vanne de dilution Q_{evd} s'écrit :

$$Q_{evd} = \frac{R_L(1 + R_g)}{156} \cdot Q_{p1}$$

$$R_L = 156 \cdot \frac{Q_{evd}}{Q_{p2}}$$

avec Q_{p2} débit de pâte après dilution générale
soit :

$$Q_{evd} = \frac{R_L \cdot Q_{p2}}{156} = \frac{R_L(Q_e + Q_p)}{156}$$

avec Q_p débit de pâte avant dilution générale et Q_e débit d'eau ajouté par la dilution générale.

Donc :

$$Q_{evd} = \frac{R_L}{156} \left(\frac{Q_e}{Q_p} + \frac{Q_p}{Q_p} \right) \cdot Q_p = \frac{R_L}{156} (1 + R_g) \cdot Q_p$$

A-2-3. Contrôle du débit de pâte Q_{p1} par la pompe P3 (cf §3 et 4 du DTA)

A-2-3-1.

- temps t_1 en s nécessaire pour former une bobine mère:

$$t_1 = L_B / v$$

$$\text{AN: } t_1 = 74200 / (1500 / 60) = \mathbf{2968 \text{ s}}$$

-surface de papier S en m^2 correspondant à une bobine mère formée

$$S = L_B \cdot l$$

$$\text{AN: } S = 74200 \cdot 9 = \mathbf{667800 \text{ m}^2}$$

-masse sèche MS de support correspondante

Un grammage de papier couché de $60g/m^2$ correspond à un grammage support g_{MS} de $\mathbf{37,4 g/m^2}$

La masse de matière sèche MS vaut:

$$MS = g_{MS} \cdot S$$

$$\text{AN: } MS = 37,4 \cdot 10^{-3} \cdot 667800 = \mathbf{24976 \text{ kg}}$$

-débit massique de matières sèches Q_{MS} en t/h en sortie du cuvier de tête

2968 s correspondent à 0,8244 h

$$Q_{MS} = MS \text{ (en t)} / t_1 \text{ (en h)}$$

$$\text{AN: } Q_{MS} = 24,976 / 0,8244 = \mathbf{30,296 \text{ t/h}}$$

A-2-3-2. En déduire la plage de variation du débit de pâte Q_{p1} en m^3/s couvrant la plage de réglage du grammage.

*La siccité de la pâte varie entre $S_m = 3\%$ et $S_M = 3,5\%$ avant dilution: pour le point de fonctionnement de référence ($g_{MS} = 37,4 g/m^2$), le débit de pâte Q_{p1} est compris entre :

$$Q_{MS} / S_M < Q_{p1} < Q_{MS} / S_m \text{ en t/h}$$

ce qui correspond , pour la pâte, à l'unité m³/s car 1 m³ de pâte a une masse de 1 t

$$\text{AN: } 30,296 / (0,035 \cdot 3600) < Q_p < 30,296 / (0,03 \cdot 3600)$$

$$0,241 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{p1} < 0,281 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Le débit de pâte Q_{p1} est proportionnel au grammage de matière sèche g_{MS} à siccité S donnée (effet des boucles de régulation):

pour le grammage maximum g_{MS MAX}= **44,2 g/m²** :

$$(44,2 / 37,4) , 0,241 < Q_{p1} < (44,2 / 37,4) , 0,281$$

soit $0,285 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{p1} < 0,332 \text{ m}^3/\text{s}$

pour le grammage minimum g_{MS MIN}= **30,4 g/m²** :

$$(30,4 / 37,4) , 0,241 < Q_{p1} < (30,4 / 37,4) , 0,281$$

soit $0,196 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{p1} < 0,228 \text{ m}^3/\text{s}$

La plage de variation du débit de pâte Q_{p1} couvrant la plage de réglage du grammage est donc:

$$0,196 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{p1} < 0,332 \text{ m}^3/\text{s}$$

A-2-3-3. En déduire la plage de variation de la vitesse de rotation de la pompe n_p .

Les grandeurs caractéristiques de la pompe centrifuge sont:

*Vitesse nominale : **988 trs/min**

*Hauteur manométrique à vitesse nominale: **ΔP = 16 mCe**

*Débit nominal : **350 l/s** soit **0,350 m³ /s**

Le débit est proportionnel à la vitesse , soit une plage de variation de la vitesse de rotation de la pompe n_p:

$$550 \text{ trs/min} < n_p < 943 \text{ trs/min}$$

A-2-3-4. Déterminer l'augmentation de pression ΔP en mCe engendrée par la pompe aux points de fonctionnement correspondant :

- au grammage minimum

ΔP_n = **16 mCe** au point de fonctionnement nominal de la pompe et est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation , soit :

$$\Delta P_{\text{mini}} = \Delta P_n \cdot (n_{\text{mini}} / n_n)^2$$

$$\text{AN: } \Delta P_{\text{mini}} = 16 \cdot (550 / 988)^2 = \mathbf{4,96 \text{ mCe (0,49 bar)}}$$

- au grammage maximum

$$\Delta P_{\text{maxi}} = \Delta P_n \cdot (n_{\text{maxi}} / n_n)^2$$

$$\text{AN: } \Delta P_{\text{maxi}} = 16 \cdot (943 / 988)^2 = \mathbf{14,6 \text{ mCe (1,46 bar)}}$$

A-2-3-5. Calculer la puissance hydraulique maximale P_{Hp} en kW fournie par la pompe , en déduire la puissance utile maximale P_{uM} fournie par le moteur.

$$P_{Hp} = \Delta P_{\max i} \text{ (en Pa)} \cdot Q_{p1\text{MAX}} \text{ (en m}^3 \text{/s)}$$

$$\text{AN: } P_{hp} = 146000 \cdot 0,332 = \mathbf{48472 \text{ W soit } 48,5 \text{ kW}}$$

Lecture sur la courbe de rendement hydraulique: $\eta_P = 0,6$ soit:

$$P_{uM} = P_{hp} / \eta_P$$

$$\text{AN: } P_{uM} = 48,5 / 0,6 = \mathbf{80,8 \text{ kW}}$$

A-2-3-6. Déterminer le débit maximum Q_{evdM} en l/s d'une vanne de dilution.

On obtient le débit de vanne de dilution locale maximum pour :

- le grammage maximum
- le débit de pâte maximum $Q_{pMAX} = 332 \text{ l/s}$
- le ratio de dilution général minimum R_{gMIN}

R_{gMIN} est calculé pour une siccité S_1 de 3%

$$\text{AN: } R_{gMIN} = (0,03 / 0,007) - 1 = \mathbf{3,29}$$

R_{LMAX} vaut **0,2** (20%)

$$Q_{evdM} = \frac{R_{LMAX}}{156} (1 + R_{gMIN}) Q_{pMAX}$$

$$\text{AN: } Q_{evdM} = (0,2 / 156) \cdot (1 + 3,29) \cdot 332 = \mathbf{1,83 \text{ l/s}}$$

A-2-4. Mesure du grammage

A-2-4-1-Déterminer la période d'échantillonnage T en s de la mesure de grammage.

En négligeant le temps de transmission des données , la période d'échantillonnage T est égale au temps de balayage t_B du scanner puisque les données sont envoyées à chaque fin de balayage , soit :

$$\mathbf{T = 40 \text{ s}}$$

A2-4-2-Calculer la longueur de support L_s en m défilant pendant un balayage.

$$\mathbf{v = 1500 \text{ m/min soit } 25 \text{ m/s}}$$

v est constante donc :

$$L_s = v \cdot t_B$$

$$\text{AN: } L_s = 40 \cdot 25 = \mathbf{1000 \text{ m}}$$

A-2-4-3-Déterminer le retard pur supplémentaire τ en s engendré par la position de la mesure de grammage en sortie de sècherie.

Le scanner est à une longueur de support L de **320m** des injecteurs d'où une prise en compte de la mesure par le SNCC retardée de :

$$\tau = L / v$$

$$\text{AN: } \tau = 320 / 25 = \mathbf{12,8 \text{ s}}$$

A-3. Modification de la vitesse de défilement du papier

Pour augmenter la cadence de production , l'entreprise souhaite porter la vitesse de défilement à **1700 m/min**.

Le but de l'étude est de constater les impacts de la modification sur les réglages .

A-3-1. Sur le débit de pâte ; en admettant que celui-ci est proportionnel à la vitesse de défilement :

A-3-1.1. Déterminer le débit pâte Q_{pM} en m^3/s correspondant au grammage maximum.

$$Q_{pM1700} = Q_{pM1500} \cdot (1700 / 1500)$$

soit:

$$Q_{pM1700} = \mathbf{0,376 \text{ m}^3/s}$$

A-3-1.2. En déduire la vitesse maximale de rotation de la pompe n_M en trs/min en tenant compte de la plage de réglage.

$$n_{pMAX1700} = \left(\frac{Q_{pM1700}}{Q_{pM1500}} \right) \cdot n_{pMAX1500}$$

$$\mathbf{AN : n_{pMAX1700} = (0,376 / 0,332) \cdot 943 = 1068 \text{ trs/min}}$$

A-3-1.3. Proposer , en la justifiant , une solution technique permettant l'adaptation de l'ensemble actuel « modulateur-moto-pompe » à l'augmentation de vitesse de défilement.

- point de vue procédé :
le point de fonctionnement critique est obtenu pour la siccité maximale en sortie de cuvier de tête : on peut envisager de réduire la plage de variation de la siccité de 3-3,5% à 3-3,2%
- point de vue « modulateur – moteur » :
autoriser une survitesse pompe d'environ 9% sachant qu'elle est ponctuelle et changer la configuration du variateur pour atteindre cette vitesse.

A-3-2. Sur le système de mesures :

A-3-2.1. Calculer la nouvelle valeur du retard pur supplémentaire τ' en s

$$\tau' = L / v$$

$$\mathbf{AN : \tau = 320 / (1700 / 60) = 11,3 \text{ s}}$$

très proche de la valeur initiale donc peu d'influence

A-3-2.2. Ajuster le temps de balayage du scanner pour conserver une prise de mesures identique :

-même nombre de points de mesure

-même longueur de support L_s en m défilant pendant une acquisition.

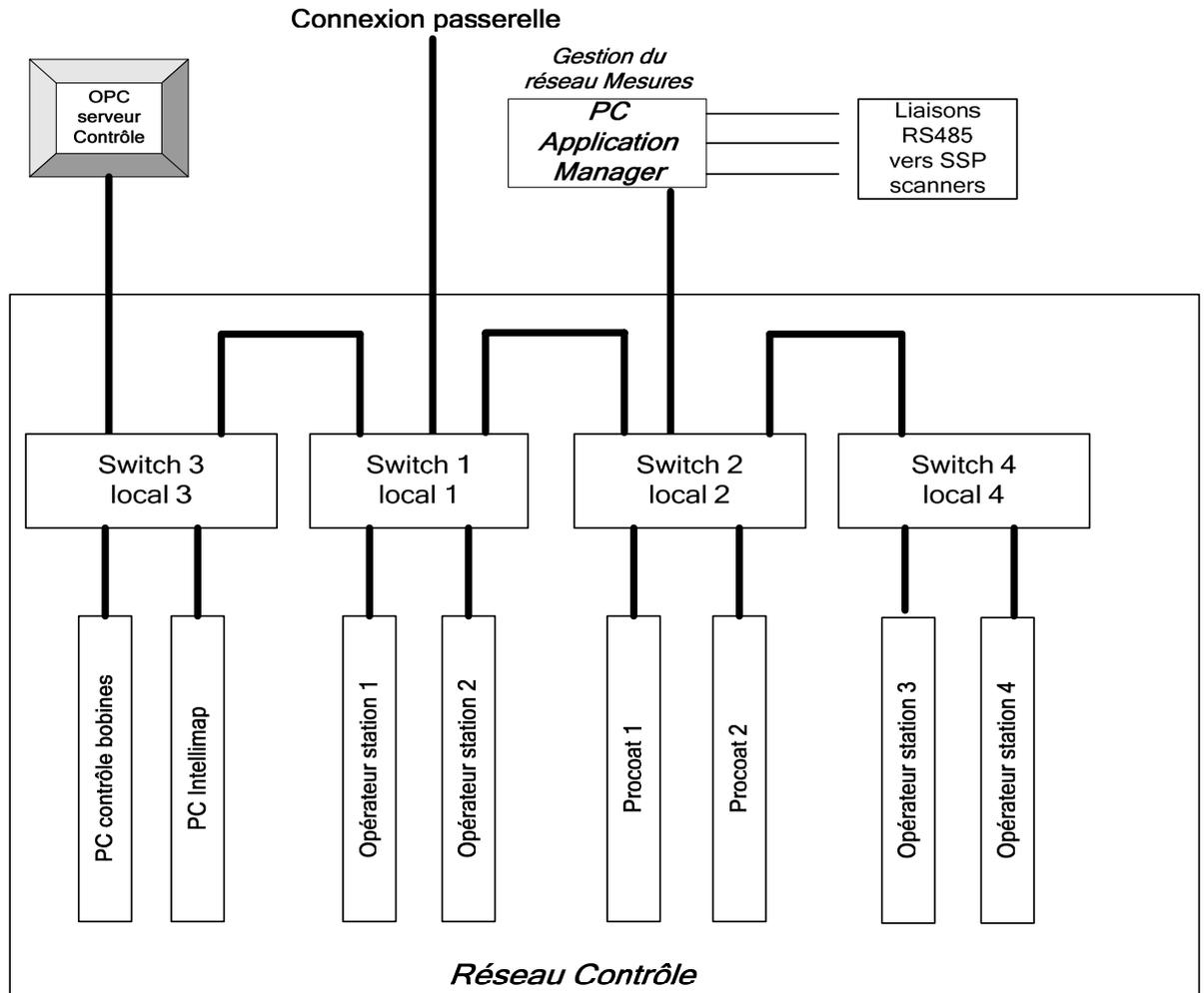
$$t_B = L_s / v$$

$$\mathbf{AN : t_B = 1000 / (1700 / 60) = 35,3s}$$

A-4. Communication
A l'aide du DTA , §5

A-4-1 Compléter le document réponse DR4 en représentant :

- la **topologie** du réseau Contrôle
- les **appareils de connexions** nécessaires aux liaisons physiques. .



A-4-2 Nommer les appareils de connexion définis en 4-1.

Les appareils de connexion sont des switches qui permettent l'extension du réseau en étoile.

Ils amplifient et rétablissent le même type de signal sur le port concerné par le message à transmettre.

A-4-3 Indiquer, en justifiant la réponse , la nature des **supports physiques** (Média) des liaisons :

- entre chaque local technique
longueur supérieure à **100m** , **environnement industriel agressif** et vitesse de transmission de **100 Mbits/s** impliquent des supports en fibre optique
- dans chaque local technique.

connexions dans local préservées de l'environnement , courtes distances et type RJ45 impliquent des supports câbles en cuivre (paires torsadées)

A-4-4 Les adresses de réseau IP suivantes sont réservées aux réseaux dits « privés » :

- Classe A : 10.0.0.0 à 10.255.255.255
- Classe B : 172.16.0.0 à 172.31.255.255
- Classe C : 192.168.0.0 à 192.168.255.255.

Proposer un **adressage complet** des constituants du réseau Contrôle.

Exemple d'adressage :

Il y a 11 hôtes à connecter : un réseau privé de **classe C** suffit.

*PC Application Manager : 192.168.100.2/255.255.255.0

*Passerelle : 192.168.100.3/255.255.255.0

*Local n°1

- station opérateur n°1 : 192.168.100.11/255.255.255.0
- station opérateur n°2 : 192.168.100.12/255.255.255.0

*Local n°2

- Procoat n°1 : 192.168.100.21/255.255.255.0
- Procoat n°2 : 192.168.100.22/255.255.255.0

*Local n°3

- PC contrôles bobines : 192.168.100.31/255.255.255.0
- PC appelé Intellimap : 192.168.100.32/255.255.255.0
- serveur OPC Contrôle : 192.168.100.33/255.255.255.0

*Local n°4

- station opérateur n°3 : 192.168.100.41/255.255.255.0
- station opérateur n°4 : 192.168.100.42/255.255.255.0

PARTIE B : DIMINUER LES COÛTS DE PRODUCTION EN ÉCONOMISANT L'ÉNERGIE ET EN DIMINUANT SON COÛT

Ceci nécessite de

- Connaître le procédé de fabrication
- Faire un bilan des énergies mises en jeu
- Faire un bilan du coût énergétique de la transformation du produit
- Etudier les moyens d'économiser l'énergie et de diminuer son coût

Cette partie étudie plus particulièrement l'atelier de fabrication de la pâte à papier thermo-mécanique d'un point de vue énergétique.

Une seule ligne de raffinage est étudiée

B-1. Analyse du procédé de fabrication

En fonction du schéma fonctionnel d'une ligne de raffinage présenté fig.1 du dossier technique DTB :

B-1-1. Flux matières (sur une durée d'une heure)

Ce bilan permet de bien connaître les quantités et caractéristiques des produits entrants et sortants afin de mieux appréhender le bilan énergétique.

Compléter le document réponse DR5.

On distinguera

- le débit total QT en m³/h ou en t/h
- le débit de matière sèche en t/h
- le débit d'eau (ou de vapeur) en t/h (1m³ a une masse de une tonne)

Remarque : Le tableau ne se remplit pas forcément dans l'ordre de présentation

1- Raffineur 1 :			total	Matière sèche	Eau ou vapeur
Entrée :	copeaux	Qm100	10t/h	8t/h	2t/h
	Eau de dilution	Qv31	10m ³ /h	0	10t/h
Sortie :	mélange fibres + eau	Qm102	10 t/h	7,6 t/h	2,4t
	Vapeur d'eau chargée de fibres	Qm81	10 t/h	0,4t/h	9,6t/h

2- Raffineur 2:			total	Matière sèche	Eau ou vapeur
Entrée :	mélange fibres + eau	Qm102	10t/h	7,6 t/h	2,4 m ³ /h
	Retour de fibres non calibrées	Qm101	5t/h	4 t/h	1 m ³ /h
	Retour fibres récupérées	Qm12	1t/h	0,8 t/h	0,2 m ³ /h
	Eau de dilution	Qv32	10m ³ /h	0	10 m ³ /h
Sortie :	mélange fibres + eau	Qm103	16 t/h	12 t/h	4 m ³ /h
	Vapeur d'eau chargée	Qm82	10 t/h	0,4 t/h	9,6 t/h

3- Raffineur 3:			total	Matière sèche	Eau ou vapeur
Entrée :	mélange fibres + eau	Qm103	16t/h	12 t/h	4 m ³ /h
	Eau de dilution	Qv33	37m ³ /h	0	37 m ³ /h
Sortie :	mélange fibres + eau	Qm104	53 t/h	12 t/h	41 m ³ /h

4- Cuvier de stockage :			total	Matière sèche	Eau ou vapeur
-------------------------	--	--	-------	---------------	---------------

Entrée :	mélange fibres + eau	Qm104	53 t/h	12 t/h	41 m ³ /h
	Eau de dilution	Qv34	203m ³ /h	0	203 m ³ /h
	mélange fibres + eau	Qm2	266 t/h	12 t/h	244 m ³ /h
Sortie :	Siccité : 4,5%			12 t/h	244 m ³ /h

5- Récupérateur de fibres et échangeur :			total	Matière sèche	Eau ou vapeur
Entrée :	Eau froide déminéralisée	Qv10	20m ³ /h	0	20 m ³ /h
	Vapeur chargée de fibres à 2,5 bars	Qm8	20t/h	0,8 t/h	19,2 t/h
Sortie :	Vapeur 1,8 bars	Qm11	20t/h	0	20 t/h
	condensats	Qv9	19m ³ /h	0	19 m ³ /h
	Fibres récupérées	Qm12	1t/h	0,8 t/h	0,2 m ³ /h

B-1-2. Les moteurs électriques

B. Ils sont

- o de type synchrone
- o alimentés en HTA
- o à démarrage direct

C. B-1-2-1 Justifier le choix de ces 3 options.

- o La vitesse doit être rigoureusement constante quelque soit la charge
- o La puissance unitaire est élevée, un moteur BT serait de taille trop imposante (la taille et le prix d'un moteur est directement lié à la section du cuivre du bobinage)
- o Le nombre de démarrage par jour est limité à deux, ce qui convient
- o Le moteur synchrone peut fonctionner avec un facteur de puissance voisin de 1
- o L'alimentation haute tension permet de réduire le courant nominal donc les pertes joules, ce qui fait un rendement supérieur
- o Le démarrage direct est possible car les raffineurs démarrent à vide (plaques écartées)

D. B-1-2-2 Quelles dispositions technologiques doit posséder le moteur synchrone pour démarrer en direct : illustrer avec un croquis explicatif

- o Il doit être à pôles saillants avec des amortisseurs Leblanc sur ses pôles, ce qui lui permet de démarrer en asynchrone si le couple résistant est faible (ce qui est le cas)
- o L'isolation du bobinage de la roue polaire doit être renforcée pour supporter la tension induite dans ce bobinage pendant le démarrage.
- o Un dispositif à thyristors avec système d'amorçage automatique permet de limiter la tension aux bornes de la roue polaire à 700V tout en limitant le courant de démarrage

E. B-1-2-3 Compléter le tableau 1 du document réponse DR6

En déduire

- o la consommation d'énergie électrique par tonne de matière sèche produite pour chaque raffineur
- o la consommation totale d'énergie électrique par tonne de matière sèche

Atelier PTMR :	Energie électrique	Masse de matière sèche	Consommation électrique par tonne

	P absorbée	consommée en MWh	produite en t/h	de matière sèche en kWh/t
Pe11	12 MW	12	7,6	1579
Pe12	8,5 MW	8,5	12	708
Pe13	4,8 MW	4,8	12	400
Pe	25,3 MW	25,3	12	2687

F. B1-2-4 Compléter le tableau 2 du document DR6

$$W = m.C.(T2-T1) \text{ d'où } T2 = T1 + W/mC$$

Refroidissement moteur						
Pn (nominale)	Pe absorbée	η	pertes	Débit eau	T froide	T chaude
Moteur M11						
17MW	12MW	0,9	1,2MW	20 m ³ /h	25°C	51,6+25=76,6°C
Moteur M12						
17MW	8,5MW	0,9	0,85MW	20 m ³ /h	25°C	36,6+25=61,6
Moteur M13						
6MW	4,8MW	0,9	0,48MW	20 m ³ /h	25°C	20,7+25=45,7
Température de sortie d'eau de refroidissement : T6				T6 = (T11+T12+T13)/3=61,3°C		

B-2. Bilan enthalpique de l'atelier :(sur une durée d'une heure)

Ce bilan permet

- de comprendre comment sont transformés les produits
- de comprendre comment est utilisée l'énergie fournie au système
- d'estimer le rendement énergétique de l'installation

L'énergie électrique absorbée est utilisée pour transformer les copeaux en fibres calibrées, cette transformation provoque un échauffement considérable. Ce dégagement de chaleur provoque l'échauffement de l'eau et la transformation d'une partie en vapeur.

Le bilan enthalpique s'écrit $He = Hs + Wm + p$

où

- He est la somme des enthalpies des produits entrants
- Hs est la somme des enthalpies des produits sortants
- Wm est l'énergie totale apportée par les moteurs
- p représente les pertes énergétiques du système

Dans le document réponse DR7

B-2-1. Faire le bilan enthalpique

B-2-2. En déduire les pertes et le rendement énergétique de la ligne de raffinage

	Débit en tonne/h	Température en °C	Chaleur massique en kJ/kg/°C	Enthalpie relative à 0°C) en kWh	
Entrée :					
Copeaux humides	Matière sèche	8	80	1,76	312,9

	Eau	2	80	4,18	185,7
Eau de dilution Qv3		270	60	4,18	18810
Eau de refroidissement Qv5		60	25	4,18	1741,7
Eau déminéralisée Qv10		20	75	4,18	1741,7
Total entrant : He					22792
Sortie :					
Mélange fibres et eau	Matière sèche	12	80	1,76	469,3
	Eau	254	80	4,18	23593,8
Vapeur Qm11 (2702kJ/kg)		20	117	xxxxxx	15011,1
Condensats Qv9		19	90	4,18	1985,5
Eau de refroidissement moteur Qv6		60	61,3	4,18	4270,5
Total sortant : Hs					45330
Energie électrique consommée : Wm					25300
Bilan global en kWh					
	Enthalpie relative entrée matière:	Energie électrique :	Enthalpie relative totale entrée :	Enthalpie relative sortie :	
	22792	25300	48092	45330	
Pertes : p	2762				
Rendement : η	94,26%				

B-3. Economie sur le coût de la transformation du produit

B-3-1. Economies réalisées par la récupération des calories :

La vapeur produite et l'eau chaude récupérée sont utilisées dans la fabrication du papier.

Les calories ne sont plus à fournir par la chaufferie et représentent donc une économie financière

G. Estimer, dans le **tableau 3 du document réponse DR6**, cette économie sachant que :

- le coût de production de l'eau chaude est de 4,8 c€/°C/t
- le coût de production de la vapeur à 1,8 bar (117°C) est de 30€/t.

	Débit en tonne/heure	Temp. Init.	Temp. finale		Coût de une heure de production en €
Eau de refroidissement	60	25	52,9		80,35
Condensats	19	60	90		27,36
vapeur	20				600,00
total					707,71

B-3-2. Energie électrique consommée par l'atelier

B-3-2-1. Pour un fonctionnement 24h/24h

Pour une semaine d'exploitation en été et une semaine en hiver avec un débit d'extraction de 12t/h de matière sèche à 4,5% de siccité soit un débit matière de 266t/h.

H. Estimer le coût de l'énergie consommée si l'atelier fonctionne 24h/24h

Bilan des heures creuses et pleines sur une semaine

	lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi	samedi	dimanche	
HC	6	6	6	6	6	24	24	78
HP	18	18	18	18	18	0	0	90
	24	24	24	24	24	24	24	168

Les heures creuses représentent 78/168 du temps soit 46,43% du temps

Coût de la consommation électrique en exploitation 24h/24h

La consommation électrique en une heure de production est de 25300 kWh pour la ligne de production.

		Coût unitaire en c€ / kWh	Nbre d'heures/ semaine	Coût /semaine en €	Total pour les deux semaines
été	HC	1,504	78	29680	284216
	HP	2,830	90	64439,10	
hiver	HC	3,813	78	75245,74	
	HP	5,044	90	114851,88	

I.

B-3-2-2. pour un fonctionnement en heures creuses

On n'utilise maintenant l'atelier de raffinage que pendant les heures creuses (été comme hiver) (voir le détail de tarification dans le document ressources)

J. Calculer

- o le débit de l'atelier de raffinage (compte tenu des deux lignes de production) à prévoir pendant les heures creuses pour pouvoir alimenter la machine à papier avec un débit de 12t/h en continu

Pour avoir le même débit « semaine », il faut donc fournir un débit de 12t /46,43% à l'entrée du cuvier C12 soit 25,8 t/h soit 12,9 t/h pour chaque ligne de raffinage, il faut donc que les deux lignes de raffinage fonctionnent simultanément pendant les heures creuses avec un point de fonctionnement voisin de celui étudié.

Soit un débit matière de $266 * 25,8 / 12 = 572 \text{ t/h}$.

- o le volume minimum du cuvier de stockage C12

Le cuvier doit pouvoir stocker la production des samedi et dimanche soit une production de 48h à 572 t/h soit 27456 t

Le mélange est composé de 95,5% d'eau et de 4,5% de bois ; la masse volumique de l'ensemble est $1 * 0,955 + 0,7 * 0,045 = 986,5 \text{ kg/t}$ soit 27832 m^3 .

- o les économies d'énergie réalisées.

Coût de la consommation électrique en heures creuses uniquement

La consommation électrique est sensiblement proportionnelle au débit matière, on l'estime donc à $25300 * 25,8/12 = 54395$ kWh en une heure de production

		Coût unitaire en c€ / kWh	Nbre d'heures/ semaine	Coût /semaine en €	Total pour deux semaines
Eté	HC	1,504	78	63812	225590
	HP	2,830			
Hiver	HC	3,813	78	161778	
	HP	5,044			

Soit une économie de 58626 € pour deux semaines de fonctionnement soit 20,6%

B-3-3. Conclusion et bilan financier :

K. On estime à 600€ / heure le coût de production de l'eau chaude consommée par le raffinage

B-3-3-1. Estimer le coût de l'énergie électrique par tonne de matière sèche si l'atelier fonctionne 24h/24h pour deux semaines (été et hiver)

$284216 \text{ € pour } 12 * 168 * 2 = 336 \text{ t d'où } 284216/336 = 845,9 \text{ €/t}$

B-3-3-2. Estimer le coût de l'énergie électrique par tonne de matière sèche si l'atelier fonctionne pendant les heures creuses

$225590 \text{ € pour } 12 * 168 * 2 = 336 \text{ t d'où } 225590/336 = 671,4 \text{ €/t}$

B-3-3-3. Conclusion, en déduire l'économie financière en pourcentage

Soit $845,9 - 671,4 / 845,9 = 20,62 \%$

PARTIE C : DIMINUER LES COÛTS EN AUGMENTANT LA VITESSE DE PRODUCTION

Ceci nécessite de faire
 l'analyse du processus de fabrication
 une analyse des solutions possibles
 une étude de faisabilité avec l'équipement existant

Cette partie étudie plus particulièrement l'une des **deux bobineuses** situées en bout de chaîne de production

Les données du problème sont récapitulées dans le document ressource DTC

C-1. Analyse du processus de fabrication

C-1-1. ETUDE PRELIMINAIRE :

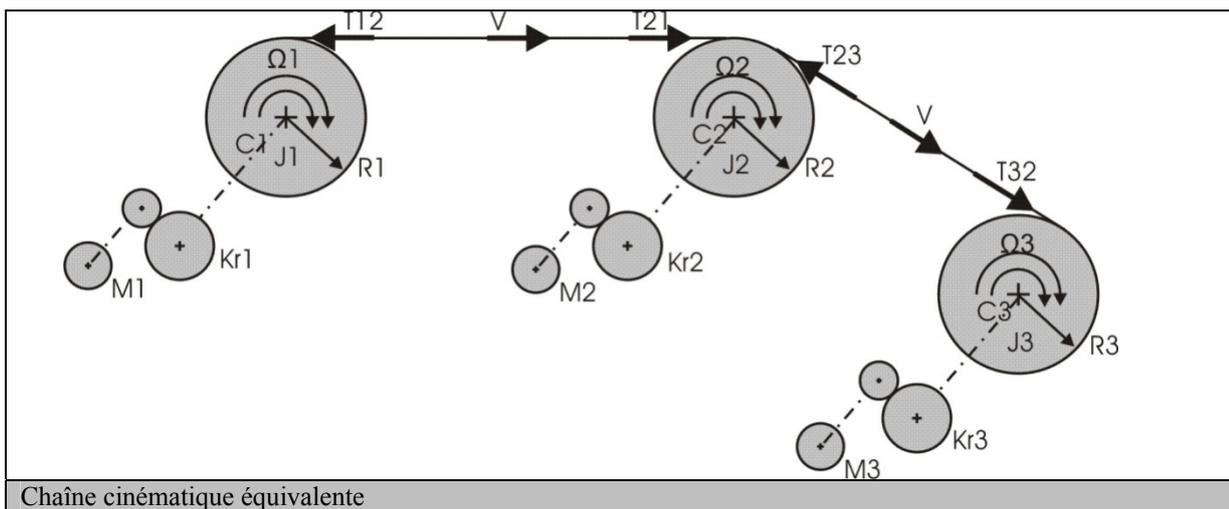
Modèle mathématique de comportement du système :

Hypothèse : les moments d'inertie des moteurs sont négligés et leur rendement est de 1

L. Equations fondamentales :

M. A partir du dessin suivant définissant les grandeurs mécaniques utiles, établir les équations des couples C_{mi} et vitesses Ω_{mi} fournis par les moteurs

- o de la dérouleuse : M1
- o des rouleaux d'appui : M2
- o d'une enrouleuse équivalente à l'ensemble des 11 enrouleuses : M3



dérouleuse	Rouleaux d'appui	Enrouleuse équivalente aux 11 enrouleuses
<p>T21 : traction exercée sur la bobine par la tension de feuille au déroulage</p> <p>$\Omega 1$: vitesse de rotation de la bobine</p>	<p>T12 : traction exercée sur le rouleau par la tension de feuille au déroulage</p> <p>$\Omega 2$: vitesse de rotation du rouleau d'appui</p>	<p>T23 : tension exercée sur la bobine par la tension à l'enroulage</p> <p>$\Omega 3$: vitesse de rotation de la bobine à l'enroulage</p>

<p>au déroulage</p> <p>C1 : couple utile produit sur la bobine par le moteur</p> <p>J1 : moment d'inertie de la bobine</p> <p>R1 : rayon de la bobine</p> <p>Kr1 : rapport de réduction : vitesse de l'arbre de sortie (côté bobine) sur vitesse de l'arbre d'entrée (côté moteur)</p> <p>Cm1 : couple utile du moteur</p> <p>Ω_{m1} : vitesse de rotation du moteur</p>	<p>C2 : couple utile produit sur le rouleau d'appui par le moteur</p> <p>J2 : moment d'inertie équivalent des rouleaux d'appui</p> <p>R2 : rayon du rouleau d'appui central</p> <p>Kr2 : rapport de réduction du rouleau central</p> <p>vitesse de l'arbre de sortie (côté rouleau) sur vitesse de l'arbre d'entrée (côté moteur)</p> <p>Cm2 : couple utile du moteur</p> <p>Ω_{m2} : vitesse de rotation du moteur</p>	<p>C3 : couple utile produit sur la bobine par le moteur</p> <p>J3 : moment d'inertie équivalent de la bobine équivalente</p> <p>R3 : rayon de la bobine équivalente</p> <p>Kr3 : rapport de réduction : vitesse de l'arbre de sortie (côté bobine) sur vitesse de l'arbre d'entrée (côté moteur)</p> <p>Cm3 : couple utile du moteur équivalent aux 17 moteurs des enrouleuses</p> <p>Ω_{m3} : vitesse de rotation du moteur équivalent</p>
dérouleuse	$C_{m1} = Kr1 * (-R1 * T_{21}) + J1 * (Kr1)^2 * \frac{d\Omega_{m1}}{dt}$ $\Omega_{m1} = \frac{V}{R1} * \frac{1}{Kr1}$	
Rouleaux d'appui	$C_{m2} = Kr2 * R2 * (T_{12} - T_{32}) + J2 * (Kr2)^2 * \frac{d\Omega_{m2}}{dt}$ $\Omega_{m2} = \frac{V}{R2} * \frac{1}{Kr2}$	
enrouleuse	$C_{m3} = Kr3 * (R3 * T_{23}) + J3 * (Kr3)^2 * \frac{d\Omega_{m3}}{dt}$ $\Omega_{m3} = \frac{V}{R3} * \frac{1}{Kr3}$	

C-1-2. Etude mécanique de la dérouleuse

C-1-2-1. Premier cas de fonctionnement

la vitesse de défilement V est constante : V= 1500m/min

la tension de feuille au déroulage Td est constante : Td=3000N

N. Questions

C-1-2-1-1. Montrer que la puissance Pu fournie à la bobine reste constante quelque soit la vitesse de rotation de ce moteur

Calculer sa valeur

$$P_u = T_d * V = -3000 * \frac{1500}{60} = -75000 \text{ W,}$$

cette puissance est négative car il s'agit de brin tendu

C-1-2-1-2. le rayon de la bobine R1 varie en fonction du temps,

R1= f(t) peut se mettre sous la forme $R1 = \sqrt{a - b * t}$

Exprimer

a en fonction de Dext (diamètre extérieur de la bobine mère)

b en fonction de e (épaisseur du papier) et V (vitesse de défilement)

La feuille de papier déroulée d'une longueur L et d'épaisseur e a une section en forme de rectangle de surface L*e

Enroulée, cette section représentait la surface d'un anneau de rayon intérieur Rb et de rayon extérieur Rext donc une surface de

$$\pi * \left(\frac{D_{ext}}{2}\right)^2 - \pi * R1^2, \text{ ces deux surfaces sont égales}$$

$$d'où \pi * \left(\frac{D_{ext}}{2}\right)^2 - \pi * R_1^2 = L * s$$

La longueur déroulée s'exprime en fonction de la vitesse de défilement linéaire $L = V * t$

$$D'où \pi * \left(\frac{D_{ext}}{2}\right)^2 - \pi * R_1^2 = V * t * s$$

$$R_1 = \sqrt{\left(2,675/2\right)^2 - \frac{70,10^{-6} * 1500/60 * t}{\pi}} = \sqrt{1,789 - 5,57 * 10^{-4} * t}$$

C-1-2-1-3. la vitesse de rotation de la bobine varie en fonction du temps

- établir la loi de variation de vitesse $\Omega_1 = f(t)$ en fonction de R1
- application numérique : on prendra $a = 1,789$ et $b = 5,57 * 10^{-4}$

$$\Omega_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{V}{\left(\sqrt{\left(\frac{D_{ext}}{2}\right)^2 - \frac{e * V * t}{\pi}}\right)}$$

$$\Omega_1 = \frac{V}{R_B} = \frac{25}{\sqrt{1,789 - 5,57 * 10^{-4} * t}} \text{ rad/s}$$

C-1-2-1-4. le couple résistant Cr1 produit par la bobine varie en fonction du temps

- établir la loi de variation de couple $Cr_1 = f(t)$
- application numérique

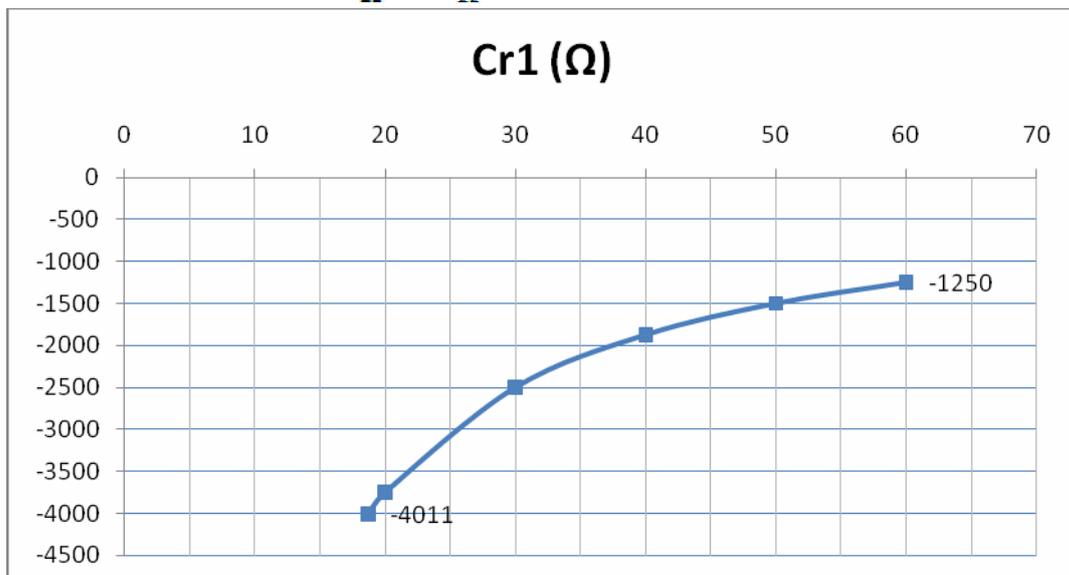
$$Cr_1 = T_d * R_1 = T_d * \sqrt{\left(\frac{D_{ext}}{2}\right)^2 - \frac{a * V * t}{\pi}}$$

$$Cr_1 = -3000 * \sqrt{1,789 - 5,57 * 10^{-4} * t} = \sqrt{1,61 * 10^7 - 5013 * t}$$

- tracer la caractéristique $Cr_1 = f(\Omega)$ dans le plan C(Ω)

$$Cr_1 = T_d * R_1, \quad \Omega = \frac{V}{R_B}$$

$$Cr_1 = \frac{T_d * V}{\Omega} = \frac{P_u}{\Omega}$$



- préciser dans quel quadrant de fonctionnement se trouve cette caractéristique
couple négatif et vitesse positive : quadrant 4

- en déduire les deux points extrêmes de fonctionnement A et B
- A t = 0 : bobine pleine : vitesse de rotation lente, couple élevé
- $\Omega_{1A} = \frac{V}{D_{ext}/2} = \frac{1500/60}{2,675/2} = 18,7 \text{ rad/s}$
- $C_{1A} = T_d * R_B = -3000 * 2,675/2 = -4012 \text{ Nm}$
- ce couple est un couple de freinage puisque la dérouleuse doit tendre le papier
- A la fin du bobinage : bobine vide : vitesse de rotation élevée, couple faible
- $\Omega_{1B} = \frac{V}{D_{int}/2} = \frac{1500/60}{0,834/2} = 59,95 \text{ rad/s}$
- $C_{1B} = T_d * D_{int}/2 = -3000 * 0,834/2 = -1251 \text{ Nm}$

C-1-2-1-5. Déterminer la plage de variation de vitesse utile de la dérouleuse (vitesse de rotation maxi de production / vitesse de rotation mini de production)
 plage utile de $60 / 18,7 = 3,2$

C-1-2-2. Deuxième cas de fonctionnement

la vitesse de défilement V varie (accélération et décélération constantes)
 la tension de feuille au déroulage Td est constante: Td=3000N

O. Questions

C-1-2-2-1. pendant l'accélération : $\frac{d\Omega_1}{dt}$ (en début de production)

- Déterminer le couple accélérateur Cacc
- le moment d'inertie de la bobine pleine est considéré comme constant puisque on admet que le diamètre change très peu pendant les phases de vitesse

$$\text{variable } J_b = M_B * \frac{(D_{ext}/2)^2 + (D_{int}/2)^2}{2} = 39,255 * 10^3 \text{ kg.m}^2$$

- le moment d'inertie du mandrin est $J_m = M_m * \frac{(D_{int}/2)^2}{2} = 0,808 * 10^3 \text{ kg.m}^2$
- le moment d'inertie totale est $J_m + J_b = J_1 = 40 * 10^3 \text{ kg.m}^2$

- l'accélération vaut $\frac{d\Omega_1}{dt} = \frac{\Omega_1 - 0}{2 * 60} = 18, \frac{7}{2 * 60} = 0,1558 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$
- d'où un couple accélérateur

$$C_{acc1} = J_1 * \frac{d\Omega_1}{dt} = 40 * 10^3 * 0,1558 = 6232 \text{ Nm}, \text{ ce couple est positif}$$

- Déterminer la puissance P_{acc} à fournir

$$P_{acc} = (C_{acc1} + C_{u1}) * \Omega_1 = (6232 - 4012) * 18,7 = 41,514 \text{ kW}$$

C-1-2-2-2. pendant le ralentissement : $\frac{d\Omega_1}{dt}$ (en fin de production)

- Déterminer le couple de ralentissement Cdec

- le moment d'inertie du mandrin est $J_m = M_m * \frac{(D_{int}/2)^2}{2} = 0,808 * 10^3 \text{ kg.m}^2$

- le moment d'inertie total est $J_m = 0,808 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^2$
- l'accélération vaut $\frac{d\Omega}{dt} = \frac{0 - \Omega}{2 \cdot 60} = \frac{-60}{2 \cdot 60} = -0,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$
- d'où un couple accélérateur

$$C_{\text{dec1}} = J_t \cdot \frac{d\Omega}{dt} = 0,808 \cdot 10^3 \cdot (-0,5) = -404 \text{ Nm}$$

- Déterminer la puissance maximale P_{tdec} à fournir.

$$P_{\text{tdec}} = (C_{\text{dec1}} + C_{\text{ul1}}) \cdot \Omega_2 = (-404 - 1251) \cdot 60 = -99,300 \text{ kW}$$

P. C-1-2-3. Durée du cycle

Hypothèse : le temps de préparation (manutention et configuration) opérateur est estimé à 20min par bobine

- Déterminer la durée totale du cycle (y compris le temps d'intervention des opérateurs)
- L'accélération de la bande est de $1500/60/120 = 0,208 \text{ m/s}^2$, pendant 2 min, le défilement

$$\text{de la bande est de } x = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,208 \cdot 120^2 = 1500 \text{ m}$$

- La même distance est parcourue pendant le ralentissement
- Il reste donc $75000\text{m} - 3000\text{m}$ à parcourir à vitesse constante 1500 m/min soit $72000 / 1500 = 48 \text{ min}$
- Au total : il faut $2 \text{ min} + 48 \text{ min} + 2 \text{ min} = 52 \text{ min}$
- (En négligeant les phases de vitesse variable, on trouve $75000/1500 = 50 \text{ min}$ soit 2 min d'erreur.)
- D'où un temps de traitement total de 72 min soit 1h10min

C-1-3. Comportement du moteur de la dérouleuse

Hypothèse : Le rapport de réduction K_{r1} et le rendement de la chaîne cinématique valent 1

C-1-3-1. Déterminer son couple utile nominal : C_{mun}

La puissance nominale du moteur de dérouleuse est 380 kW pour une vitesse nominale de 281 tr/min (29,42 rad/s)

$$\text{soit un couple nominal de } C_{mun} = \frac{P_n}{\Omega_n} = \frac{380000}{29,42} = 12914 \text{ Nm}$$

C-1-3-2. Déterminer le coefficient de survitesse K_Q de ce moteur dans cette application

Vitesse maxi : 60 rad/s, vitesse nominale : 29,42 coefficient : $K_Q = 2,03$

C-1-3-3. Quelle solution technologique utilise-t-on pour atteindre cette vitesse ?

Pour atteindre la vitesse de 60 rad/s, il faut désexciter le moteur
il faut donc que l'inducteur soit alimenté sous tension variable par un pont à thyristor 1quadrant piloté en régulation de flux
pour que le moteur puisse fournir sa puissance nominale, il faut que le modulateur alimentant l'induit lui fournisse la tension nominale.

C-1-3-4. Quel est alors le couple maximum $C_{mu_{max}}$ que peut développer le moteur ?

ce procédé permet d'atteindre jusqu'à 3 fois la vitesse nominale à condition que le couple développé ne dépasse pas la valeur P_n/Ω_2

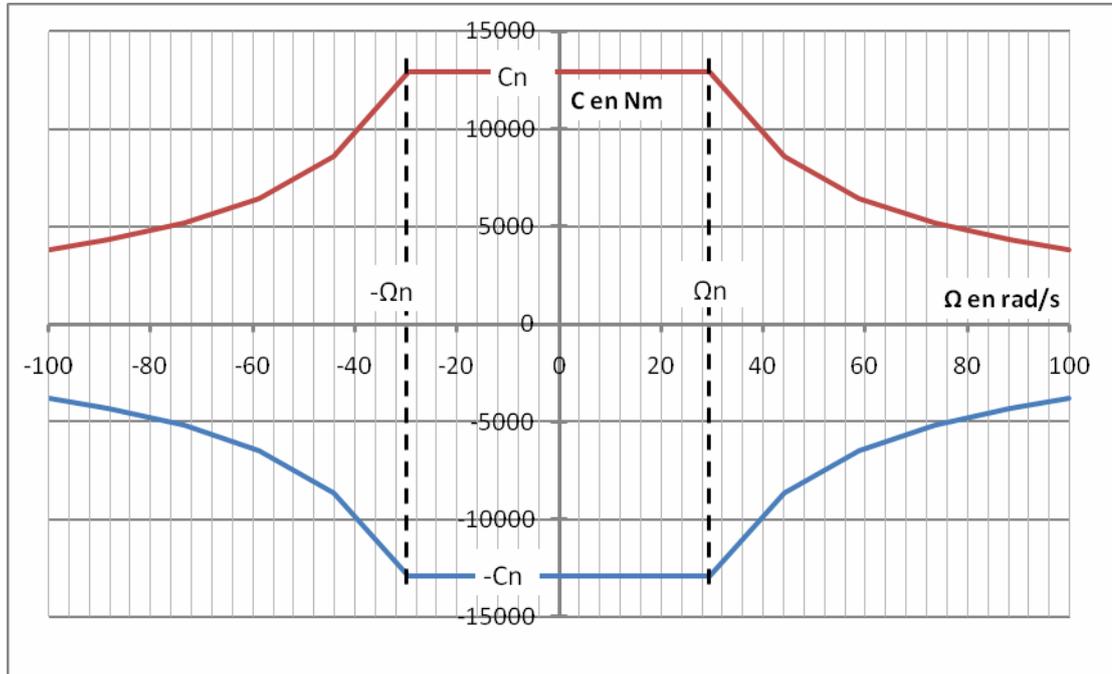
$$\text{soit ici } C_{mu_{max}} = \frac{380000}{60} = 6333 \text{ Nm}$$

ce qui est le cas ici car $|C_2| = 404+1251=1655Nm$

C-1-3-5. Le moteur peut-il encore absorber son intensité nominale sans dommage? Justifier la réponse

Oui car I_n ne change pas (possibilité d'échauffement du moteur), par contre le couple utile sera plus petit ($K_t\Phi$ change à cause du flux qui diminue)

C-1-3-6. Tracer dans le plan $C(\Omega)$, la zone de fonctionnement possible du moteur, limitée par le couple maximum $C_{mu_{max}}$ que peut fournir le moteur en fonction de la vitesse de rotation (survitesse limitée à $3,4 N_n$)



C-1-3-7. En cas de casse papier se produisant au début du cycle ($V=1500m/min$ et la bobine située sur la dérouleuse est pleine), le moteur freine grâce à la limitation de courant réglée à I_n

- déterminer la durée que mettra la dérouleuse pour s'arrêter.

le courant limite est le courant nominal $I_n=930A$, le moteur n'est pas désexcité donc le couple utile de ralentissement est $-12914Nm$,

$$C_{fr} = J * \frac{d\Omega}{dt} \quad \text{d'où } dt = \frac{J * (\Omega - \Omega_n)}{C_{fr}} = \frac{40000 * (-10,7)}{-12914} = 58s$$

C-1-4. Etude du pilotage des moteurs de la bobineuse

Le pilotage est réalisé par l'ensemble automate + variateurs de vitesse:

- o chaque variateur assure la régulation de vitesse ou de couple du (ou des) moteur(s) associé(s)
- o l'automate élabore les informations qui serviront de consignes aux variateurs

C-1-4-1. Calibration et réglage des régulateurs de vitesse

- calibration

l'opération consiste à fixer les facteurs d'échelle (F) pour que les signaux d'entrées et de sortie soient exprimés en grandeurs physiques directes alors que les grandeurs traitées par le régulateur s'exprime en nombre de points (échelle de -10000 à +10000)

Les caractéristiques des moteurs de la bobineuse et le schéma fonctionnel du variateur sont donnés DTC tableau 2 et figures 7-1 et 7-2.

C-1-4-1-1. Déterminer les coefficients de mise à l'échelle :

- K_{cn} (2 décimales) ;

- Kmn (4 décimales) ;
- Ktn (100% de demande correspond au couple nominal du moteur, 4 décimales).

C-1-4-1-2. Détailler les calculs pour la dérouleuse puis remplir le tableau du document réponse DR8.

Kcn : la vitesse maxi de consigne est de $N_n * 3,4 = 281 * 3,4 = 955,4$ tr/min correspond à 10000 de consigne soit un coefficient $K_{cn} = 10000 / (955,4 * \pi / 30) = 99,95$
 Kmn : le codeur fournit 1000 pts/tour à une vitesse de $955,4 / 60 = 15,923$ tr/s soit 15923 impuls/s 10000 de mesure représente 15923 impuls/s soit un coefficient $K_{mn} = 10000 / 15923 = 0,628$
 Ktn : le couple nominal du moteur est $P_n / \Omega_n = 380000 / (\pi * 281 / 30) = 12914$ Nm soit un coefficient de $12914 / 10000 = 1,2914$

	Kcn	Kmn	Ktn
Dérouleuse	99,95	0,6280	1,2914
Rouleaux d'appui	57,87	0,0976	0,6945
Enrouleuse MCC	31,84	0,2000	0,00477
Enrouleuse MAS	31,84	0,2000	0,01146
Couteaux	31,84	XXXXXXX	0,00047

- Paramétrage :

les valeurs fournies par l'automate au variateur dépendent du fonctionnement que l'on souhaite réaliser

C-1-4-1-3. Compléter les tableaux du document réponse DR9 en précisant les valeurs de consignes fournies au variateur par l'API dans les quatre cas de fonctionnement de la dérouleuse.

fonctionnement de la dérouleuse en moteur à vitesse régulée 30 rad/s

paramètre	valeur	commentaire
Consigne couple de freinage	X	
Consigne supplémentaire 1	0	
Consigne vitesse de rotation	30	Consigne de vitesse
Consigne supplémentaire 2	0	
Commande freinage	0	

fonctionnement en régulation de couple à - 5000Nm quelque soit la vitesse de déroulage imposée (fonctionnement en génératrice)

paramètre	valeur	commentaire
Consigne couple de freinage	X	
Consigne supplémentaire 1	0	
Consigne vitesse de rotation	-100 rad/s	La consigne doit être négative pour demander un fonctionnement en freinage, la vitesse réelle étant positive, l'ampli vitesse est saturé et demande une consigne de couple maximum soit -12914Nm
Consigne supplémentaire 2	- 5000	Le sélecteur choisit la plus grande valeur entre -5000 et -12914 donc -5000
Commande freinage	0	

fonctionnement en régulation de vitesse à 30 rad/s avec un couple antagoniste de 5000N à compenser

paramètre	valeur	commentaire
Consigne couple de freinage	X	
Consigne supplémentaire 1	5000	La consigne globale de couple est égale à la valeur du couple antagoniste à fournir à laquelle vient s'ajouter la demande de couple issue du régulateur de vitesse. Ce fonctionnement permet au régulateur de vitesse de fonctionner sur un plus petit écart de vitesse avec un

		gain bien plus élevé donc apporter plus de précision à la régulation
Consigne vitesse de rotation	30	La vitesse mesurée étant proche de la consigne, le signal de sortie du régulateur de vitesse est stable à une valeur faible
Consigne supplémentaire 2	0	
Commande freinage	0	

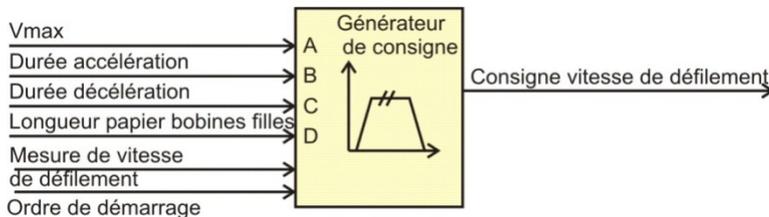
fonctionnement en freinage d'urgence sur casse papier

paramètre	valeur	commentaire
Consigne couple de freinage	-12914	Le couple de freinage est maximum, en pratique cette valeur peut être asservie à la valeur de la vitesse
Consigne supplémentaire 1	X	
Consigne vitesse de rotation	0	Consigne de vitesse nulle
Consigne supplémentaire 2	X	
Commande freinage	1	Commande de freinage active jusqu'à ce que la vitesse soit nulle

C-1-4-2. Calcul et élaboration de signaux de consignes par l'automate

Elaboration de la loi de vitesse de défilement

Un bloc de calcul élabore le signal (hors étude)



Elaboration des consignes de vitesse à envoyer aux variateurs

A partir de la consigne de vitesse de défilement, l'automate élabore les grandeurs physiques à envoyer à tous les variateurs

C-1-4-2-1. Effet de l'inertie de la bobine sur la tension de feuille :

le moteur M1 (dérouleuse) fonctionne en régulation de couple : il impose un couple C_{m1} constant

le moteur M2 (rouleau d'appui) fonctionne en régulation de vitesse : il impose la vitesse de défilement V :

- Exprimer la tension de feuille T_{21} en fonction de C_{m1} , J_1 , K_{r1} , R_1

$$T_{21} = \frac{1}{R_1 * K_{r1}} * \left(-C_{m1} + J_1 * (K_{r1})^2 * \frac{d\Omega_{m1}}{dt} \right)$$

- En déduire l'influence du moment d'inertie sur la tension de feuille quand la vitesse de défilement V est constante

$$T_{21} = \frac{1}{R_1 * K_{r1}} * (-C_{m1}) = -\frac{1}{R_1 * K_{r1}} * C_{m1} = \text{constante}$$

- puis quand elle varie

$$T_{21} = \frac{1}{R_1 * K_{r1}} * \left(-C_{m1} + J_1 * (K_{r1})^2 * \frac{d\Omega_{m1}}{dt} \right) \text{ n'est pas constante donc la tension}$$

de feuille n'est pas constante

- Proposer une solution pour que la tension de feuille ne soit pas influencée par la vitesse variable
- Pour supprimer ce supplément de tension de feuille, il faut que le moteur 1 fournisse le couple accélérateur de la bobine
- $C_{accm1} = J_1 * (Kr_1)^2 * \frac{d\Omega_{m1}}{dt}$
- Pour ceci, on ajoute au signal de consigne de couple du moteur M1, un signal sur la consigne supplémentaire 1 proportionnel au couple inertiel équivalent, ce qui produit un surcroît de consigne de couple qui tend à produire l'accélération nécessaire
- Cela revient à supprimer les effets de l'inertie donc plus d'erreur de tension de bande : amélioration de la qualité de production
- Calcul du moment d'inertie de la bobine de la dérouleuse JB
Donner l'expression littérale de ce moment d'inertie en fonction des données de la bobine mère

$$J_1 = \frac{M_1 * D_1^2}{2} + \frac{\pi * d * L_1 * ((2 * R_1)^4 - D_1^4)}{32}$$

- Le rayon R_B de la bobine mère varie en cours de déroulage
Il ne peut être mesuré directement, il est calculé à partir de
 - la vitesse de défilement réelle V
 - la vitesse de rotation du **moteur** de la dérouleuse Ω_{m1}
- V est déduite de la vitesse angulaire Ω_{m2} du **moteur** du rouleau d'appui central, donnée par codeur
- Ω_{m1} est donnée par le codeur:
Exprimer la valeur de R1 en fonction de Ω_{m2} , Ω_{m1} , D2 (diamètre du rouleau d'appui central), Kr_1 et Kr_2

$$R_1 = \frac{D_2}{2} * \frac{Kr_2}{Kr_1} * \frac{\Omega_{m2}}{\Omega_{m1}}$$

En pratique : codeur rouleau d'appui et codeur dérouleuse: 1000 points par tour

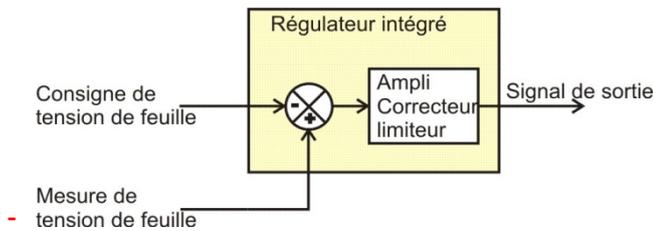
$$R_1 = \frac{700}{2} * \frac{0,994}{1} * \frac{\Omega_{m2}}{\Omega_{m1}} = 316,4 * \frac{\Omega_{m2}}{\Omega_{m1}}$$

Cette valeur n'est pas initialisée, il faut attendre que la dérouleuse tourne pour avoir une mesure exacte. Ce qui ne pose pas de problème car la bobineuse démarre à vitesse lente

C-1-4-2-2. Régulation de tension de feuille :

Ce régulateur (programmé dans l'API) compare la mesure de tension de feuille à la consigne

- Préciser et justifier le type d'action (P, PI, PID, PD) que doit avoir ce régulateur et déterminer son sens d'action (direct ou inverse)
- Pour avoir une erreur nulle, il faut une action PI
- Si l'erreur est positive, il faut produire un couple négatif, si la mesure de tension de feuille diminue, il faut diminuer la vitesse de la dérouleuse : action inverse



- Comment faire en sorte que ce régulateur contrôle le fonctionnement de la dérouleuse ?

Le signal de sortie de ce régulateur est appliqué sur l'entrée Ccs2 du variateur
 Ce signal est négatif puisque le couple est un couple de freinage
 Le sélecteur est MAX, donc le signal de sortie de la boucle de vitesse doit être plus négatif pour ne pas être pris en compte : il faut donc simultanément appliquer une consigne de vitesse très négative pour saturer la boucle de vitesse

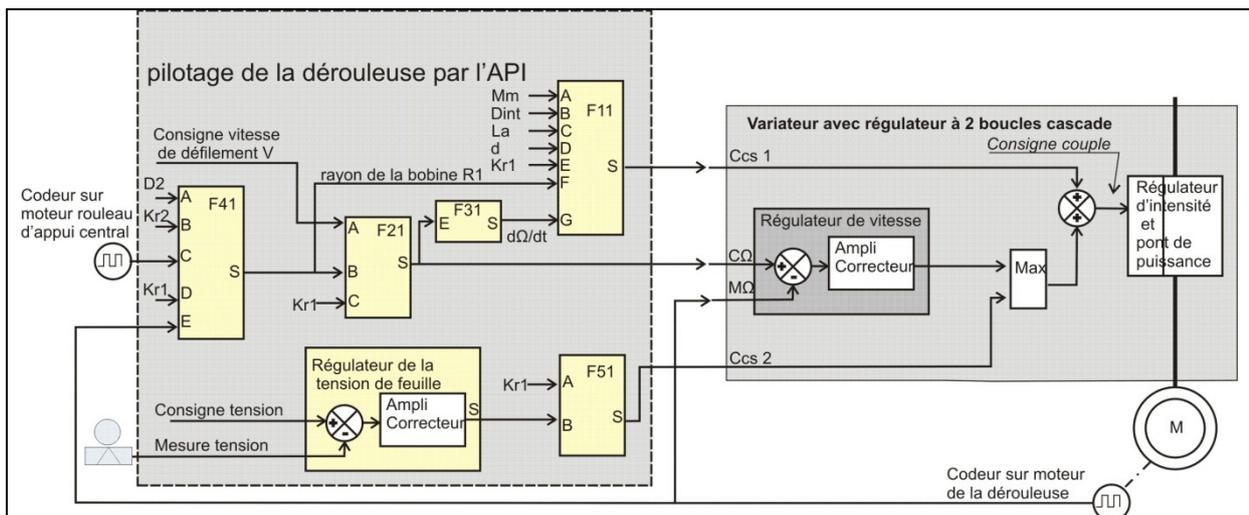
C-1-4-3. Pilotage des moteurs par chaque variateur

A partir des équations issues du modèle de comportement (§1.3.2.1 et §1.1) et des indications données dans le document ressource DTC (fig 7-2 et 8)

C-1-4-3-1. Régulation de vitesse de la dérouleuse

Q. Présentation du schéma fonctionnel : le schéma se décompose en deux parties :

- Le variateur représenté sur la partie droite
- La partie élaboration des signaux de commande par l'API (à gauche)



F11 : bloc de calcul de la compensation d'inertie
 F21 : bloc de calcul convertit la consigne de vitesse de défilement en consigne de vitesse de rotation
 F31 : bloc de calcul de la dérivée de la consigne de vitesse de rotation
 F41 : bloc de calcul du rayon de la bobine
 F51 : bloc de calcul tient compte du rapport de réduction de la chaîne cinématique
 Régulateur de tension de feuille : la sortie de ce régulateur est une demande de couple à fournir à la bobine
 Schéma de commande de la dérouleuse

- la consigne de vitesse de rotation tient compte
 - de la consigne de vitesse de défilement
 - du rayon de la bobine mère R1 (variable)
- une compensation d'inertie est prévue, elle dépend
 - de la masse et du diamètre du mandrin
 - de rapport de réduction Kr1
 - de la largeur de la bobine
 - de la densité de papier
- un codeur est fixé sur le moteur

- la consigne de tension de feuille est fixée par l'API

-Donner les équations réalisées par les blocs de calcul F11, F21, F31, F41, F51 ci dessus

- F11:
$$S = \frac{1^2}{E^2} * \left(\frac{A * B^2}{8} + \frac{\pi * D * C * ((2 * F)^4 - B^4)}{32} \right) * G$$

- F21:
$$S = \frac{A}{B * C}$$

- F31:
$$s = \frac{dE}{dt}$$

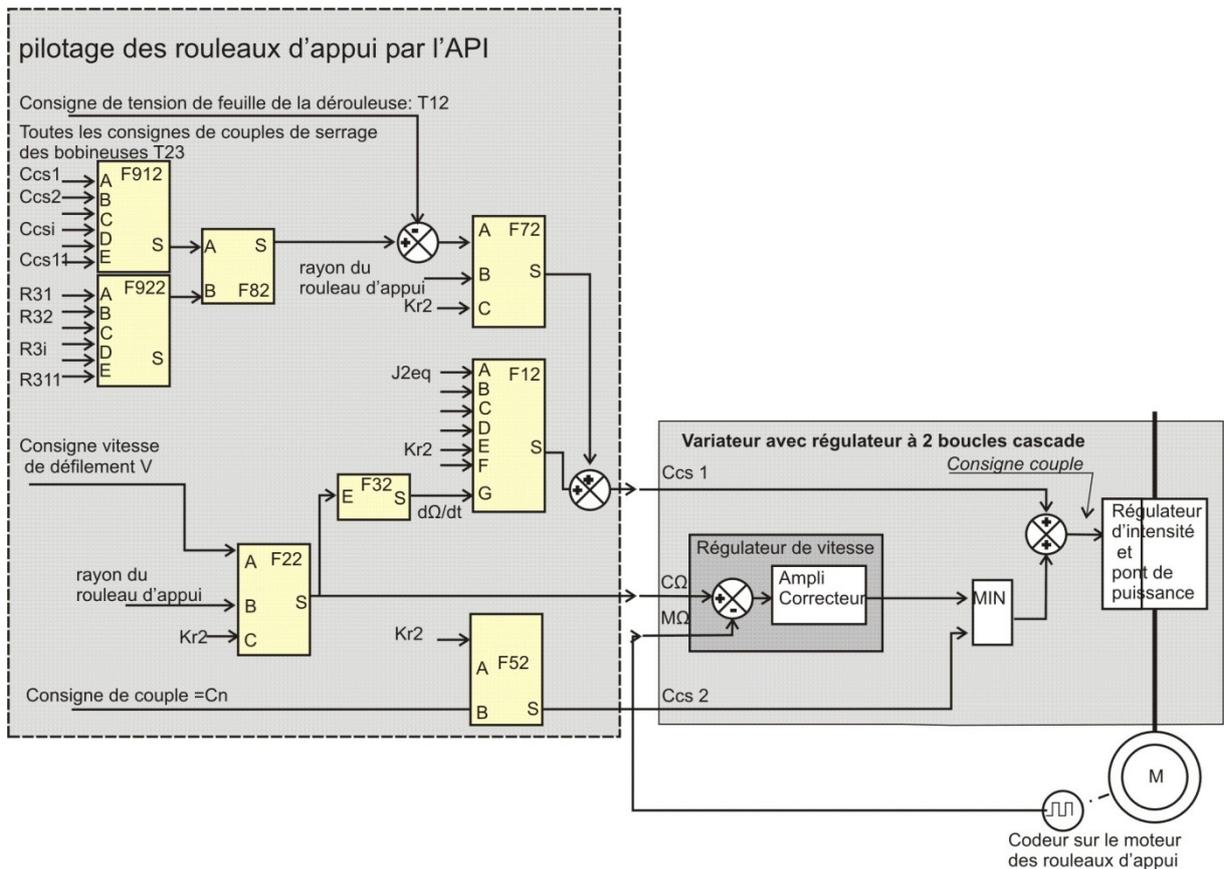
- F41:
$$S = \frac{A * B * C}{2 * D * E}$$

- F51:
$$S = B * A$$

C-1-4-3-2. Régulation de vitesse des rouleaux d'appuis

- la consigne de vitesse de rotation tient compte
 - de la consigne de défilement
 - du diamètre du rouleau d'appui central (paramètre)
 - du rapport de réduction kr_2 (paramètre)
- une compensation d'inertie est à prévue
- la consigne de couple tient compte directement du couple résiduel de traction (différence de traction entre la dérouleuse d'un côté et l'ensemble des enrouleuses de l'autre côté)
- un codeur est fixé sur le rouleau d'appui central

Etablir sur les documents réponses DR10 le schéma fonctionnel (en vous inspirant du schéma de pilotage de la dérouleuse) et détailler l'équation programmée dans les différents blocs de calcul



F52 : $S = B \cdot A$

F72 : $S = \frac{A}{B \cdot C}$: calcul de couple résiduel appliqué sur le rouleau par la tension de feuille

F12 : $S = E \cdot A \cdot G$

F22 : $S = \frac{A}{B \cdot C} \cdot \frac{dE}{dt}$

F32 : $S = \frac{A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K}{1}$

F922 : $S = \frac{1}{1}$: calcul du rayon moyen de l'ensemble des bobines filles

F912 : $S = A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K$: calcul de la somme des couples produits sur toutes les bobines filles

F82 : $S = B \cdot A$

C-1-4-3-3. Le moment d'inertie des rouleaux d'appui est constant, la valeur de ce moment d'inertie doit être déterminé préalablement par un essai, proposer un essai permettant grâce au variateur de vitesse de mesurer ce moment d'inertie.

Cet essai se fait avant de placer une feuille de papier : on impose une consigne de vitesse de 20m/min et une consigne de couple faible sur l'entrée Ccs2, on enregistre la vitesse mesurée Ω_m et la consigne de couple Ccs2

$$\frac{d\Omega_m}{dt} = \frac{Ccs}{J2eq}$$

La vitesse va croître avec une accélération jusqu'à ce que la vitesse soit égale à 20m/min, alors c'est le régulateur de vitesse qui prend le pilotage du variateur de vitesse, on mesure alors la valeur de la consigne de couple : celui-ci correspond au couple de pertes à fournir en régime permanent à cette vitesse : Cr0

On connaît donc

$$J_{2eq} = \frac{C_{cs2} - C_{r0}}{\frac{d\Omega}{dt}}$$

C-1-5. Etude de l'automatisme séquentiel de la dérouleuse

C-1-5-1. Analyse détaillée de la macro étape de 6 du Grafcet :

Les variateurs de vitesse peuvent fonctionner suivant deux modes :

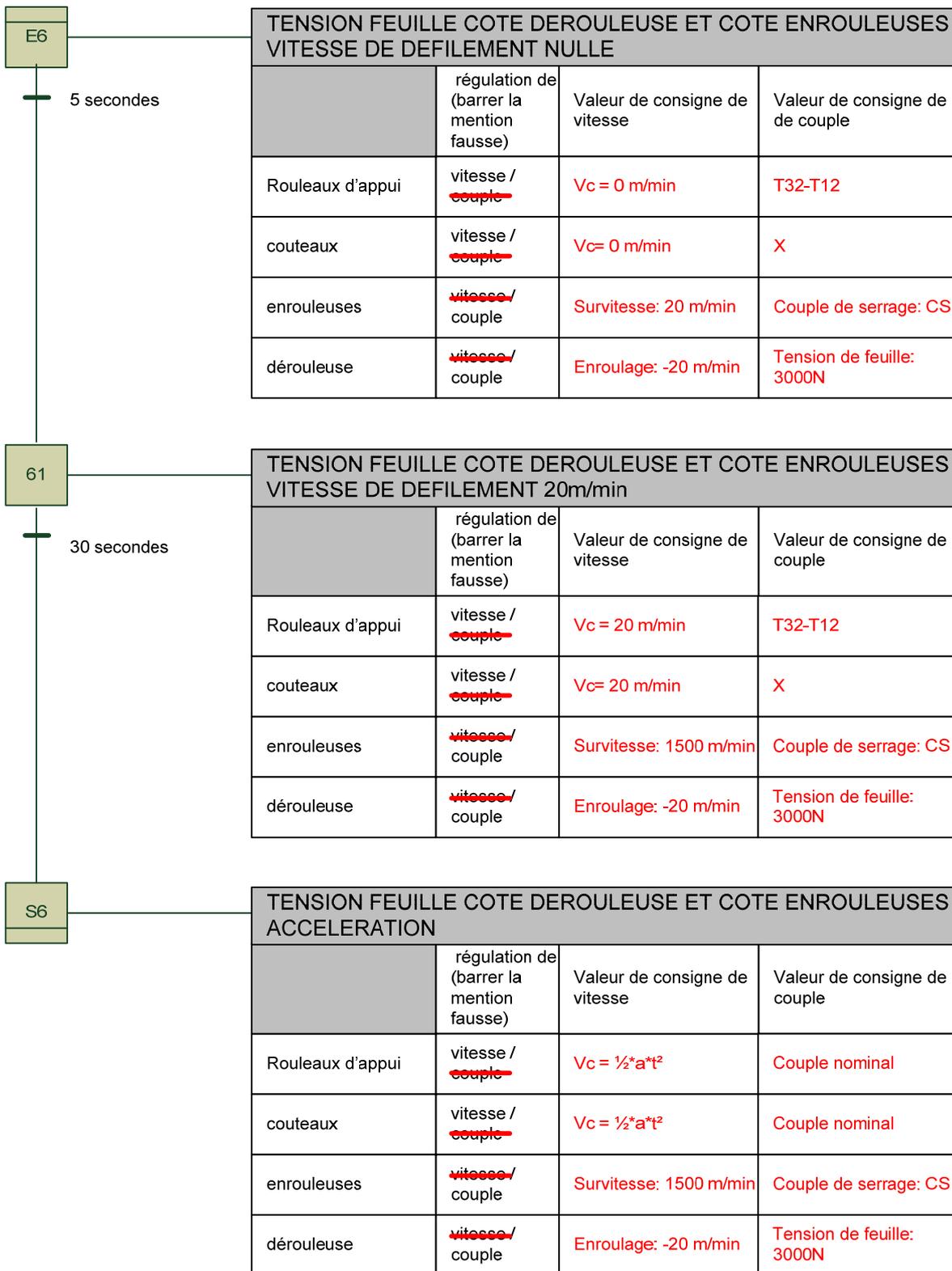
- « régulation de couple » grâce au sélecteur MIN/MAX
dans ce cas, il faut s'assurer que la consigne de vitesse est telle que le régulateur de vitesse fournisse un signal de sortie adéquat

- « régulation de vitesse » grâce au sélecteur MIN/MAX
dans ce cas, il faut s'assurer que la consigne de couple est telle que le sélecteur prenne en compte le signal de sortie du régulateur de vitesse

- à partir du Grafcet (voir DTC fig 4), des enregistrements (voir DTC fig 9) et du principe de fonctionnement de la bobineuse, détailler dans le document réponse DR7 les différents modes de fonctionnement et les consignes appliquées aux variateurs de vitesse pour les 3 étapes E6,61 et S6.

Remarque : les consignes sont

- soit une vitesse linéaire
- soit une tension de feuille
- soit un couple de serrage

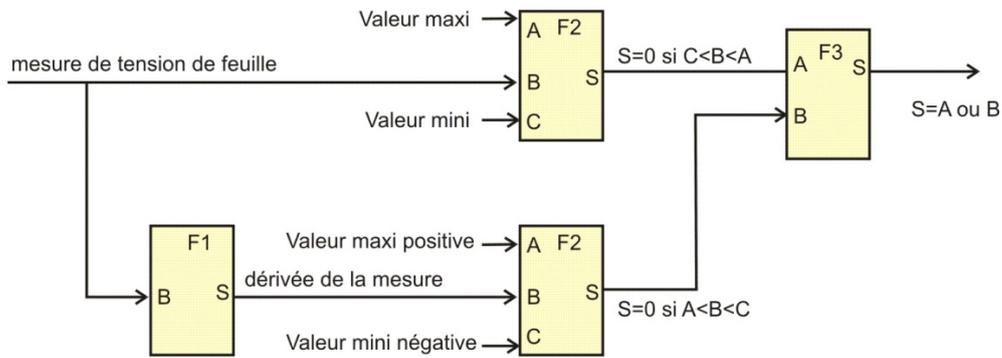


C-1-5-2. Analyse d'un cas de fonctionnement non décrit dans le Grafset :

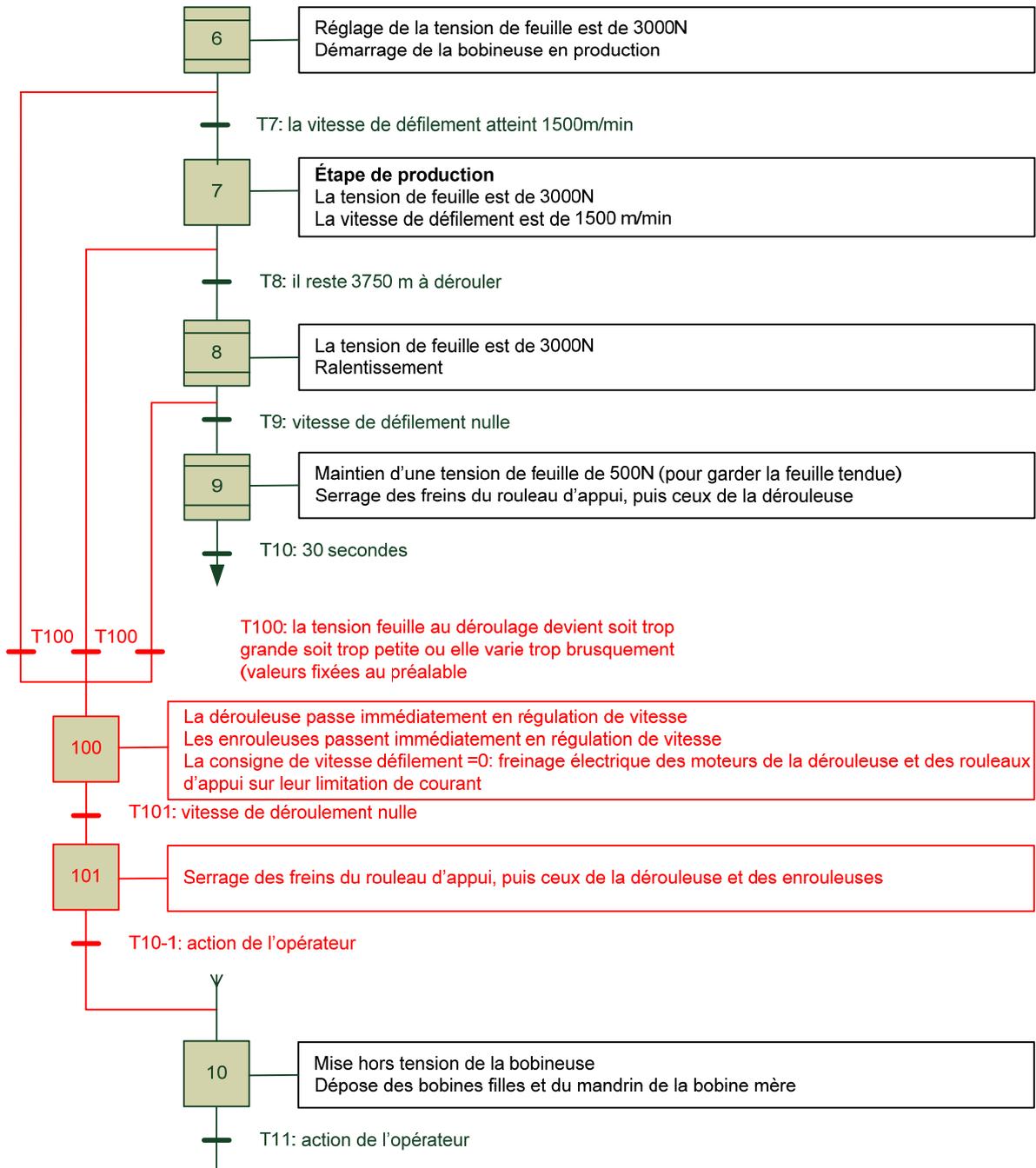
En cas de « casse papier » : l'automate gère séquentiellement ce défaut pour mettre à l'arrêt la bobineuse en limitant les pertes de production.

La casse papier se produit lorsque la tension feuille au déroulage devient soit trop grande soit trop petite ou lorsqu'elle varie trop brusquement (valeurs fixées au préalable)

C-1-5-2-1. Proposer un logigramme de détection de casse



C-1-5-2-2. Apporter sur le document réponse DR9 les modifications à prévoir dans le Grafcet pour gérer ce défaut, l'étude se limite au cas où la casse papier se produit pendant les étapes 6,7 et 8.



C-2. Analyse des solutions possibles pour augmenter la production de la bobineuse

Actuellement, il faut 72 min (dont 20 min d'intervention humaine) pour traiter une bobine quand la vitesse de défilement est de 1500m/min.

Pour absorber l'augmentation de production de la machine à papier, il a été décidé de traiter une bobine mère en 62 min.

Le temps d'intervention des opérateurs est incompressible

C-2-1. Quelle devra être la vitesse de défilement si on garde les temps d'accélération et de décélération identiques ?

La durée de cycle devient $62-20=42$ min, il faut gagner 10 min

Si on garde les mêmes temps d'accélération et de ralentissement, il faut passer à $42-4 = 38$ min de production à vitesse constante soit une vitesse de $1500 \cdot 48/38 = 1985$ m/min

C-2-2. quelles incidences aura cette augmentation de vitesse sur l'installation électrique ?

ceci se traduit par une augmentation de puissance d'environ $48/38$ soit 26% en plus
Il faut vérifier

- que tous les moteurs de la bobineuse et leurs variateurs supportent cette augmentation de vitesse sans dépasser leurs caractéristiques nominales
- que le transformateur alimentant la bobineuse soit capable de fournir cette puissance supplémentaire
- que les lignes d'alimentation soient bien dimensionnées

C-2-3. Le responsable de production choisit de produire à une vitesse de 1900 tr/min avec une tension de feuille de 3500N

Vérifier si le moteur de la dérouleuse convient encore

$$\Omega_1 = \frac{V}{R} = \frac{1900/60}{0,834/2} = 76 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La vitesse de rotation maxi du moteur devient

$$\Omega_2 = \frac{V}{R} = \frac{1900/60}{2,875/2} = 22 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La vitesse de rotation mini du moteur devient

$$\text{Le couple maxi } C_2 \text{ devient } C_2 = T \cdot R_2 = -3500 \cdot 2,875/2 = -4681 \text{ Nm}$$

$$\text{Le couple mini } C_1 \text{ devient } C_1 = T \cdot R_1 = -3500 \cdot 0,834/2 = -1460 \text{ Nm}$$

$$\text{La puissance devient } P = T \cdot V = -3500 \cdot \frac{1900}{60} = -111 \text{ kW}$$

A une vitesse de 76 rad/s, le moteur peut développer un couple de $C = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{380000}{76} = 5000 \text{ Nm}$,
ce qui convient, la tension de feuille ne devra pas dépasser 3740N

Le coefficient de survitesse est de $76/29,42=2,58$

Pendant l'accélération, le couple accélérateur devient $C_{acc}=6232 \cdot 1900/1500=7893 \text{ Nm}$

$C_{total}= 7893-4681=3212 \text{ Nm}$

Pendant la décélération, le couple décélérateur devient

$C_{dec} = -404 \cdot 1900/1500 = -512 \text{ Nm}$

$C_{total} = -512-1460 = -1972 \text{ Nm}$

Pas de problème, la solution convient.

Corrigé partie D: améliorer la fiabilité de la distribution électrique

D-1-Etude technologique de la distribution électrique

Après étude des paragraphes 2, 3, 4 et 5 du DTD

D-1-1. Définir le terme « **ONAN** » relatif aux transformateurs 09TR11 et 09TR12,

Le type de refroidissement ONAN indique que:

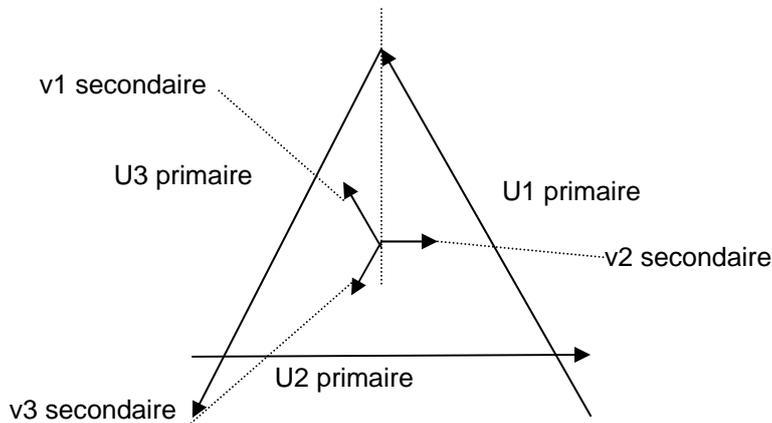
- le transformateur est immergé dans l'huile avec circulation naturelle de l'huile (oil)
- le refroidissement de la cuve se fait dans l'air en circulation naturelle.

D-1-2. Définir le terme « **DGPT2** »: préciser les fonctions de cet appareil,

Ces relais de protections assurent une fonction surveillance/coupure de l'alimentation des transformateurs immergés permettant de détecter les anomalies suivantes :

- * dégagement gazeux
 - pyrolyse du diélectrique
 - petits amorçages causés par des ruptures d'isolants
- * baisse importante du niveau de diélectrique
 - fuite
 - robinet de vidange/purge mal fermé
- * surpression de cuve
 - court-circuit franc dans le transformateur
- * élévation de la température du diélectrique à 2 niveaux (alarme et déclenchement)
 - défaut interne provoquant un échauffement des enroulements
 - dépassement de la puissance nominale
 - mauvaise ventilation du transformateur

D-1-3. Etablir le diagramme vectoriel des tensions primaires et secondaires relatif au couplage des transformateurs 09TR11 et 09TR12.

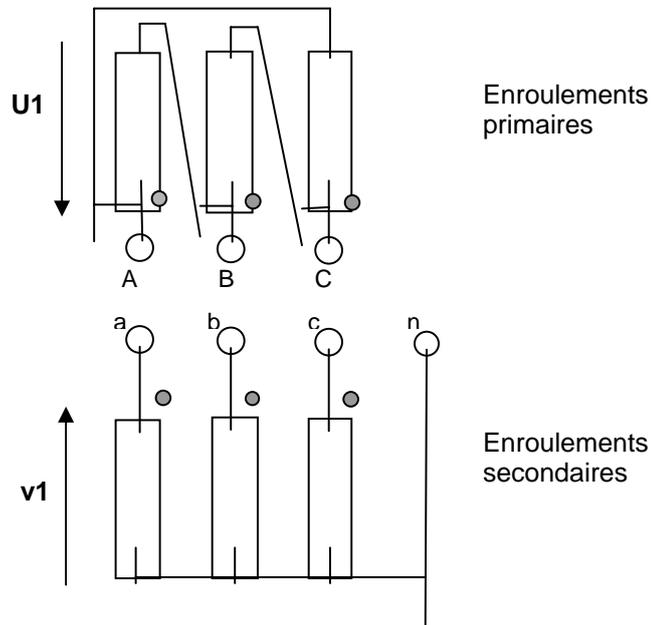


Signification de l'indice de couplage « Dyn11 » d'un transformateur

- * le système triphasé de tension élevée est en « triangle »
- * le système triphasé de tension basse est en « étoile » avec neutre sorti (indiqué par le « n »)
- * le déphasage entre les deux systèmes de tension de même nature est de 330°.

D-1-4. Faire un croquis illustrant les connexions des enroulements primaires et secondaires du transformateur 09TR11.

secondaires



D-1-5. Déterminer les réserves de puissance apparente des transformateurs 09TR11 et 09TR12 en l'état actuel de la production (avant modification de la vitesse de défilement du support papier).

Pour le transformateur 09TR11

Les départs de réserve ne sont pas pris en compte car ils se substituent aux départs moteurs en cas de défaut

CIRCUIT	Nombre de départs moteurs	Caractéristiques d'un moteur
A	8	350kW , $\eta=0,92$, $\cos\varphi=0,85$
B	4	500kW , $\eta=0,95$, $\cos\varphi=0,82$

Soit le bilan de puissance suivant:

Puissance utile moteurs	Puissance active	Puissance réactive	Puissance apparente
$8 \times 0,35 = 2,8$ MW	$2,8/0,92 = 3,04$ MW	$3,04 \times \tan\varphi = 1,88$ MVAR	
$4 \times 0,5 = 2$ MW	$2/0,95 = 2,11$ MW	$2,11 \times \tan\varphi = 1,47$ MVAR	
	$\Sigma Pa = 5,15$ MW	$\Sigma Q = 3,35$ MVAR	$Sa = 6,15$ MVA
	Ku = 0,8 Ks = 1		S = 0,8x1xSa S = 4,92 MVA

soit une réserve de puissance apparente de $8 - 4,92 = 3,08$ MVA (38,5%)

Remarque: ce résultat est une indication car, en toute rigueur, on ne soustrait pas les puissances apparentes dans un bilan de puissance.

Pour le transformateur 09TR12

Les départs de réserve ne sont pas pris en compte car ils se substituent aux départs moteurs en cas de défaut

CIRCUIT	Nombre de départs moteurs	Caractéristiques d'un moteur
F	1	Motorisation reconditionnement transport bobines 1600kVA
G	2	500kW , $\eta=0,95$, $\cos\phi=0,82$
H	2	400kW , $\eta=0,94$, $\cos\phi=0,80$
I	1	350kW , $\eta=0,92$, $\cos\phi=0,85$
J	1	630kW , $\eta=0,96$, $\cos\phi=0,85$
K	1	350kW , $\eta=0,92$, $\cos\phi=0,85$

Soit le bilan de puissance suivant:

Puissance utile moteurs	Puissance active	Puissance réactive	Puissance apparente
$2 \times 0,5 = 1 \text{ MW}$	$1/0,95 = 1,053 \text{ MW}$	$1,053 \times \tan\phi = 0,735 \text{ MVAR}$	
$2 \times 0,4 = 0,8 \text{ MW}$	$0,8/0,94 = 0,851 \text{ MW}$	$0,851 \times \tan\phi = 0,638 \text{ MVAR}$	
$2 \times 0,35 = 0,7 \text{ MW}$	$0,7/0,92 = 0,76 \text{ MW}$	$0,76 \times \tan\phi = 0,471 \text{ MVAR}$	
$1 \times 0,63 = 0,63 \text{ MW}$	$0,63/0,96 = 0,656 \text{ MW}$	$0,656 \times \tan\phi = 0,389 \text{ MVAR}$	
	$\Sigma Pa = 3,32 \text{ MW}$	$\Sigma Q = 2,23 \text{ MVAR}$	$Sa = 4 \text{ MVA}$
Ku = 0,8 Ks = 1			S = 0,8x1xSa S = 3,2 MVA

soit une réserve de puissance apparente de $6,3 - (3,2 + 1,6) = 1,5 \text{ MVA (23,8\%)}$

D-1-6. En déduire les réserves de puissance apparente des transformateurs 09TR11 et 09TR12 après modification de la vitesse de défilement du support papier, .

La modification ne concerne que le circuit des vides (transformateur 09TR11); le coefficient d'utilisation est porté à 0,85 ce qui donne les résultats suivants:

$$S = 0,85 \times 1 \times Sa$$

$$S = 5,23 \text{ MVA}$$

soit une réserve de puissance apparente de $8 - 5,23 = 2,77 \text{ MVA (34,6\%)}$

D-1-7. Pour assurer une continuité de service maximale, l'entreprise envisage une interconnexion des réseaux à chaque niveau de tension (45kV , 10,5kV , 3,15kV). En outre , le réseau HTA de la machine MP5 dispose d'un jeu de barres de secours issu du poste de raffinage :

A-2-3-7. Compléter le schéma du document réponse DR9 en représentant les interconnexions envisagées.

A-2-3-8. Placer sur le schéma les appareils de protection manquants.

Cf document réponse 9

2-Protection des personnes et des biens

Après étude des paragraphes 6 et 7 du DTD

2-1. Identifier le schéma des liaisons à la terre utilisé.

Schéma ITR:

- neutre impédant
- masses d'utilisation interconnectées et mises à la terre
- masses métalliques du poste « transformateur » à la terre
- 1 seule prise de terre commune au poste, à l'impédance du neutre et aux masses métalliques d'utilisation

NB: le schéma TNR possède la même configuration matérielle que le schéma ITR s'il comprend une résistance de limitation du courant de défaut

2-2. Justifier le choix de ce SLT.

2.1.1. meilleure continuité de service par l'autorisation de non-coupure au 1^{er} défaut

2.1.2. signalisation du 1^{er} défaut et recherche pour élimination tout en restant sous tension

2.1.3. déclenchement au 2^e défaut par les dispositifs de protection du matériel contre les surintensités

2-3. Quelles sont les conséquences d'un défaut d'isolement (phase-masse métallique) au primaire du transformateur 10,5/3,15kV?

Elévation simultanée des potentiels des masses du poste , du neutre et des masses d'utilisation mais il n'en résulte aucune différence de potentiel dans l'ensemble de l'installation et aucune mesure supplémentaire de protection n'est nécessaire.

2-4. Quelle est la disposition matérielle supplémentaire relative aux conducteurs PE mise en place lorsqu'on utilise ce SLT?

Des liaisons équipotentielles supplémentaires sont réalisées entre les masses des équipements simultanément accessibles

2-5. L'impédance Z reliant le neutre du secondaire à la terre vaut **95Ω** : vérifier la validité de ce choix.

Limitation du courant de défaut à 20A avec:

$$Z > U_0 / 20$$

U_0 tension simple secondaire

$$\text{AN: } Z > (3150/1,732)/20 = 91 \Omega$$

L'impédance Z de 95 Ω convient.

2-6. Proposer un dispositif de mesures permettant de détecter un défaut d'isolement: A-2-2-3. au niveau de la ligne d'alimentation générale

mesure du courant homopolaire par un tore de mesure autour du conducteur reliant le neutre à l'impédance Z

A-2-2-4. au niveau de chaque moteur HTA.

mesure du courant homopolaire par un tore de mesure autour des conducteurs du câble d'alimentation des départs moteurs.

2-7. Paramétrage des déclencheurs:

L'étude est limitée aux départs alimentés par le transformateur 09TR12

A-4-2 Compléter le document-réponse DR10 en indiquant la valeur des paramètres de réglage.

Cf document réponse 10

A-4-3 Vérifier la sélectivité des protections de l'installation.

2 critères à vérifier :

- **MAX I :**
Les réglages sont configurés de la même manière ; on se base sur les réglages du disjoncteur du moteur le plus puissant (D18) pour comparer avec ceux du disjoncteur du transformateur (DGTR12) :
MAX I (D18): 1288A pendant 0,1s avant déclenchement
MAX I (DGTR12): 8300A pendant 0,5s avant déclenchement.
La sélectivité est assurée

- **IO :**
Détection homopolaire du déclencheur des départs moteurs : 2A pendant 0,2s avant déclenchement
Détection homopolaire du déclencheur de la ligne du disjoncteur : 5A pendant 0,8s avant déclenchement.
La sélectivité est assurée.

2-8. Mise en réseau des déclencheurs:

- Etablir le schéma du réseau de communication permettant de mettre à disposition du réseau Ethernet de l'usine les informations d'état des disjoncteurs.

Mise en réseau

Liaison série Modbus en standard

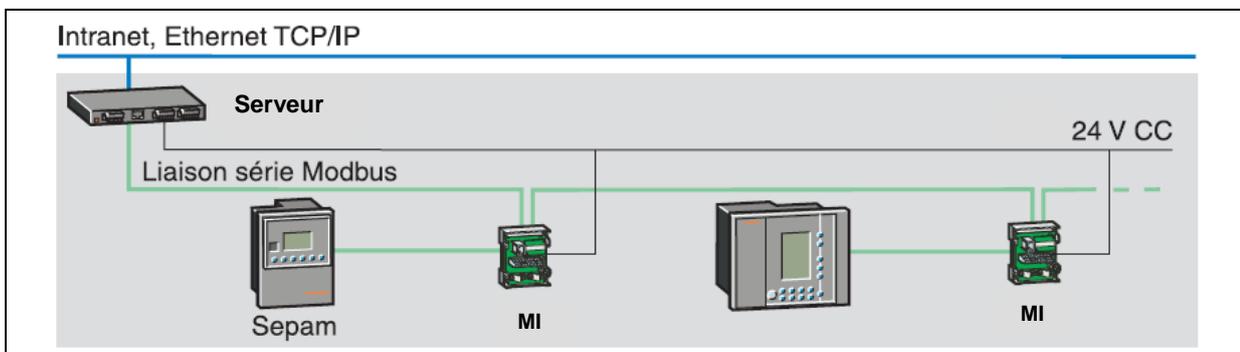
Module Interface RS 485 2 fils

Alimentation de tension continue 24V pour modules d'interface et serveur

Surveillance de produit

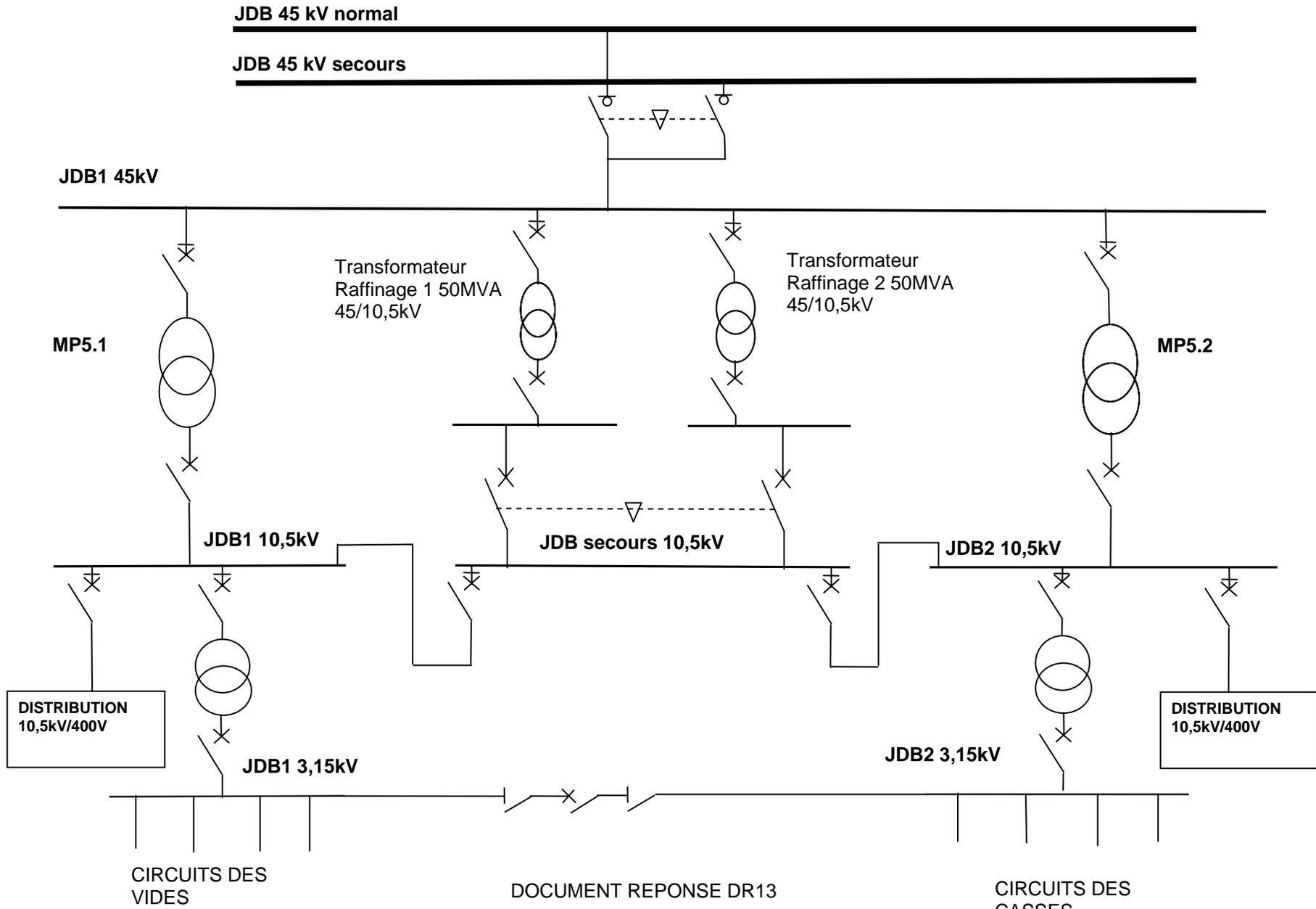
Sepam peut être connecté à un réseau Ethernet TCP/IP d'une manière totalement transparente via la liaison série Modbus connectée au serveur

Réalisation type



- En quoi cette mise en réseau améliore-t-elle la disponibilité de l'installation électrique?

- Acquisition des grandeurs caractéristiques des départs moteur (U,I,P) mesurées et surveillées par Sepam.
- Anticipation de dysfonctionnements (ex : basculement sur départ de réserve)
- Localisation rapide depuis les locaux techniques des dysfonctionnements et des départs en défaut.
- Possibilité de commande à distance depuis une supervision à images dynamiques.



Paramètres	M13		M15		M17		M18		M19	
	Réglage paramètre	Réglage retard								
I_N	0,78		0,65		0,55		0,94		0,55	
MAX I	1070A	0,1s	887A	0,1s	746A	0,1s	1288A	0,1s	746A	0,1s
I_{th}	147A	600s	122A	600s	103A	600s	177A	600s	103A	600s
RB	294A	3s	244A	3s	205A	3s	354A	3s	205A	3s
I₀	2A	0,2s								
DC1	35,3A	0,4s	29,3A	0,4s	24,6A	0,4s	42,4A	0,4s	24,6A	0,4s
DC2	17,6A	1s	14,6A	1s	12,3A	1s	21,2A	1s	12,3A	1s
MIN U	2205V	1s								

DOCUMENT REPONSE DR14

ÉTUDE D'UN SYSTÈME INDUSTRIEL

Option B : ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

COMMENTAIRES DU JURY

1. Constats :

1.1. Partie A

L'analyse du procédé (partie A1) a été traitée de façon assez satisfaisante par l'ensemble des candidats.

La partie principale A2 est nettement moins bien traitée que la précédente et 60% des candidats n'ont traité aucune des questions des parties A3 et A4.

En résumé, quasiment les 2/3 des candidats n'ont pas obtenu de résultats suffisants, ce qui montre que le fonctionnement global du process a peut être mal été compris.

La lecture et la compréhension des boucles d'asservissement ne sont pas maîtrisées dans leur ensemble (partie A2).

Les candidats ont des difficultés à conduire des calculs.

Les questions concernant la topologie du réseau Ethernet ainsi que les choix technologiques n'ont pas été abordées par la grande majorité des candidats (partie A4).

1.2. Partie B :

La partie B consistait en un bilan des énergies nécessaires à la fabrication de la pâte à papier et débouchant sur un bilan économique validant une solution technique de l'entreprise.

Les candidats ont en général peu abordé les différents points de cette partie ; le jury a néanmoins constaté un traitement relativement correct des questions étudiées.

Certaines questions ont apparemment dérouté les candidats par la simplicité des réponses attendues: il n'y a pas forcément de difficulté ou de complexité dans toutes les questions posées.

Le bilan « flux matières » a été traité par la majorité des candidats avec plus ou moins de bonheur : l'analyse du document ressource et le nombre de valeurs à reporter nécessitait une organisation efficace du travail.

La technologie de la machine asynchrone a été correctement abordée par les candidats ayant traité les questions ; cette partie a été trop souvent éludée, ce qui est dommage pour un électrotechnicien.

Les bilans enthalpique et économique ont été peu traités alors que les relations de base étaient pour la plupart données et qu'il n'y avait pas de difficulté majeure ; les candidats ayant composé l'ont cependant fait correctement en posant les bonnes hypothèses.

1.3. Partie C :

La partie C consistait en une modélisation du fonctionnement mécanique des bobineuses, entraînant un dimensionnement de la chaîne d'entraînement.

La première sous-partie (étude mécanique et comportement des moteurs) n'a été traitée que par un peu plus de 50% des candidats. Les résultats obtenus sont très décevants. Parmi les plus grosses lacunes rencontrées, on peut citer :

- La mauvaise maîtrise du principe fondamental de la dynamique sur des systèmes inertiels entraînés par réducteur ;
- L'incapacité de la quasi-totalité des candidats à établir la loi de déroulement, et à positionner la loi couple vitesse dans un quadrant générateur, particularité pourtant clairement suggérée dans l'énoncé ;
- La mauvaise maîtrise de la notion de couple accélérateur ou décélérateur ;
- La mauvaise maîtrise des critères de dimensionnement d'une MCC pilotée en survitesse par défluxage.

Les deuxième, troisième et quatrième sous-parties (étude du pilotage des moteurs, automatisme séquentiel et augmentation de la production) n'ont quasiment pas été traitées par une grande majorité des candidats ;

Le jury a remarqué (On peut remarquer) que pour les quelques candidats ayant traité ces parties, les résultats obtenus sont souvent satisfaisants. On peut néanmoins noter quelques lacunes relatives aux notions d'inertie, aux chaînes cinématiques comportant des inerties et des réducteurs et au formalisme de l'outil Grafcet.

1.4. Partie D :

La partie D traitait de la distribution d'énergie électrique dans le domaine HT-A. 25% des candidats n'ont pas du tout abordé cette partie.

Parmi les candidats ayant abordé cette partie, la moitié n'a répondu correctement qu'à 1/4 des questions.

Cette partie était liée au cœur de métier de la distribution d'énergie électrique, domaine dans lequel il semble indispensable qu'un professeur soit capable de mobiliser les connaissances de base.

La technologie des transformateurs de puissance (refroidissement et protection, couplage) est connue de la moitié des candidats. Les diagrammes vectoriels des tensions et le couplage ont été plutôt bien traités, on regrettera seulement un fréquent manque de rigueur dans les notations des grandeurs et le tracé des diagrammes, qui deviennent alors difficiles à interpréter.

Le bilan des puissances a été abordé avec des résultats disparates. Si 30% des copies donnent satisfaction, on rencontre bien souvent des additions de puissances faites sans discernement, les différents coefficients et facteurs de puissance étant mal employés.

Le schéma à compléter a été traité assez correctement par 1/3 des candidats. Le reste des copies fait apparaître des imprécisions graves quant au rôle des protections de surintensité et des organes de séparation. Certains schémas proposés aboutissent à des impossibilités de fonctionnement.

L'essentiel des connaissances sur les schémas de liaison à la terre est connu par les 2/3 des candidats, mais le principe de leur application en HT-A n'est maîtrisée que dans 1/4 des copies. La NFC 15-100 ne suffit pas à assurer les approvisionnements énergétiques, et une connaissance des grandes lignes des NFC 13-100 et 13-200 est indispensable à ce niveau.

Par ailleurs, la justification des choix de SLT et de distribution ne saurait se limiter à des principes purement généraux, la question « quelle est la valeur ajoutée par ce choix

dans le cadre du process de production ? » doit être posée comme dans toute démarche de choix technique raisonnée.

Les principes de réglage des déclencheurs sont assez bien connus, avec cependant dans plus de la moitié des copies des difficultés à exprimer clairement les critères de sélectivité des protections.

La mise en réseau des déclencheurs donne lieu à certaines réponses satisfaisantes de la part de candidats qui connaissent visiblement l'existence de solutions intégrées de distribution intelligente. De nombreuses autres copies font apparaître de réelles connaissances générales sur la mise en réseau, mais les enjeux de l'opération dans le cas considéré sont incomplètement ou pas du tout pris en compte, et les structures proposées sont alors mal justifiées voire inadaptées.

1.5. Partie E

Cette partie, à caractère pédagogique, a été peu traitée par les candidats, ce que le jury a regretté puisqu'il s'agit d'une agrégation interne.

Certains candidats ont confondu objectif de formation et problématique technique. L'objectif de formation doit délimiter précisément les savoirs à acquérir et les compétences à développer pendant la séance ou la séquence. Il est donc distinct des moyens pédagogiques et techniques mis en œuvre pour l'atteindre.

La problématique technique est le support de réflexion des étudiants dans un contexte technique concret ; elle permet de contextualiser les savoirs, de leur donner du sens. C'est un élément de la stratégie pédagogique, elle permet d'entraîner l'étudiant dans l'activité d'apprentissage.

La stratégie pédagogique consiste à

- positionner la séquence précisément dans la formation, identifier les prérequis et les acquis ultérieurs à la séquence afin d'en cerner le périmètre précis ;
- choisir les types d'activités (TP, TD, cours) en fonction de la pédagogie ou des pédagogies qui s'avèrent nécessaires (inductive, déductive) tout au long de la séquence ;
- définir la progressivité des activités, leur chronologie, leurs conditions de réalisation, l'organisation des matériels nécessaires, pour amener à comprendre et acquérir l'objectif de formation ;
- définir la durée de formation attribuée à cet objectif au regard de la difficulté des notions abordées, du niveau d'approfondissement visé et des prérequis des étudiants ;
- l'organisation des étudiants au fur et à mesure de la séquence, travail individuel, travail en groupe avec une même tâche ou des tâches distinctes collaboratives.

Les choix du candidat doivent être justifiés par leur expertise professionnelle.

La définition du support de formation nécessite de mettre en relation l'objectif de formation et une des caractéristiques de fonctionnement du support ou d'un sous-système précis, et les matériels associés, éventuellement.

Le jury a particulièrement apprécié les explications justificatives des candidats qui témoignaient d'une analyse réflexive de la pratique d'enseignement dans le contexte d'exercice de leur métier

2. Recommandations :

Le jury recommande aux futurs candidats :

- de s'initier aux analyses de procédés industriels ;
- de mettre à jour leurs connaissances en thermodynamique et en dimensionnement électromécanique des systèmes d'entraînement ; plus généralement d'entretenir

leurs connaissances des principes physiques de base débouchant sur des choix technologiques ;

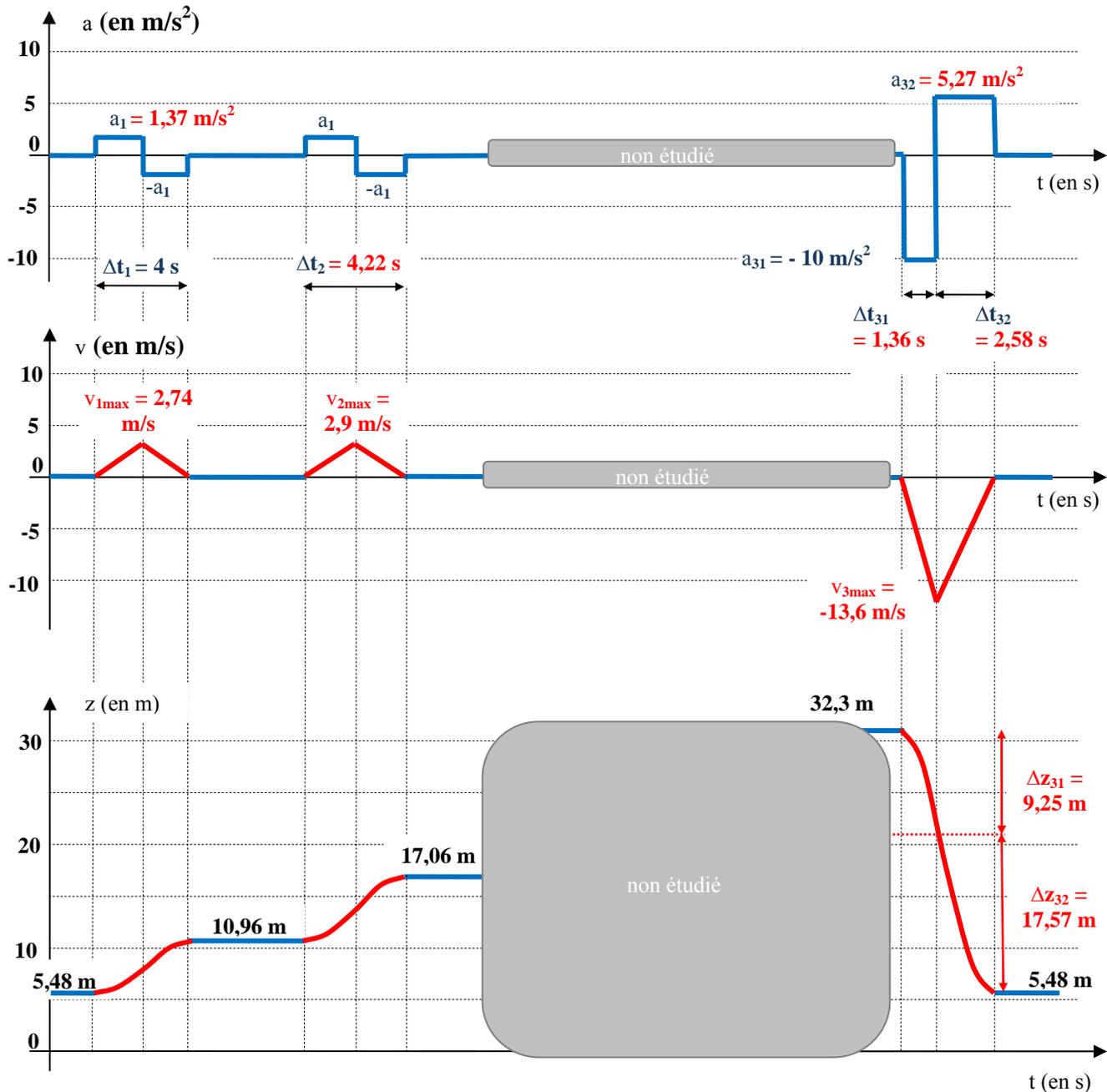
- de ne pas négliger les problématiques du transport et de la distribution de l'énergie sous toutes ses formes, l'électrotechnique ne pouvant se limiter ni à la distribution BT, ni aux utilisations terminales de l'électricité. Il est souhaitable que les professeurs candidats développent leur culture générale des technologies de distribution sans se focaliser uniquement sur les développements théoriques.

CORRIGE EPREUVE AUTOMATISATION

Partie A : Contraintes sur la chaîne d'énergie liées aux besoins de l'attraction

A.1. Contraintes cinématiques pour la réalisation d'un cycle

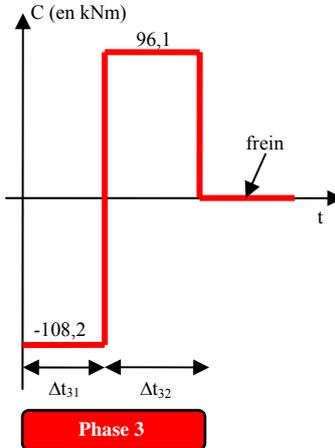
QA.1	$\Delta z_1 = 10,96 - 5,48 = 5,48 \text{ m}$ $\Delta z_2 = 17,01 - 10,96 = 6,1 \text{ m}$ $\Delta z_3 = 32,3 - 5,48 = 26,82 \text{ m}$
QA.2	<p>Lors des différentes phases, à une constante près, on a les relations suivantes :</p> $a = \text{cte}, v = at, z = \frac{1}{2}at^2.$ <p>Pour la phase 1 : $\frac{\Delta z_1}{2} = \frac{1}{2}a_1 \left(\frac{\Delta t_1}{2}\right)^2$ soit $a_1 = 4 \frac{\Delta z_1}{\Delta t_1^2}$ AN : $a_1 = 4 \frac{5,48}{4^2} = 1,37 \text{ m/s}^2$</p> <p>On a donc $v_{1\text{max}} = a_1 \frac{\Delta t_1}{2}$ AN : $v_{1\text{max}} = 1,37 \frac{4}{2} = 2,74 \text{ m/s}$</p> <p>D'où le tracé de v et z (ci-dessous)</p>
QA.3	<p>Pour la phase 2, on a $\Delta z_2 = 6,1 \text{ m}$ et $\frac{\Delta z_2}{2} = \frac{1}{2}a_2 \left(\frac{\Delta t_2}{2}\right)^2$ et $a_2 = a_1$ donc $\Delta t_2 = 2\sqrt{\frac{\Delta z_2}{a_1}}$</p> <p>AN : $\Delta t_2 = 2\sqrt{\frac{6,1}{1,37}} = 4,22 \text{ s}$</p> <p>On a donc $v_{2\text{max}} = a_1 \frac{\Delta t_2}{2} = 2,9 \text{ m/s}$. D'où le tracé de v et z (ci-dessous)</p>
QA.4	<p>$v_{\text{max}} = 49 \text{ km/h}$ soit $13,61 \text{ m/s}$</p> <p>Or $v_{\text{max}} = a_{31}\Delta t_{31}$ soit $\Delta t_{31} = \frac{v_{\text{max}}}{a_{31}}$ AN : $\Delta t_{31} = \frac{13,61}{10} = 1,36 \text{ s}$.</p> <p>En Δt_{31}, la cabine a parcouru Δz_{31} soit $\Delta z_{31} = \frac{1}{2} a_{31} \Delta t_{31}^2$ AN $\Delta z_{31} = \frac{1}{2}10 \cdot 1,36^2 = 9,25 \text{ m}$</p> <p>La cabine doit parcourir $\Delta z_{32} = \Delta z_3 - \Delta z_{31} = 26,82 - 9,25 = 17,57 \text{ m}$ en Δt_{32}.</p> <p>On a $a_{32} = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_{32}}$ avec $\Delta v_3 = 16,61 \text{ m/s}$ et $\Delta z_{32} = \frac{1}{2}a_{32}\Delta t_{32}^2$.</p> <p>On obtient $\Delta t_{32} = 2\sqrt{\frac{\Delta z_{32}}{a_{32}}}$ soit $\Delta t_{32} = 2\sqrt{\frac{17,57}{13,61}} = 2,58 \text{ s}$ et $a_{32} = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_{32}} = 5,27 \text{ m/s}$.</p> <p>D'où le tracé de v et z (ci-dessous).</p>



R.

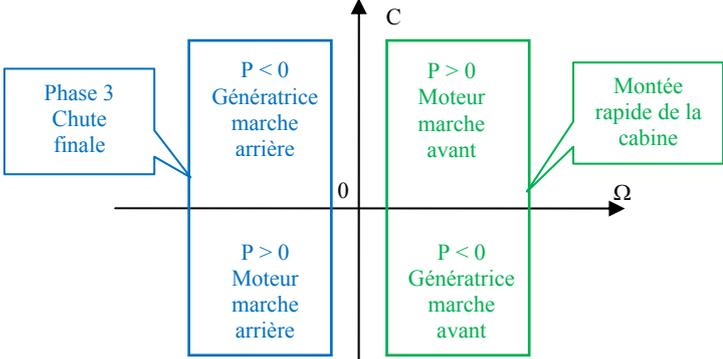
A.2. Contraintes électromécaniques

QA.5	$\Omega = 2 \frac{v}{D_{\text{tam}}}$
QA.6	$ v_{\text{max}} = 49 \text{ km/h}$ soit $13,61 \text{ m/s}$ On a donc $\Omega_{\text{max}} = 2 \frac{13,61}{1,27} = 21,4 \text{ rad/s}$ soit $204,7 \text{ tr/min}$.
QA.7	Masse des 2 câbles en parallèle : $M_{\text{cable}} = 2\mu L_{\text{cable}}$ soit $M_{\text{cable}} = 2.3.6.106 = 763,2 \text{ kg}$
QA.8	Energie cinétique du sous ensemble en translation verticale : $E_{\text{CT}} = \frac{1}{2} (M_{\text{cable}} + M_{\text{Cp}} + M_{\text{cab}}) v^2$ Energie cinétique du sous ensemble en rotation :

	$E_{CR} = \frac{1}{2}(J_{mac} + J_{acc} + 2J_{tam} + J_{arb})\Omega^2 + \frac{1}{2}2.J_{pou}\Omega_{pou}^2 \text{ avec } \Omega_{pou} = \frac{D_{tam}}{D_{pou}}\Omega.$ <p>On a $E_C = E_{CT} + E_{CR}$</p> <p>Soit $E_C = \frac{1}{2}(M_{cable} + M_{Cp} + M_{cab})v^2 + \frac{1}{2}\left(J_{mac} + J_{acc} + 2J_{tam} + J_{arb} + 2\left(\frac{D_{tam}}{D_{pou}}\right)^2 J_{pou}\right)\Omega^2$</p>
<p>QA.9</p>	<p>Comme $v = \frac{D_{tam}}{2}\Omega$, on peut mettre le résultat sous la forme : $E_C = \frac{1}{2}J_{eq}\Omega^2$</p> $E_C = \frac{1}{2}\left(J_{mac} + J_{acc} + 2J_{tam} + J_{arb} + 2\left(\frac{D_{tam}}{D_{pou}}\right)^2 J_{pou} + \frac{D_{tamb}^2}{4}(M_{cable} + M_{Cp} + M_{cab})\right)\Omega^2$ <p>Soit $J_{eq} = J_{mac} + J_{acc} + 2J_{tam} + J_{arb} + 2\left(\frac{D_{tam}}{D_{pou}}\right)^2 J_{pou} + \frac{D_{tamb}^2}{4}(M_{cable} + M_{Cp} + M_{cab})$</p> <p>AN : $J_{eq} = 810 + 14 + 2.940 + 150 + 2 \cdot \left(\frac{1,27}{0,76}\right)^2 22 + \frac{1,27^2}{4}(763,2 + 8460 + 4350)$</p> <p>$J_{eq} = 8450,9 \text{ kg.m}^2$</p>
<p>QA.10</p>	<p>Bilan des actions extérieures au solide S par rapport au bâti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Action du stator/Rotor - Action de la pesanteur/S - Action du bâti/S <p>On a donc $P_{ext} = C\Omega + \frac{M_{cable}}{2}g v - \frac{M_{cable}}{2}g v + M_{Cp}g v - M_{cab}g v + 0$</p> <p>Soit $P_{ext} = C\Omega + (M_{Cp} - M_{cab})g v$ avec $v = \frac{D_{tam}}{2}\Omega$</p> <p>Donc $P_{ext} = \left(C + (M_{Cp} - M_{cab})g \frac{D_{tam}}{2}\right)\Omega.$</p>
<p>QA.11</p>	<p>Le théorème de l'énergie puissance appliqué au solide S par rapport au bâti donne :</p> $\frac{dE_C}{dt} = P_{ext} + P_{int}$ <p>Soit $\frac{1}{2}J_{eq}2 \frac{d\Omega}{dt}\Omega = \left(C + (M_{Cp} - M_{cab})g \frac{D_{tam}}{2}\right)\Omega$</p> $C = J_{eq} \frac{d\Omega}{dt} + (M_{cab} - M_{Cp})g \frac{D_{tam}}{2} \text{ or } \frac{d\Omega}{dt} = \frac{2}{D_{tamb}}a$ <p>On a donc $C = \frac{2}{D_{tamb}}J_{eq}a + (M_{cab} - M_{Cp})g \frac{D_{tam}}{2}.$</p>
<p>QA.12</p>	<p>AN : $C = \frac{2}{1,27}8500.a + (8460 - 4350)9,81 \frac{1,27}{2}$</p> <p>soit $C = 13385,8.a + 25602,6$</p> <p>Si $a = -10 \text{ m/s}^2$, alors $C = -108,2 \text{ kNm}$</p> <p>Si $a = 5,27 \text{ m/s}^2$, alors $C = 96,1 \text{ kNm}$.</p> <p>D'où l'allure du couple lors de la phase 3 donnée ci-contre.</p> <div style="text-align: right;">  <p style="text-align: center;">Phase 3</p> </div>

QA.13	$\eta = \frac{P_u}{UI + U_e I_e} \text{ soit } \eta_n = \frac{1,6 \cdot 10^6}{630 \cdot 2797 + 300 \cdot 39,6} = 90,2 \%$ $C_u = \frac{P_u}{\Omega} \text{ soit } C_{un} = \frac{1,6 \cdot 10^6}{205 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 74,5 \text{ kNm}.$
QA.14	<p>On a vu que $\Omega_{\max} = 21,4 \text{ rad/s}$ soit $204,7 \text{ tours/min}$ pour $v_{\max} = 49 \text{ km/h}$: ceci correspond à la valeur nominale de la vitesse du moteur</p> <p>Le couple est maximal pour la phase 3 : $C_{\max} = -108,2 \text{ kNm}$. Or le couple crête de la MCC peut atteindre 150 kNm ($2 \times 74,5 \text{ kNm}$).</p> <p>La MCC est donc bien dimensionnée d'un point de vue mécanique.</p>

A.3. Contraintes électriques

QA.15	<p>1 : Energie électrique alternative (V et f fixées)</p> <p>2 : Energie électrique « continue » variable</p> <p>3 : Energie mécanique de rotation</p> <p>4 : Energie mécanique de translation</p>
QA.16	<p>Le cycle est défini figure A.2.</p> <p>La phase 3 du cycle correspond à une descente, $\Omega < 0$ et C est > 0 et < 0 comme nous l'avons vu.</p> <p>Entre la phase 2 et la phase 3, la cabine effectue une succession de montée/descente dans la gaine. Les accélérations et décélérations sont du même ordre que celles de la phase 3, la vitesse est positive pour une montée avec là encore une inversion de couple.</p> <p>La MCC fonctionne donc dans les 4 quadrants.</p> 
QA.17	<p>Si le flux est constant, nous avons $C = kI$, $E = k\Omega$ et $U = E + RI$.</p> <p>Pour avoir $C > 0$ et < 0, il faut que $I > 0$ et < 0.</p> <p>De même pour avoir $\Omega > 0$ et < 0, il faut que $U > 0$ et < 0.</p> <p>Le variateur doit être réversible en tension et en courant.</p>
QA.18	<p>Variateur utilisé pour l'induit : PD3 commandé tête bêche (2 PD3 en anti-parallèle).</p> <p>Variateur utilisé pour l'inducteur : PD2 commandé.</p> <p>Les interrupteurs utilisés sont des thyristors. Le paramètre de réglage est l'angle de retard à l'amorçage souvent noté Ψ.</p>
QA.19	<p>Un pont PD3 commandé est réversible en tension en effet $\langle u_{PD3c} \rangle = \frac{3}{\pi} V \sqrt{6} \cos \Psi$ (avec V la tension simple en entrée) mais pas en courant.</p> <p>La réversibilité en courant est obtenue par la mise en anti-parallèle des 2 ponts PD3. Le variateur permet donc à la MCC de fonctionner dans les 4 quadrants.</p>
QA.20	<p>Les tensions secondaires du transformateur sont déphasées de 30° (couplages étoile et triangle). Chaque pont absorbe un courant « rectangulaire », les ondes de courant sont déphasés de 30°. Le contenu harmonique du courant absorbé au primaire se trouve réduit. Voir cours d'association de redresseurs !</p>
QA.21	<p>Les tensions instantanées en sortie des 2 variateurs DC2000 sont différentes. Il est donc nécessaire de prévoir des inductances de limitation de courant entre ces 2 variateurs.</p>

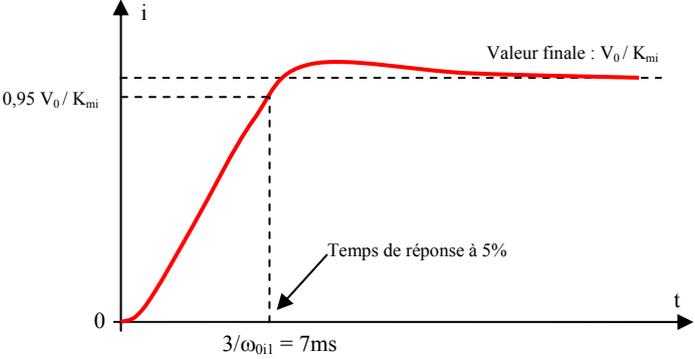
Partie B : Commande en couple

B.1. Etude préliminaire

QB.1	Le courant est l'image du couple. Il est nécessaire, pour des raisons mécaniques, de contrôler le couple soit en le régulant et le limitant. Ceci permet aussi de minimiser les échauffements de la machine. Cette boucle interne de courant permet aussi de limiter le courant induit pendant les phases dynamiques (accélération et freinage).
QB.2	$U = E + RI = k\Omega + RI$ On se place au point de fonctionnement nominal : $k = \frac{U_n - RI_n}{\Omega_n}$ Soit $k = \frac{630 - 15 \cdot 10^{-3} \cdot 2797}{205 \cdot 2\pi / 60} = 27,4 \text{ Vs/rad}^{-1}$.
QB.3	Si $C = \pm 110 \text{ kNm}$ alors $I = \frac{C}{k}$. AN : $I = \pm 4014,6 \text{ A}$
QB.4	On a $e(t) = u(t) - Ri(t) - L \frac{di}{dt} = k \Omega(t)$ et $C(t) = k i(t) = J_{eq} \frac{d\Omega(t)}{dt} + C_r(t)$ Soit $U(p) - k\Omega(p) = (R + Lp)I(p)$ et $kI(p) = J_{eq}p\Omega(p) + C_r(p)$. Par identification, on a $H_1(p) = H_3(p) = k$, $H_2(p) = \frac{1}{J_{eq}p}$ et $H_{O1}(p) = \frac{1}{R + Lp}$.
QB.5	$H_{BO1}(p) = C_i(p) \cdot H_{conv}(p) \cdot H_{O1}(p) \cdot K_{mi}$ Soit $H_{BO1}(p) = C_i(p) \frac{K_{conv} K_{mi} / R}{(1 + T_c p)(1 + L/R p)}$. On a donc bien $H_{BO1}(p) = C_i(p) \frac{K_i}{(1 + T_c p)(1 + T_e p)}$ avec $K_i = \frac{K_{conv} K_{mi}}{R}$ et $T_e = L/R$ AN : $K_i = \frac{12,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}} = 1,886 \cdot 10^{-3}$ et $T_e = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}} = 33,33 \text{ ms}$
QB.6	<ul style="list-style-type: none"> - Erreur statique : erreur finale pour une entrée échelon. - Asservissement : consigne variable (ici le courant). - Régulation : consigne constante, perturbation variable.
QB.7	Avec un correcteur de type proportionnel, il n'y a pas d'intégration dans la fonction de transfert en boucle ouverte (classe 0), l'erreur statique est donc non nulle. Pour une entrée échelon ($E_{pert} = 0$), on a $\varepsilon_\infty = \frac{V_{iref0}}{1 + K_p K_i}$.

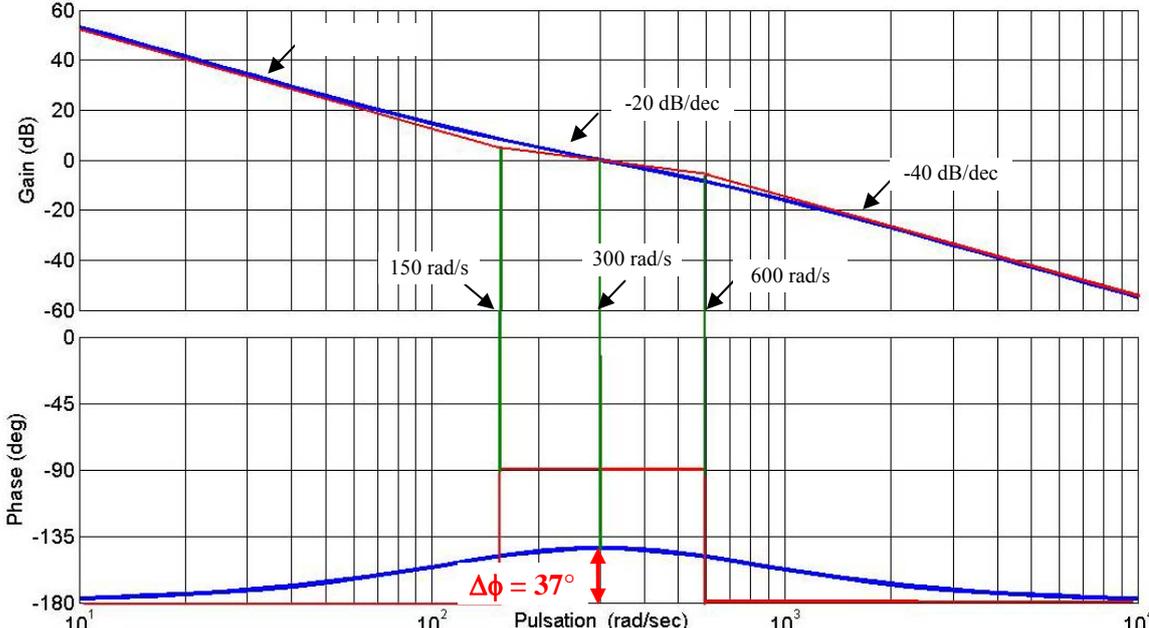
B.2. Correction par compensation du pôle dominant

QB.8	C'est un correcteur PI : actions proportionnelle et intégrale. Il augmente la classe du système par l'action intégrale. Le gain aux basses fréquences augmente, le système est plus précis. L'intégration introduit aux basses fréquences un déphasage de -90° , ceci peut diminuer la marge de phase. H_{BO1} , avec ce correcteur, est de classe 1. L'erreur statique devient nulle.
QB.9	Les pôles annulent le dénominateur. On a donc 2 pôles : $p_1 = -\frac{1}{T_c}$ et $p_2 = -\frac{1}{T_e}$.
QB.10	On a $T_c = 1,66 \text{ ms}$ et $T_e = 33,33 \text{ ms}$. On prend donc $\tau_1 = T_e$. Remarque : le pôle lié au convertisseur n'est pas un vrai pôle, en effet, ce pôle est une approximation de l'échantillonnage et ne pourrait de toute façon pas être compensé. On a ainsi : $H_{BO1}(p) = k_1 \frac{1 + \tau_1 p}{\tau_1 p} \frac{K_i}{(1 + T_c p)(1 + T_e p)} = k_1 \frac{1 + T_e p}{T_e p} \frac{K_i}{(1 + T_c p)(1 + T_e p)}$ Soit $H_{BO1}(p) = \frac{k_1 K_i}{T_e p (1 + T_c p)}$.

QB.11	$H_{BOi1}(p) = \frac{k_i K_i}{T_e p (1 + T_c p)}$ <p>est une fonction de transfert du second ordre. La boucle fermée de courant est donc forcément stable.</p>
QB.12	$H_{BFi1}(p) = \frac{H_{BOi1}(p) / K_{mi}}{1 + H_{BOi1}(p)} = \frac{\frac{k_i K_i / K_{mi}}{T_e p (1 + T_c p)}}{1 + \frac{k_i K_i}{T_e p (1 + T_c p)}} = \frac{k_i K_i / K_{mi}}{T_e p (1 + T_c p) + k_i K_i}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> $\text{Soit } H_{BFi1}(p) = \frac{1}{K_{mi}} \frac{1}{1 + \frac{T_e}{k_i K_i} p + \frac{T_e T_c}{k_i K_i} p^2} = \frac{1}{K_{mi}} \frac{1}{1 + \frac{2m_{i1}}{\omega_{oi1}} p + \left(\frac{p}{\omega_{oi1}}\right)^2}$ </div> <p>Avec $m_{i1} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_e}{T_c k_i K_i}}$, $\omega_{oi1} = \sqrt{\frac{k_i K_i}{T_c T_e}}$ et $K_{i1} = \frac{1}{K_{mi}}$.</p>
QB.13	<p>La réponse fréquentielle d'un système du second ordre est la plus plate possible dans la bande passante pour $m = \frac{\sqrt{2}}{2}$.</p> <p>On a donc $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_e}{T_c k_i K_i}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ soit $k_i = \frac{T_e}{2 T_c K_i}$.</p> <p>AN : $k_i = \frac{33,33 \cdot 10^{-3}}{2,166 \cdot 10^{-3} \cdot 1,886 \cdot 10^{-3}} = 5323$.</p>
QB.14	$\omega_{oi1} = \sqrt{\frac{k_i K_i}{T_c T_e}} = \sqrt{\frac{T_e}{2 T_c K_i} \frac{K_i}{T_c T_e}} \text{ soit } \omega_{oi1} = \frac{1}{\sqrt{2} T_c}$ <p>La bande passante ne dépend donc que du pôle de commande ($1/T_c$).</p> <p>AN : $\omega_{oi1} = 426 \text{ rad/s}$ soit 68 Hz.</p>
QB.15	$H_{BFi1}(p) = \frac{1}{K_{mi}} \frac{1}{1 + \frac{2m_{i1}}{\omega_{oi1}} p + \left(\frac{p}{\omega_{oi1}}\right)^2}$ <p>avec $\omega_{oi1} = 426 \text{ rad/s}$ et $m_{i1} = \frac{\sqrt{2}}{2}$</p> <p>On a donc le tracé ci-contre. Dépassement et temps de réponse obtenus avec l'annexe 2.</p> <div style="text-align: right;">  </div>
QB.16	<p>Il n'y a pas d'erreur statique (rôle de l'effet intégral). La méthode de réglage du correcteur montre un bon comportement vis-à-vis d'un échelon de consigne, on retrouve au gain du capteur de courant près les résultats de la question B.15. Par contre, la réponse à un échelon de perturbation présente un long trainage.</p>

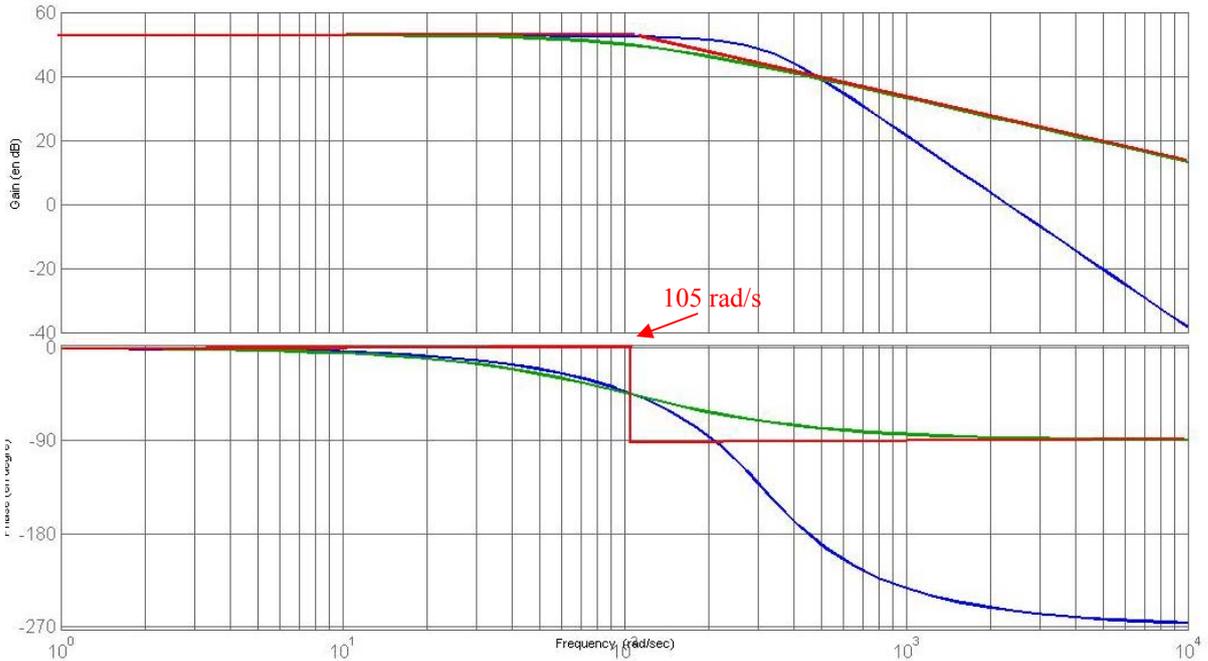
B.3. Correction par la méthode de l'optimum symétrique

QB.17	$H_{BFi2}(p) = \frac{H_{BOi2}(p) / K_{mi}}{1 + H_{BOi2}(p)} = \frac{\frac{k_2}{K_{mi}} \frac{1 + \tau_2 p}{\tau_2 p} \frac{K_i}{(1 + T_c p) T_e p}}{1 + \frac{k_2 K_i}{\tau_2 p (1 + T_c p) T_e p}} = \frac{1}{K_{mi}} \frac{k_2 K_i (1 + \tau_2 p)}{k_2 K_i (1 + \tau_2 p) + (1 + T_c p) T_e \tau_2 p^2}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> $\text{Soit } H_{BFi2}(p) = \frac{1}{K_{mi}} \frac{k_2 K_i (1 + \tau_2 p)}{k_2 K_i + k_2 K_i \tau_2 p + T_e \tau_2 p^2 + T_c T_e \tau_2 p^3} \text{ soit } H_{BFi2}(p) = \frac{1}{K_{mi}} \frac{1 + \tau_2 p}{1 + \tau_2 p + \frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i} p^2 + \frac{T_c T_e \tau_2}{k_2 K_i} p^3}$ </div>
--------------	--

	avec $D_{BF12}(p) = 1 + \tau_2 p + \frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i} p^2 + \frac{T_c T_e \tau_2}{k_2 K_i} p^3$.
QB.18	$ D_{BF12}(j\omega) ^2 = \left(1 - \frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i} \omega^2\right)^2 + \left(\tau_2 \omega - \frac{T_c T_e \tau_2}{k_2 K_i} \omega^3\right)^2$ $ D_{BF12}(j\omega) ^2 = 1 + \left(\tau_2^2 - 2 \frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i}\right) \omega^2 + \left(\left(\frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i}\right)^2 - 2 \frac{T_c T_e \tau_2^2}{k_2 K_i}\right) \omega^4 + \left(\frac{T_c T_e \tau_2}{k_2 K_i}\right)^2 \omega^6$ <p>Pour obtenir un polynôme de Butterworth d'ordre 3, il faut annuler les termes en ω^2 et ω^4 soit :</p> $\tau_2^2 = 2 \frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i} \text{ et } \left(\frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i}\right)^2 = 2 \frac{T_c T_e \tau_2^2}{k_2 K_i}$ <p>On obtient après calculs : $k_2 = \frac{T_e}{2T_c K_i}$ et $\tau_2 = 4T_c$.</p> <p>AN : $k_2 = \frac{33,33 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,66 \cdot 10^{-3} \cdot 1,886 \cdot 10^{-3}} = 5323$ et $\tau_2 = 4 \cdot 1,66 \cdot 10^{-3} = 6,64 \text{ ms}$.</p>
QB.19	<p>Le terme $\left(\frac{T_c T_e \tau_2}{k_2 K_i}\right)^2 \omega^6$ peut se mettre sous la forme $\left(\frac{\omega}{\omega_{012}}\right)^6$.</p> <p>On a donc $\omega_{012}^3 = \frac{k_2 K_i}{T_c T_e \tau_2}$, on remplace k_2 et τ_2, par les expressions trouvées, on obtient : $\omega_{012}^3 = \left(\frac{1}{2T_c}\right)^3$ soit</p> $\omega_{012} = \frac{1}{2T_c}$ <p>La bande passante ne dépend toujours que du pôle de commande ($1/T_c$).</p> <p>AN : $\omega_{012} = 301,2 \text{ rad/s}$ soit 48 Hz. La boucle sera donc un peu moins rapide vis-à-vis de la consigne que celle réglée par la compensation du pôle dominant.</p>
QB.20	$H_{BO12}(p) = k_2 \frac{1 + \tau_2 p}{\tau_2 p} \frac{K_i}{(1 + T_c p) T_e p}$ avec $k_2 = \frac{T_e}{2T_c K_i}$ et $\tau_2 = 4T_c$. Donc $H_{BO12}(p) = \frac{T_e}{2T_c K_i} \frac{1 + 4T_c p}{4T_c p} \frac{K_i}{(1 + T_c p) T_e p}$ soit $H_{BO12}(p) = \frac{1 + 4T_c p}{8T_c^2 p^2 (1 + T_c p)}$.
QB.21	<p>Il y a 2 pulsations remarquables $\frac{1}{T_c} = 600 \text{ rad/s}$ et $\frac{1}{4T_c} = 150 \text{ rad/s}$. Les courbes sont symétriques par rapport à</p> $\sqrt{\frac{1}{T_c} \cdot \frac{1}{4T_c}} = \frac{1}{2T_c} = 300 \text{ rad/s}.$  <p>The figure shows a Bode plot for the transfer function. The top graph is the magnitude plot (Gain in dB) and the bottom graph is the phase plot (Phase in degrees). Both plots share a common logarithmic frequency axis (Pulsation in rad/sec) ranging from 10¹ to 10⁴. The magnitude plot shows a blue curve that follows asymptotes with slopes of -20 dB/dec and -40 dB/dec, intersecting at 300 rad/s. The phase plot shows a blue curve that peaks at 300 rad/s. A red double-headed arrow indicates a phase margin of Δφ = 37° at the 300 rad/s frequency. Vertical green lines mark the frequencies 150 rad/s, 300 rad/s, and 600 rad/s.</p>

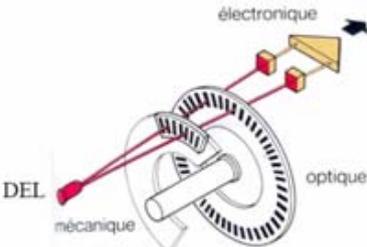
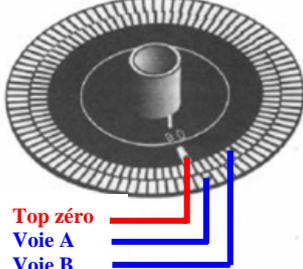
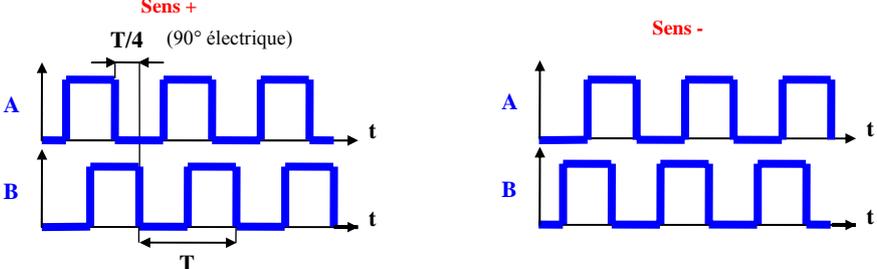
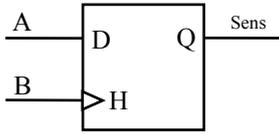
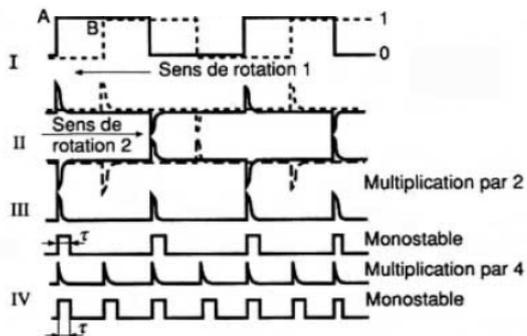
QB.22	<p>S. La réponse fréquentielle est symétrique par rapport à la pulsation de coupure $\omega_{o12} = \frac{1}{2T_c}$ dont le nom du réglage optimum symétrique.</p>
QB.23	<p>La marge de phase s'obtient graphiquement sur la réponse fréquentielle en boucle ouverte. Voir tracé réponse QB.21. On obtient : $\Delta\phi = 37^\circ$, en effet le maximum de phase est de 143° pour 300 rad/s.</p>
QB.24	<p>H_{BF12} a été définie à la question QB.17. Il y a bien un zéro dans cette fonction de transfert. En effet :</p> $H_{BF12}(p) = \frac{1}{K_{mi}} \frac{1 + \tau_2 p}{1 + \tau_2 p + \frac{T_e \tau_2}{k_2 K_i} p^2 + \frac{T_c T_e \tau_2}{k_2 K_i} p^3}$ <p>Le filtre de référence doit compenser $1 + \tau_2 p = 1 + 4T_c p$ soit $F_{i2}(p) = \frac{1}{1 + 4T_c p}$.</p>
QB.25	<p>Le comportement vis-à-vis de la perturbation est bien meilleur qu'avec le correcteur réglé par la compensation du pole dominant : il y a moins de trainage. Par contre, le système est légèrement moins rapide pour la réponse indicielle à la consigne.</p>

B.4. Modèle équivalent de la boucle de courant

QB.26	<p>On retrouve le gain statique $K_{Fi} = \frac{1}{K_{mi}} = 434,8$ soit $20 \log \frac{1}{K_{mi}} = 52,8$ dB . La réponse harmonique vaut -45° pour environ 105 rad/s. On a donc $T_{Fi} = \frac{1}{105} = 9,5$ ms .</p>
QB.27	 <p>L'approximation sera valable pour des pulsations inférieures à 105 rad/s.</p>

Partie C : Commande en vitesse et position

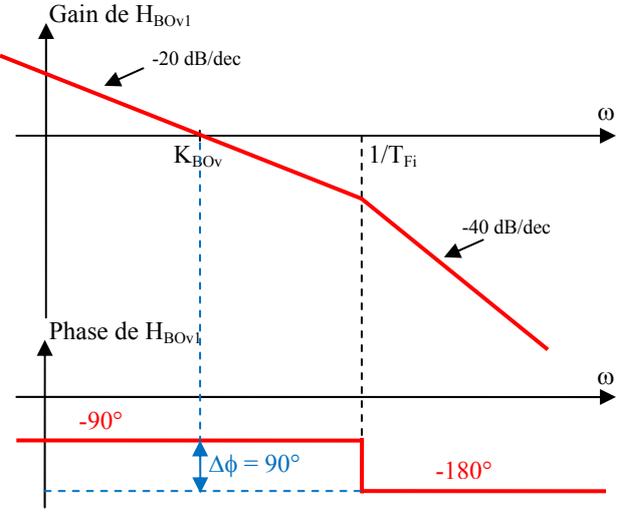
C.1. Mesures de la vitesse et de la position

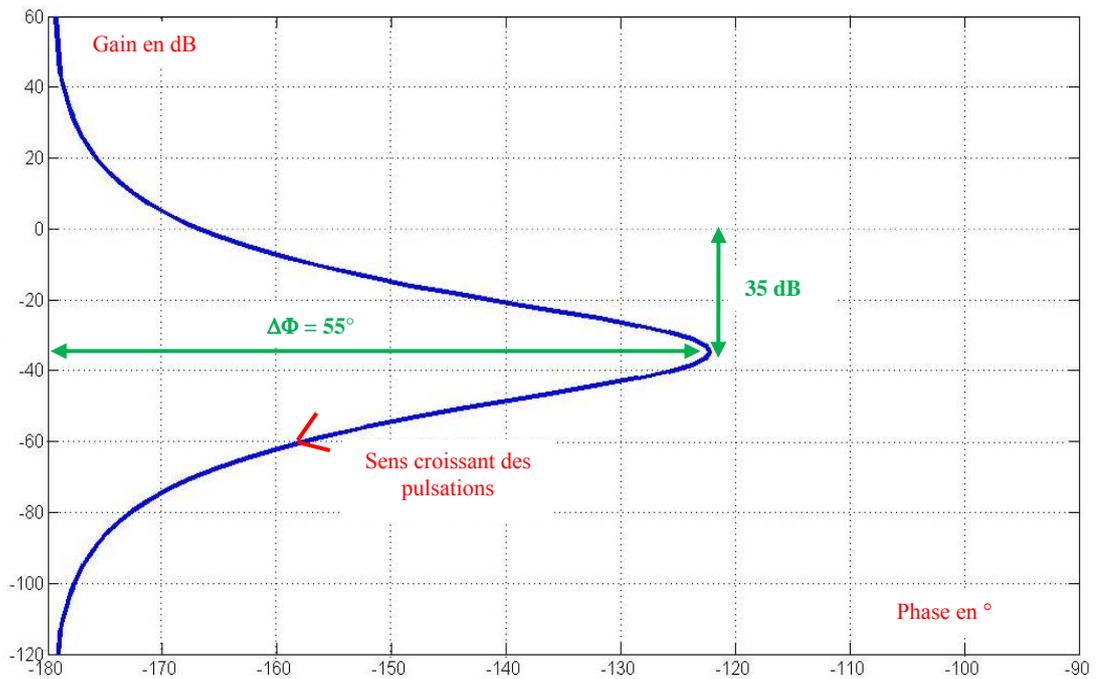
<p>QC.1</p>	<p>Il s'agit d'un codeur optoélectronique incrémental.</p> <p>Il est constitué principalement d'une source lumineuse, d'un condenseur qui oriente parallèlement les rayons du faisceau lumineux, d'un support codé (disque ou règle généralement en verre) qui présente une succession de zones opaques et transparentes disposées sur un nombre réduit de pistes et de récepteurs photoélectriques.</p>	
<p>QC.2</p>	<p>Les signaux générés par le codeur incrémental se présentent, après traitement électronique, sous la forme de deux trains d'impulsions A et B en quadrature permettant la discrimination du sens de rotation.</p> <p>Un troisième signal Z détermine la position de référence et permet la réinitialisation à chaque tour (top zéro) pour un codeur angulaire.</p> <p>La voie C est une sortie auxiliaire obtenue à partir des voies A et B, le nombre d'impulsions est alors multiplié par 4.</p>	
<p>QC.3</p>	<p>La tachymètre a pour référence M3-4T 2D 1024 L. D'après la documentation : Base PPR = 1024. Si on utilise la voie A, on a 1024 impulsions par tour et 4096 si on utilise la voie C.</p>	
<p>QC.4</p>		
<p>QC.5</p>		<p>La sortie Q prend l'état de D à chaque front montant sur H. Si on réalise le montage suivant :</p> <p>Pour le sens +, défini en QC.4, la sortie Sens est à 1. Pour le sens -, la sortie passe à 0.</p>
<p>QC.6</p>	<p>La résolution peut être multipliée par 2 facilement en utilisant un ou exclusif entre A et B.</p> <p>Pour multiplier la résolution par 4, il faut détecter les fronts montants et descendants des voies A et B.</p> <p>Plusieurs techniques peuvent être utilisées, ci-contre par dérivation.</p>  <p>I en trait plein, signal de la piste A ; en pointillés, signal de la piste B II signal désiré : positif sur les fronts montants du signal ou sur les fronts descendants III multiplication par 2 : signal redressé et sortie du monostable : impulsions de largeur τ IV multiplication par 4 et sortie du monostable</p>	
<p>QC.7</p>	<p>Le paramètre image de la vitesse de rotation du groupe d'entraînement est la fréquence.</p> <p>On a 4096 impulsions par tour, soit le gain du capteur $\frac{4096}{2\pi} = 652 \text{ Hz/rad.s}^{-1}$.</p>	

	Pour la vitesse maximale de 205 tr/min (soit 21,4 rad/s pour 49 km/h), on a une fréquence de 14 kHz.
QC.8	La position de la cabine est mesurée par un codeur incrémental, la mesure n'est donc pas absolue. Il est nécessaire d'initialiser la mesure de la position, ceci est fait à chaque cycle. Des capteurs d'étalonnage placés à chaque stationnement (embarquement/débarquement, animations 1 et 2, scène extérieure) dans la gaine permettent de vérifier et valider la mesure position.
QC.9	$\Delta z = \Delta\theta \frac{D_{TPPI}}{2} = \frac{2\pi}{N_{imp/tour}} \frac{D_{TPPI}}{2}$ $AN : \Delta z = \frac{2\pi}{4096} \frac{50,8 \cdot 10^{-2}}{2} = 390 \mu m$
QC.10	$\epsilon_{pos_max} = 10 \cdot \Delta z = 3,9 \text{ mm}$
QC.11	$N_{pos_max} = \frac{\Delta L}{\Delta z} = \frac{52}{390 \cdot 10^{-6}} = 133334$ <p>Avec 2 octets, on peut compter jusqu'à 65535. Il faut donc 3 octets pour avoir l'image de la position.</p>
QC.12	En mode différentiel, la liaison est généralement une paire torsadée. Cette transmission est moins sensible aux perturbations magnétiques, électriques et aux différences de potentiel de masse. Il en résulte un accroissement du débit et des distances de transmission.
QC.13	<p>RS 232 : non différentielle (asymétrique), 1 émetteur et 1 récepteur RS 223 : non différentielle (asymétrique), 1 émetteur et 10 récepteurs RS 422 : différentielle (symétrique), 1 émetteur et 10 récepteurs RS 485 : différentielle (symétrique), 32 émetteurs et 32 récepteurs</p> <p>Ici, une liaison différentielle a été préférée. La RS 485 n'est pas utile, il n'y a qu'un émetteur le TPPI.</p>
QC.14	<p>La ligne est terminée par la résistance R_c, dite caractéristique. Elle est dite adaptée. Ceci évite la présence de signaux réfléchis qui risqueraient de provoquer des erreurs.</p> <p>Dans le cas d'une ligne sans pertes, on a $R_c = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ où L_1 est l'inductance linéique de la ligne et C_1 la capacité linéique. Cette impédance dépend des paramètres géométriques et physiques (ϵ et μ).</p> <p>Il convient de mettre une résistance de terminaison de 100 à 150 Ohms environ sur chacun des 2 récepteurs RS422/RS485 situés en bout de ligne dans le cas d'une longue ligne à haut débit ou dans le cas d'un milieu perturbé. Dans le cas contraire, il peut être intéressant de ne pas mettre de résistance de terminaison afin de diminuer la puissance dissipée dans le générateur. En aucun cas la résistance totale de charge (terminaison + résistance d'entrée du récepteur) ne devra être inférieure à 100 Ohms.</p>
QC.15	$T_b = \frac{1}{9600} = 104,16 \mu s$
QC.16	<p>Décodage de la trame</p> <p>Valeur binaire de l'octet : 0111 0010 Valeur hexadécimale de l'octet : 72</p>

C.2. Boucle de régulation de vitesse

QC.17	On a $H_1(p) = k$, $H_2(p) = \frac{1}{J_{eq}p}$ et $H_{BFi}(p) = \frac{K_{Fi}}{1 + T_{Fi}p}$.
-------	---

	<p>Soit $H_{BOv1}(p) = \frac{kK_{Fi}K_{mv}}{J_{eq}p(1+T_{Fi}p)} = \frac{K_{BOv}}{p(1+T_{Fi}p)}$ avec $K_{BOv} = \frac{kK_{Fi}K_{mv}}{J_{eq}}$.</p> <p>AN : $K_{BOv} = \frac{27,4.434,8.0,4}{8500} = 0,56$</p>
QC.18	 <p>Si $C_v = 1$, la marge de phase est de 90° si on raisonne sur les tracés asymptotiques. Le système étant du second ordre, il est forcément stable.</p>
QC.19	<p>H_{BOv1} est de classe 1 (une intégration). L'erreur statique est nulle pour une entrée de type échelon.</p> $\varepsilon_v(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_v(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \varepsilon_v(p) \text{ or } \varepsilon_v(p) = \frac{V_{vref}(p)}{1 + H_{BOv1}(p)} \text{ et } V_{vref}(p) = \frac{a}{p^2}.$ <p>On a donc $\varepsilon_v(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\frac{a}{p^2}}{1 + \frac{K_{BOv}}{p(1+T_{Fi}p)}}$ soit $\varepsilon_v(\infty) = \frac{a}{K_{BOv}}$.</p> <p>L'erreur est non nulle, ce qui ne répond pas au cahier des charges.</p>
QC.20	<p>En plaçant un correcteur PI, on augmente la classe du système (ordre 2). L'erreur pour une entrée rampe est maintenant nulle.</p>
QC.21	<p>Si on compense le pôle dominant, la fonction de transfert en boucle ouverte vaut : $H_{BOv}(p) = \frac{k_3 K_{BOv}}{\tau_3 p^2}$. Le système est en théorie un oscillateur !</p>
QC.22	<p>On peut placer $1/\tau_3$ une décade avant $1/T_{Fi}$ pour garder une bonne marge de phase.</p>
QC.23	<p>Le diagramme de Black représente le gain en boucle ouverte en fonction de la phase paramétré en pulsation.</p>



QC.24 Le maximum de marge de phase est de 55° , pour cela il faut remonter le gain de 35 dB.

Soit $k_3 = 10^{\frac{35}{20}} = 56,2$.

QC.25

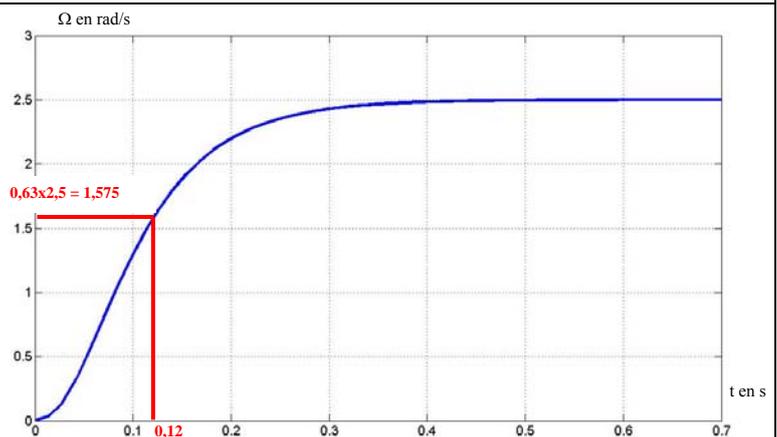
$$H_{BFV}(p) = \frac{K_{FV}}{1 + T_{FV}p}$$

avec $T_{FV} = 0,12$ s

et $K_{FV} = \frac{2,5}{1}$.

On vérifie que

$$K_{FV} = \frac{1}{K_{mv}} = 2,5 \text{ rad/Vs}$$



QC.26

$H_4(p) = \frac{D_{tamb}/2}{p}$ et $P(p)$ représente l'allongement des câbles.

QC.27

Le profil d'accélération du cahier des charges impose que la position de la cabine évolue de façon parabolique soit $z(t)$ de la forme $\frac{a}{2}t^2$.

La consigne position sera donc du type $V_{pref}(p) = \frac{\lambda}{p^3}$.

Pour obtenir une erreur finie, il est nécessaire que le système soit de classe 3. Le correcteur pourra donc être un PI ou un PID.

Pour un correcteur de type PI de la forme : $C_p(p) = k_4 \frac{1 + \tau_4 p}{\tau_4 p}$.

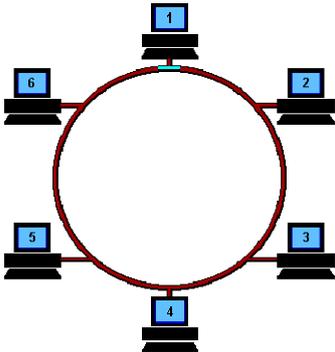
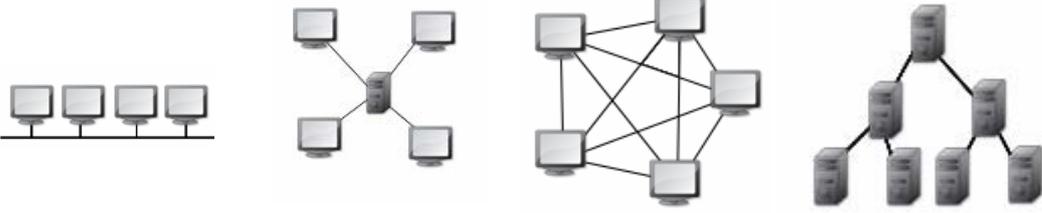
La fonction de transfert en boucle ouverte vaut : $H_{BOp}(p) = k_4 \frac{1 + \tau_4 p}{\tau_4 p} \frac{K_{FV}}{1 + T_{FV} p} \frac{D_{tamb}/2}{p} K_{mp}$.

Or $\varepsilon_p(p) = \frac{V_{pref}(p)}{1 + H_{BOp}(p)}$ soit $\varepsilon_p(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\frac{\lambda}{p^3}}{1 + H_{BOp}(p)} = \frac{2\lambda\tau_4}{k_4 K_{FV} D_{tamb} K_{mp}}$.

Il faut donc que $\frac{2\lambda\tau_4}{k_4 K_{FV} D_{tamb} K_{mp}} < \varepsilon_{pos_max}$.

L.1 : Partie D : Réseaux de communication.

D.1. Réseau « Ride Control »

<p>QD.1</p>	 <p>L'anneau à jeton (en anglais token ring) est une technologie d'accès au réseau basé sur le principe de la communication au tour à tour, c'est-à-dire que chaque ordinateur du réseau a la possibilité de parler à son tour. C'est un jeton (un paquet de données), circulant en boucle d'un ordinateur à un autre, qui détermine quel ordinateur a le droit d'émettre des informations. Lorsqu'un ordinateur est en possession du jeton, il peut émettre pendant un temps déterminé, après lequel il remet le jeton à l'ordinateur suivant.</p>
<p>QD.2</p>	<p>C'est un réseau déterministe car une station ne peut posséder le jeton qu'un temps maximum avant de le passer à la station suivante. Connaissant le nombre de station de la boucle, le moment de l'émission d'une trame par une station peut être borné. En cas de destruction du jeton, celui-ci est régénéré au bout d'un « certain temps » qui majore certes le moment d'une trame, mais le borne toujours.</p>
<p>QD.3</p>	<p>Sur un réseau "égal à égal", toutes les stations peuvent initier une communication. Sur un réseau "maître/esclave", seul le maître peut initier une communication, les esclaves se contentant de répondre au message reçu. Sur une topologie « Token ring », les communications s'effectuent d'égal à égal, seule contrainte, posséder le jeton pour initier une communication.</p>
<p>QD.4</p>	 <p style="text-align: center;">Bus Etoile Maillé Arbre</p>
<p>QD.5</p>	<p>La seule communication réseau décelable est la circulation du jeton entre les stations.</p>

A.

B. D.2. Réseaux Ethernet

<p>QD.6</p>	<p>Ce sont des réseaux de classe C, privés donc. Une adresse IP de classe C dispose de trois octets pour identifier le réseau et d'un seul octet pour identifier les hôtes sur ce réseau. Ainsi, un réseau de classe C peut comporter jusqu'à 2^8-2 postes, soit 254 hôtes. Le premier octet d'une adresse IP de classe C commence systématiquement par la séquence de bits 110, ce qui a pour effet que le premier octet d'une adresse de classe C est systématiquement compris entre 192 et 223. Le masque de réseau de classe C est 255.255.255.0</p>								
<p>QD.7</p>	<p>Le masque de réseau a pour fonction fondamentale de connaître le nombre de bits d'une adresse IPv4 utilisés pour identifier le réseau et le nombre de bits caractérisant les hôtes (ce qui indique aussi le nombre d'hôtes possibles dans ce réseau). Pour la classe C, 24 bits déterminent l'adresse du réseau et 8 bits l'adresse de l'hôte.</p>								
<p>QD.8</p>	<p>Réseau Ride control : 3 réseaux 192.168.12.0 – 192.168.22.0 – 192.168.32.0 Réseau Messages/Diagnostic : 3 réseaux 192.168.17.0 – 192.168.27.0 – 192.168.37.0 Réseau Clients messagerie : 1 réseau 192.168.70.0 Donc 7 réseaux de classe C sont présents.</p>								
<p>QD.9</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Nom du réseau</th> <th style="text-align: left;">Nombre d'hôtes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ride control</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Messages/Diagnostic</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Clients messagerie</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	Nom du réseau	Nombre d'hôtes	Ride control	4	Messages/Diagnostic	10	Clients messagerie	9
Nom du réseau	Nombre d'hôtes								
Ride control	4								
Messages/Diagnostic	10								
Clients messagerie	9								
<p>QD.10</p>	<p>Le nombre d'hôtes possible est de $256-2$ (diffusion 11111111 et identifiant réseau 00000000) soit 254.</p>								
<p>QD.11</p>	<p>Sachant qu'un réseau de classe C peut admettre 254 hôtes, chacun des réseaux est surdimensionné.</p>								
<p>QD.12</p>	<p>Une solution est d'utiliser un seul réseau de classe C et de le diviser en sous-réseaux (RCF 950 subnetting). 7 sous-réseaux distincts sont à créer, 4 bits supplémentaires permettent de déterminer $16-2$ donc 14 sous-</p>								

	réseaux. Le masque de sous-réseau devient 255.255.255.240 (/28 en notation CIDR). Le nombre de bits pour déterminer l'adresse d'un hôte est de 4 donc 16-2 soit 14 hôtes possibles pour chacun des sous-réseaux. Cette solution est recevable.
QD.13	Ethernet standard utilise le protocole CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection) pour transférer les données. Plusieurs stations peuvent essayer d'émettre leurs données à un moment précis. Au fur et à mesure que le trafic réseau augmente, la probabilité de transmissions simultanées augmente aussi. Des collisions ont lieu lorsque deux stations ou plus émettent en même temps. Un trafic réseau non désiré peut aussi survenir en cas de défaillance d'un matériel réseau, d'un réseau mal configuré, etc.
QD.14	En utilisant un concentrateur, chaque équipement attaché à celui-ci partage le même domaine de collision. Comme dans tout segment de réseau Ethernet, une seule des machines connectées peut y transmettre à la fois. Dans le cas contraire, une collision se produit, les machines concernées doivent retransmettre leurs trames après avoir attendu un temps calculé aléatoirement par chaque émetteur. Puisqu'un hôte Ethernet peut soit émettre, soit recevoir des données, une station souhaitant transmettre un paquet « écoute » d'abord la liaison pour s'assurer qu'aucune autre station n'émet sur la même ligne. Elle ne transmet que si la ligne est libre. La communication « Full duplex » est donc interdite.
QD.15	La commutation de circuit dans un commutateur de niveau 2 s'effectue en fonction des adresses « MAC » source et destination d'une trame Ethernet. Le commutateur doit donc lire la trame pour réaliser la commutation. Sans rentrer dans les différentes technologies d'analyse et de retransmission de trames (Commutation « Store-and-Forward » et Commutation « Cut-through »), il est clair qu'une latence majorant les délais de transmission est introduite par rapport au concentrateur.
QD.16	La communication entre deux réseaux Ethernet TCP/IP est assurée par la couche 3 du modèle. Un routeur doit interconnecter les deux réseaux. Le Hub du Système Apex de la tour 1 possède deux interfaces réseaux dont les adresses sont : 192.168.17.200 et 192.168.70.101 dans chacun des réseaux concernés (soit 192.168.17.0 et 192.168.70.0). Si le Hub supporte l'installation d'un service de routage TCP/IP, ce Hub permettra la communication entre ces deux réseaux. Sinon un routeur matériel doit être installé en lui attribuant deux adresses IP dans chacun des réseaux à interconnecter.
QD.17	Cette solution est insuffisante pour l'accès Internet car les adresses IP des réseaux privés ne sont pas routables (donc inaccessibles) depuis l'Internet comme le terme privé l'indique en opposition à adresse publique.
QD.18	Il faut mettre en place un système de translation d'adresse NAT (Network Address Translation). Le principe du NAT consiste donc à utiliser une passerelle de connexion à internet, possédant au moins une interface réseau connectée sur le réseau interne (donc privé), et au moins une interface réseau connectée à Internet possédant une adresse IP routable (donc publique), pour connecter l'ensemble des machines du réseau. Pour être précis, si un serveur du réseau privé doit être accessible depuis l'Internet, un système de redirection de port doit être aussi mis en œuvre.

Étude d'un problème d'automatisation, rapport du jury

COMMENTAIRES DU JURY

Le problème d'automatisation concerne une attraction du parc Walt Disney Studios® : « la Tour de la Terreur : Un Saut dans la Quatrième Dimension™ ». Une présentation générale permet de comprendre le fonctionnement de cette attraction ; la configuration ressemble à celle d'un ascenseur classique.

Le sujet se compose de quatre parties indépendantes. A l'intérieur de chaque partie, certaines sous-parties sont elles-mêmes indépendantes. Les points ont été répartis de la façon suivante :

- Partie A : 24 %
- Partie B : 28 %
- Partie C : 28 %
- Partie D : 20 %

Notons que les différentes parties de ce sujet ont été très bien traitées par beaucoup de candidats.

Partie A : Contraintes sur la chaîne d'énergie liées aux besoins de l'attraction

Les objectifs de cette partie sont :

- la détermination des éléments nécessaires au dimensionnement de la chaîne d'énergie pour une des gaines d'ascenseur permettant de répondre au cahier des charges fonctionnel de l'attraction ;
- la validation des profils en accélération, vitesse et position de la cabine ;
- le dimensionnement le moteur pour obtenir ces profils.

Cette partie très bien traitée par beaucoup, montre toutefois que certains candidats ont de très grosses lacunes dans les notions fondamentales de mécanique.

Citons par exemple qu'une accélération constante donne par intégration une vitesse croissante ou décroissante linéairement et par intégration de la vitesse, une position variant avec le temps de façon parabolique. Rappelons également que l'expression de l'énergie cinétique emmagasinée par un système comportant des pièces en rotation et translation doit tenir compte des deux types de mouvement.

Les questions concernant les contraintes électriques de la partie A ont été beaucoup et correctement traitées. Notons toutefois que les deux dernières questions, ayant un caractère de spécialité plus marqué ont donné lieu à très peu de bonnes réponses.

Partie B : Commande en couple du moteur d'entraînement de la cabine

L'objectif de cette partie concerne la commande en couple du moteur. Il s'agit, tout d'abord, d'une étude classique de la commande en couple d'un moteur à courant continu, puis de déterminer et de régler les paramètres du correcteur utilisé.

Les différentes questions n'ont pas été traitées avec la même profondeur. La correction par action Proportionnelle et Intégrale a été plutôt bien abordée alors que le correcteur par optimum symétrique est resté très peu traité. Les candidats n'ont pas toujours su répondre de façon claire aux questions relatives aux connaissances générales en automatique (définitions de l'erreur statique, des termes régulation et asservissement...). Les approches calculatoires sont en général bien traitées, cependant les concepts sous-jacents ne sont pas toujours bien exprimés.

L'épreuve d'automatique demande de mettre en relation les modèles et les comportements du système réel. En ce sens, la préparation à cette épreuve appelle à appliquer les méthodes de l'automatique et à en extraire les comportements sur le système étudié. Une approche globale est nécessaire.

Partie C : Commandes en vitesse et en position

La partie C traitait de la commande en position de la cabine à partir de l'étude des capteurs.

Cette partie a été abordée et traitée par un grand nombre de candidats.

L'étude du codeur incrémental a été abordée par un grand nombre de candidats. Le jury regrette que certains candidats maîtrisent mal ces notions classiques.

L'étude de la liaison de transmission de données RS422 a quelquefois été perçue comme une boucle de courant (4-20mA). Tous les candidats n'ont pas encore assimilé l'intérêt d'une adaptation d'impédance sur une ligne de transmission (élimination des réflexions).

L'étude de la boucle de régulation de vitesse a été traitée par moins de 30% des candidats. Il reste encore des candidats qui ne savent pas tracer le diagramme asymptotique d'un intégrateur pur.

Trop de candidats n'ont pas tenu compte du fait que l'entrée était une rampe et que dans ce cas le correcteur PI était insuffisant pour remplir le cahier des charges demandé.

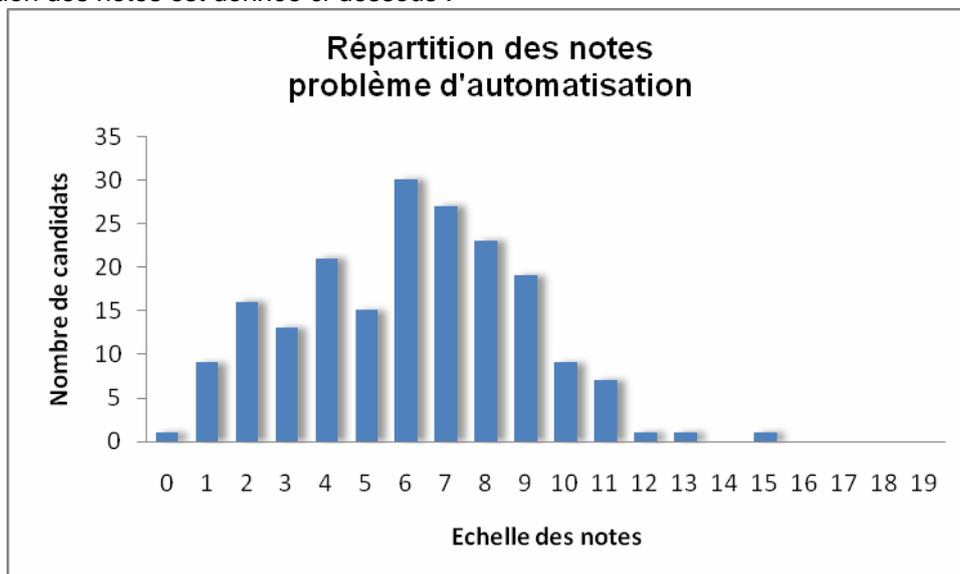
Partie D : Réseaux de communication utilisés

Cette partie du sujet a été très peu traitée par les candidats d'origine électrotechnique.

Lorsque cela a été fait, majoritairement par les candidats d'origine électronique, il a été constaté que des notions générales de réseaux telles que topologies, méthodes d'accès à des réseaux multipoints, réseaux déterministes et aléatoires, sont connues ainsi que les classes d'adresses IP (*Classfull-IP*), les caractéristiques et l'utilisation de ces adresses IP (par exemple le *Subnetting-IP*).

Par contre, le jury a remarqué un certain nombre d'erreurs relatives au fonctionnement des nœuds de types concentrateurs, commutateurs Ethernet et routeurs IP ainsi qu'aux entités traitées par ces nœuds (trames Ethernet, paquets IP) avec très souvent des confusions dues à une méconnaissance du modèle OSI.

La répartition des notes est donnée ci-dessous :



AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

COMMENTAIRES DU JURY SUR LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSION

1. Textes réglementaires et attendus de l'épreuve

1.1. Textes réglementaires

Annexe à l'arrêté du 12 septembre 1988 fixant les modalités des concours de l'agrégation épreuves du concours interne de l'agrégation section génie électrique

1ère épreuve d'admission Durée : 1heure Coefficient : 1

L'épreuve consiste en la présentation et la soutenance par le candidat d'un dossier original relatif à un projet qu'il a conduit dans le cadre de la discipline dans laquelle il enseigne.

Le thème du projet est pris dans les programmes des enseignements technologiques de la spécialité donnés dans les classes terminales de lycée ou dans les classes post-baccalauréat.

Le projet doit mettre en valeur :

- *d'une part, la dimension technologique du thème dans ses composantes scientifiques, techniques et aussi économiques, sociales et humaines ;*
- *d'autre part, les aspects pédagogiques en relation avec le niveau d'enseignement retenu.*

Le candidat dispose de trente minutes pour présenter :

- *les raisons qui l'ont conduit au choix du thème ;*
- *les réalisations (documents, matériels, logiciels) relatives aux aspects techniques et pédagogiques du projet ;*
- *les objectifs pédagogiques retenus, leur opérationnalisation, notamment les modes et critères d'évaluation retenus ;*
- *les documents d'enseignement établis.*

Le jury, au cours de l'entretien de trente minutes qui suit l'exposé, peut :

- *faire approfondir certains points du projet ;*
- *demander des précisions sur les solutions techniques adoptées ;*
- *faire expliciter certains aspects de la démarche pédagogique.*

Le jury apprécie :

- *la valeur industrielle, technique et économique du thème retenu ;*
- *la qualité du travail effectué ;*
- *les connaissances scientifiques et techniques du candidat ;*
- *la maîtrise de la didactique de la discipline, des méthodes et moyens d'enseignement ;*
- *la connaissance de l'environnement du système technique support du thème ;*
- *la qualité d'expression et de communication du candidat.*

1.2. Attendus de l'épreuve

Cette épreuve doit permettre aux candidats de démontrer qu'ils sont capables de proposer une exploitation pédagogique cohérente et pertinente s'appuyant sur un support technique industriel récent reposant sur une technologie non obsolète. Dans le dossier présenté, ils doivent :

- montrer leur maîtrise des aspects scientifiques et techniques des problématiques abordées,
- dégager une des problématiques majeures du support et l'exploiter pédagogiquement
- mettre en évidence leur démarche pédagogique en relation avec la didactique de la discipline.

Cette épreuve doit aussi permettre d'apprécier la connaissance du milieu industriel par le candidat et notamment des domaines d'activités des techniciens supérieurs qu'il a pour mission de former.

2. Organisation de l'épreuve

2.1. Déroulement global

Le déroulement de cette première épreuve d'admission est le suivant :

- 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) ;
- le jury expertise ce dossier avant la soutenance du candidat ;
- le candidat présente oralement au jury les éléments principaux de son dossier pendant trente minutes ;
- à l'issue de cet exposé, le candidat apporte des éléments complémentaires en réponse à des questions que les membres du jury ont relevées à la lecture du dossier ou durant l'exposé (trente minutes environ).

2.2. Constitution du dossier

Le dossier doit être clairement identifié (nom et prénom du candidat, titre de l'étude) et bien structuré (sommaire, introduction, ..., conclusion, bibliographie, annexes, pagination).

L'expression écrite doit être maîtrisée sans fautes d'orthographe et la présentation graphique de qualité (schémas et documents techniques lisibles).

Le dossier comporte deux parties :

- une étude scientifique et technique,
- une exploitation pédagogique.

Il n'y a pas d'étude scientifique et technique « type » mais cette partie doit au moins comprendre :

- la présentation du système industriel retenu comme support, avec :
 - * le cahier des charges industriel original,
 - * l'analyse fonctionnelle du système,
 - * l'environnement économique, social et humain,
 - * les documents techniques élaborés ou rassemblés nécessaires à l'étude ;
- la définition et les objectifs d'un ou des problèmes techniques que le candidat a identifiés ou choisis de développer ;
- une analyse scientifique et technologique des problèmes retenus ;

Le cœur de cette première partie du dossier est l'étude scientifique et technique qui justifie les solutions retenues, elle doit être en rapport avec le niveau d'exigence de l'agrégation.

La partie pédagogique est destinée à des élèves des classes SI (sciences de l'ingénieur), STI (sciences et techniques industrielles) et/ou à des étudiants des classes post baccalauréat (STS, IUT, CPGE).

Elle est constituée de :

- l'adéquation des objectifs de formation avec la problématique traitée dans le dossier scientifique et technique ;
- la présentation d'une séquence de formation construite à partir d'un ou plusieurs centres d'intérêt et de son positionnement dans une progression ;
- le développement d'une (ou plusieurs) séance(s) pédagogique(s) en faisant apparaître les documents professeur, élève, ressource...

Le jury attend notamment que le candidat soit en mesure de :

- décliner dans le cadre du (ou des) référentiel(s) choisi(s) des thèmes abordables ;
- réfléchir sur la façon dont s'articulent les différents contenus de formation (acquis et prérequis, ...)
- choisir et justifier la démarche et les outils pédagogiques utilisés, en fonction des objectifs visés ;
- proposer des stratégies d'évaluation et de remédiation.

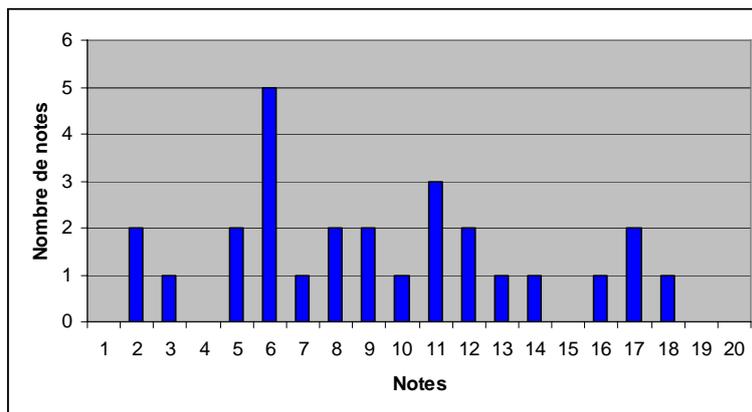
2.3. Exposé du candidat

Le candidat dispose d'un quart d'heure de préparation avant son exposé. Les équipements mis à la disposition du candidat dans la salle d'exposé sont : un poste informatique, un vidéo-projecteur, un tableau. Le candidat peut aussi utiliser son ordinateur portable personnel.

Le jury n'intervient pas durant l'exposé qui dure au maximum trente minutes. Ce dernier est suivi d'une phase de questionnement de trente minutes également de la part du jury.

3. Résultats et commentaires pour la session 2011

Les résultats obtenus par les candidats, pour la session 2011, sont regroupés dans l'histogramme ci-dessous.



Des candidats ont très bien compris l'épreuve. Dans ce cas, le dossier a été préparé à partir d'un support industriel parfaitement maîtrisé et analysé. De plus :

- le professeur a souvent rencontré les concepteurs ou les responsables techniques,
- l'analyse a été conduite avec précision sans éléments inutiles,
- les problématiques étudiées et exploitées au niveau pédagogique en relation avec les éléments essentiels de l'analyse,
- les objectifs pédagogiques explicités, organisés et faisant clairement apparaître les savoirs visés,
- les séquences pédagogiques complètement développées (avec les documents élèves, la préparation professeur, les dossiers annexes),
- les objectifs et les contenus des évaluations différenciés et partagés entre « évaluation formative, sommative et certificative »,
- la présentation bien organisée et bien minutée.

Pour les candidats n'ayant pas correctement réussi cette épreuve, le jury a constaté les insuffisances suivantes :

- Concernant la partie technique du dossier :
 - l'absence du cahier des charges industriel original,
 - une étude technique réduite à une compilation de documents, ne proposant que peu d'analyse scientifique et technologique des solutions retenues par le concepteur,
 - l'obsolescence des systèmes choisis,
 - des supports insuffisamment riches sur les plans scientifiques et technologiques,
 - l'absence de description fonctionnelle,
 - une lisibilité insuffisante des documents fournis,
 - un manque d'initiative et de curiosité scientifique.
- Concernant la partie pédagogique du dossier, le jury constate des progrès dans la présentation des documents destinés aux élèves tels que textes de TP, documents d'appui, Il espère que les efforts continueront en ce sens, mais relève encore :
 - l'absence de cohérence entre le système étudié et les objectifs pédagogiques visés,
 - la confusion entre objectifs pédagogiques, problématique technique qui légitime le travail demandé, connaissances (savoir) et capacités (savoir-faire), indicateurs pour l'évaluation et critères d'évaluation,
 - l'éloignement de l'exploitation pédagogique par rapport à la structure réelle de l'objet technique,
 - des termes et des choix pédagogiques mal maîtrisés,
 - trop d'activités proposées en TP correspondant à des activités de travaux dirigés ou de préparation.
- Concernant les exposés le jury constate que :
 - les exposés ne sont pas toujours bien préparés,
 - les techniques, autres que celles de la spécialité, sont mal connues et quelquefois délibérément ignorées,

- l'analyse scientifique insuffisante des dossiers ne permet pas la mise en valeur de toutes les pistes de formation,
- certains candidats manquent d'ouverture d'esprit lors de l'entretien avec le jury.
- La technique d'exposé oral est parfois mal maîtrisée

4. Conseils du jury

4.1. Choix du système et préparation du dossier scientifique et technique

Certains candidats n'apportent toujours pas le soin nécessaire à la préparation de cette épreuve. Ils doivent s'efforcer de trouver des supports techniques utilisant des technologies non obsolètes et comprendre que la préparation et la mise en forme de ce dossier nécessitent plusieurs mois de recherches et de réflexions. Les dossiers ne peuvent s'improviser dans la confusion des quelques jours qui séparent les épreuves d'admissibilité des épreuves d'admission. Le jury apprécie que les dossiers clairs, précis et sans documents inutiles.

Par ailleurs, il semble indispensable dans le cadre d'une agrégation de choisir un support à caractère pluri-technologique balayant le plus largement possible le spectre du génie électrique. Un dossier ne relevant que d'un seul domaine (approche exclusivement informatique industrielle pour un candidat génie électronique, ou uniquement automatique pour un candidat génie électrotechnique) sera pénalisant.

Le jury apporte une attention toute particulière à l'originalité et à l'authenticité du support proposé, ainsi qu'à la qualité scientifique et technologique des problématiques dégagées. Il souhaite vivement que les candidats s'appuient sur un support technique issu des entreprises. Trop de candidats réutilisent des supports académiques didactisés, éloignés des réalités et des exigences industrielles. La production d'un objet technique ou d'un pseudo-système conçu intégralement par le candidat est nécessairement sanctionnée par le jury.

Certains candidats méconnaissent les contenus scientifiques reliés aux systèmes qu'ils présentent alors que cette dimension est une exigence au niveau de cette épreuve. D'autres développent exclusivement l'analyse des fondamentaux scientifiques au détriment des fondamentaux technologiques.

Le support technique est un système industriel ou un objet technique issu d'un système ou un produit du domaine des biens et services. Il doit également mettre en valeur la dimension économique, sociale et humaine afin d'identifier et de définir le besoin auquel répond le support technique. Les schémas fonctionnels et structurels (et les différentes modélisations logicielles si nécessaire) doivent figurer dans le dossier. Ces derniers permettent d'avoir une vision globale du support et de replacer la partie étudiée par le candidat dans son contexte fonctionnel et structurel.

Les candidats doivent développer une **analyse scientifique et technique** en rapport avec le niveau **d'exigence de l'agrégation**.

Plusieurs candidats ont repris avec les mêmes erreurs un dossier présenté à l'occasion d'une première admissibilité. Le jury recommande fortement aux candidats non admis qui décident de garder le même support de remanier profondément leur dossier en tenant compte des remarques qui leur ont été faites.

4.2. Exploitation pédagogique

Les exploitations pédagogiques proposées aux élèves ou étudiants doivent obligatoirement s'appuyer sur le support étudié et son cahier des charges, par exemple :

- Les électroniciens étudieront les schémas du concepteur sans aucune modification dans un premier temps. Les réalisations doivent aller dans le sens de l'évolution technologique ;
- Les électrotechniciens apporteront un soin particulier aux similitudes significatives entre le système réel étudié et l'application pédagogique. Celle-ci ne doit pas s'éloigner du comportement du système réel. En effet, la transposition didactique doit respecter pour l'essentiel le comportement et l'architecture du système étudié. Par exemple, dans le cas d'un équipement de motorisation, l'allure du couple résistant exercé par la charge devra être respectée, un ventilateur ou une pompe ne peut pas en effet être modélisé par un couple indépendant de la vitesse. D'une manière générale, le rapport des inerties entre un moteur et sa charge devra autant que possible être reproduit sur le système ou le sous-système didactique.

Dans tous les cas, les applications pédagogiques s'inscrivent dans l'étude du système. Ces applications valident les solutions techniques retenues par le concepteur en faisant un retour sur le cahier des charges. Le candidat doit faire un travail d'appropriation du dossier technique en liaison avec les contraintes industrielles certes, mais c'est le travail de conception du dossier pédagogique et des séquences d'apprentissage, notamment les TP proposés aux étudiants ou élèves que le jury apprécie.

Lors de l'exposé, le jury apprécie que le candidat utilise et maîtrise les outils multimédia de présentation. A cet effet, le candidat dispose d'un ordinateur et d'un vidéo-projecteur. Cependant la forme ne doit pas se substituer pas au fond. Il apprécie également que le candidat expose clairement son propos en s'adressant au jury et arrive à se détacher d'un texte.

Quelques candidats ne font pas encore la démonstration qu'ils ont réellement mis en œuvre et exploité les systèmes et les séquences pédagogiques qu'ils décrivent. On conseille aux candidats de se rapprocher des sections visées par leurs objectifs pédagogiques. Les candidats, qui enseignent dans plusieurs classes, doivent choisir celle qui est la plus adaptée pour la séquence pédagogique.

D'autres n'ont pas compris les objectifs visés par l'épreuve ou n'ont pas lu la définition de l'épreuve. Leur prestation ne permet donc pas l'évaluation de l'ensemble des champs visés.

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

COMMENTAIRE du JURY sur la SECONDE ÉPREUVE D'ADMISSION

Option A : Electronique et Informatique Industrielle

COMMENTAIRES DU JURY

A - ORGANISATION DE L'ÉPREUVE

Depuis la session de 2002 les calculatrices personnelles sont interdites. Une calculatrice de base est fournie par le centre d'examen.

Pour la session 2011, l'épreuve de travaux pratiques conserve la durée et la structure de celle de 2010.

L'épreuve se déroule en deux parties

Partie 1 : durée 4 heures

Elle consiste en une expérimentation imposée sur un support technique industriel donné. Le découpage temporel indicatif est le suivant :

- **Phase 1** - 30 mn environ - Lecture du sujet et appropriation du poste de travail.
- **Phase 2** – Durant environ 3 heures, le candidat présente ponctuellement et justifie oralement auprès des membres de la commission d'interrogation les méthodes et les moyens envisagés pour accomplir les installations, les configurations et les mesures de validation demandées. Tout le travail réalisé par le candidat doit être consigné sur un rapport écrit et/ou validé par les membres de la commission.
- **Phase 3** - Phase de synthèse orale d'une quinzaine de minutes avec les membres de la commission.

Repas en loge d'une durée de 1 heure

Partie 2 : durée 3 heures

Cette partie est la réalisation d'une séquence pédagogique à caractère expérimental, s'appuyant sur le support étudié durant la première phase de l'épreuve. Cette séquence doit être validée par des mesures ou par des résultats expérimentaux que le candidat doit restituer en fin d'épreuve.

- **Phase 4** – À partir de directives fixées par les membres de la commission, le candidat développe une exploitation pédagogique au niveau requis. Les mesures proposées doivent être réalisées et explicitées. Au cours de cette phase, le candidat présente oralement aux membres de la commission d'interrogation sa proposition d'exploitation pédagogique avec les activités de mesures sur le support donné.
- **Phase 5** - Restitution par le candidat d'un compte rendu écrit sur cette seconde partie.

A tout moment au cours de l'épreuve, les membres de la commission d'interrogation peuvent intervenir. L'évaluation est permanente.

L'évaluation du candidat repose particulièrement sur les points suivants :

- L'analyse et l'exploitation des documents fournis,
- La configuration, la mise en œuvre et l'utilisation des matériels (en sécurité),
- L'exploitation des résultats de mesure,
- La pertinence des exploitations pédagogiques proposées,
- Le niveau de réflexion pédagogique (objectifs opérationnalisés),
- La qualité d'expression et de communication (écrite et orale).

B – DESCRIPTIF DES SUPPORTS PROPOSÉS EN 2011 :

Cette épreuve reposait sur l'utilisation de cinq supports :

- Un projecteur de spectacle motorisé,
- Un système de pilotage et de désembuage de rétroviseurs de véhicule industriel,
- Une station de mesure du vent et de la température,
- Une station de mesure de hauteur de neige,
- Un robot mobile de surveillance piloté en Wifi.

Les systèmes industriels supports de cette épreuve sont utilisés dans les domaines de l'électronique, de l'informatique et des réseaux et télécommunications.

a) Projecteur de spectacle motorisé

Le projecteur de spectacle motorisé permet d'illustrer la commande des moteurs dans les conditions particulières du spectacle notamment la nécessité d'obtenir un déplacement précis et fluide. Le candidat doit analyser cette commande spécifique de moteurs pas à pas. Une programmation partielle, en langage C, d'un microcontrôleur est demandée au candidat.

Pour la **première partie**, le jury a constaté que la prise en main du système a été globalement bien abordée par les candidats. Toutefois l'interprétation des mesures est souvent entachée d'erreurs en raison de la méconnaissance par les candidats du fonctionnement des moteurs pas à pas.

La partie programmation a été peu abordée, les candidats découvrant trop souvent les commandes de moteurs pas à pas. La maîtrise d'instruments tels que des analyseurs logiques est fortement conseillée.

Pour la **seconde partie**, le jury a regretté le manque de recul des candidats par rapport à la situation pédagogique proposée. Les objectifs de formation sont souvent mal définis, la séquence proposée n'est pas reliée à une progression globale pour la classe considérée (gestion des élèves, des matériels, de la synthèse et des évaluations...).

En conclusion, il est conseillé aux candidats :

- D'acquérir les connaissances sur la commande des moteurs pas à pas et sur la programmation des microcontrôleurs.
- De proposer des séquences pédagogiques réalistes tenant compte des connaissances des étudiants, du référentiel tout en respectant une progression pédagogique.

b) Un système de pilotage de rétroviseurs de véhicule industriel

Le système proposé permet de mettre en évidence la problématique de la commande multiplexée des organes d'un véhicule industriel. Le candidat est mis en situation de mettre en œuvre une application existante et de relever et caractériser la messagerie.

On demande ensuite de lier cette messagerie au système puis de produire une solution simulée, à l'aide de Matlab/Simulink, du calculateur et de l'interfacer avec la partie opérative réelle.

Le mécanisme de robustesse du bus est alors illustré en introduisant des trames d'erreur.

Dans la **deuxième partie**, prestation pédagogique, on constate que les candidats ne font pas une réduction du système pour aborder une problématique accessible aux élèves. Une bonne maîtrise des temps alloués à chaque phase de l'activité élève est indispensable. Les objectifs clairs d'apprentissage, les documents d'accompagnement, le descriptif de l'environnement dans lequel l'élève va travailler et les conditions d'évaluation sont souvent mal ou pas abordés. Les candidats confondent notamment les tâches à effectuer sur le système avec les objectifs pédagogiques de la séquence de travaux pratiques.

Les spécificités des réseaux de terrain sont maîtrisées de manière approximative par les candidats, en particulier la notion de déterminisme.

La connaissance du bus CAN est jugée très insuffisante. La notion de messagerie n'est pas maîtrisée. Les notions de sécurité ne sont pas abordées.

Station de mesure de hauteur de neige

La **station de mesure de hauteur de neige** permet de suivre l'évolution du manteau neigeux sur le lieu de son implantation. On utilise un capteur sans contact fonctionnant par onde ultrasonore. L'ensemble de la carte électronique est piloté par un microcontrôleur PIC qui introduit les paramètres de correction et les algorithmes de filtrage de bruit ou de fausses mesures.

La carte d'acquisition de hauteur de neige délivre les mesures sous forme analogique pour les concentrateurs EDF (RTC et GSM) et sous forme numérique (sortie RS232, USB, boucle de courant) pour les modules de transmission réseau (Protocoles utilisés : http, TCP, FTP...).

La **première partie** de l'épreuve, d'une durée de 4 heures, permet au candidat de paramétrer le système à l'aide d'une application Windows spécifique. Au cours de cette étude, le candidat analyse le signal émis par le transducteur ultrasonore puis la chaîne de traitement analogique de l'écho transmis par l'objet mesuré.

Ensuite, après configuration d'une passerelle Ethernet, il procède à l'installation d'un capteur de hauteur de neige en réseau puis à l'analyse des trames échangées. Pour ce faire, il utilise le logiciel Wireshark (analyseur Ethernet).

Enfin, il effectue la mise en service du système à l'aide d'un logiciel de navigation Internet et d'un client FTP.

Dans la **seconde partie** de l'épreuve, il était demandé de proposer une exploitation pédagogique et plus particulièrement le détail d'une séance de TP dont le centre d'intérêt était orienté sur les réseaux.

Il est recommandé aux candidats ni de se contenter d'une étude théorique des réseaux ni de se limiter au câblage. Il est important de réfléchir aux stratégies pédagogiques qui pourraient être mises en œuvre en travaux pratiques dans des séances de découverte ou de consolidation.

2. Station de mesure du vent

La pratique de sports aériens, en particulier ceux consistant en des vols de longue durée sans recours en une quelconque forme de propulsion, nécessitent la connaissance de la vitesse et de la direction du vent. Pour cela, des balises automatiques de mesure sont installées sur des mâts et transmettent les informations utiles à des abonnés et des stations locales.

Le module étudié est piloté par un microcontrôleur qui coordonne les différentes mesures et effectue les calculs utiles. Il comporte un CPLD qui change la caractéristique du signal porteur de l'information et la rend exploitable par le microcontrôleur.

Dans la **première partie**, il s'agit, d'effectuer les différents relevés utiles à la compréhension et à la mise en évidence du fonctionnement du module de mesure du vent et de la température puis de la transmission de cette information jusqu'à une station locale. Un serveur doit, alors, être configuré afin de tenir l'information à disposition d'un abonné.

Malgré la mise à disposition d'une partie des résultats attendus, les candidats ont encore manqué de réactivité face à un chronogramme surprenant. Ce défaut n'était pourtant dû qu'à un défaut de configuration du matériel.

Dans la **seconde partie**, il s'agissait de construire une séquence pédagogique détaillée et complète relative à la transmission (numérique) de l'information à partir du système proposé. Il était attendu une chronologie et des mesures appropriées au niveau des étudiants.

3. Robot mobile de surveillance piloté en Wifi

Le robot mobile de surveillance piloté en Wifi met en œuvre des liaisons réseaux filaires mais également sans fils. Un PC contrôle ce système pour le déplacement du robot et les orientations de la caméra embarquée et reçoit en retour l'image de la caméra IP ainsi que des informations sur l'état du robot.

Il est demandé de régler et de mettre en œuvre le robot par différentes configurations réseau. Parallèlement une analyse des échanges d'informations présents sur les différents liens de ce système doit être réalisée (utilisation du logiciel WireShark). Ces échanges couvrent les sept couches du modèle OSI.

Certains candidats semblent avoir des difficultés pour extraire les informations importantes dans une documentation constructeur.

Par contre, les candidats ont des connaissances très variées, des protocoles utilisés, de leur analyse et de leur implication dans ce système. Nous encourageons les candidats à avoir un minimum de connaissances théoriques et pratiques dans ce domaine (couches du modèle OSI, protocoles courants, adressage IP, ...).

Pour la partie pédagogique, le jury regrette de constater que les expérimentations sont trop souvent quasi inexistantes.

C - CONSTATS GÉNÉRAUX SUR LA PREMIÈRE PARTIE : PRÉPARATION ET EXPÉRIMENTATION

Rappel : l'objectif de cette partie est d'évaluer les capacités des candidats à exploiter les documents techniques fournis afin de procéder à la mise en œuvre d'un système industriel et d'en vérifier ses caractéristiques essentielles.

Dans l'épreuve de travaux pratiques, les candidats doivent éviter de longs développements théoriques et doivent plutôt se consacrer à l'aspect expérimental qui est un des objectifs principaux de cette épreuve.

De façon générale, il résulte de la mauvaise exploitation des documents, de sérieuses difficultés à analyser le traitement effectué sur des capteurs, à interpréter les mesures demandées ou à configurer le dispositif.

Le jury a pu constater un manque de rigueur dans l'élaboration d'une méthodologie d'analyse du système et dans l'interprétation des relevés. Ce dernier aspect n'a été - la plupart du temps - que partiellement traité.

Le nombre des questions traitées est souvent insuffisant au regard du temps consacré.

Le jury rappelle aux candidats que le fait d'enseigner sur une thématique particulière

(électronique, informatique industrielle) ne dispense pas de s'intéresser aux autres champs disciplinaires.

Remarques particulières :

- Le jury constate trop souvent des difficultés de mise en œuvre des moyens « classiques » de mesurage ;
- L'oscilloscope est souvent mal utilisé et sous exploité par de nombreux candidats. Peu de candidats utilisent pleinement les possibilités de mesures sur les signaux, proposées par ces instruments (amplitude, durées, fréquences, etc.) ;
- L'utilisation d'un analyseur de protocole USB est souvent non maîtrisée.
- Les candidats sont souvent réticents à l'utilisation de l'analyseur logique pour étudier une trame
- Certains candidats transposent mal, voire pas du tout, leurs connaissances théoriques au plan expérimental ;

- Les justifications des protocoles expérimentaux et des modes opératoires sont souvent absents. L'analyse des résultats de mesures reste parfois superficielle au point que le phénomène de sous-échantillonnage passe totalement inaperçu ;
- L'utilisation des mesures n'est pas une fin en soi mais doit être faite pour illustrer tel ou tel phénomène particulier du système pris dans sa globalité ou vérifier une performance annoncée par le cahier des charges.

D - COMMENTAIRES SUR LA SECONDE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Elle est parfois mal structurée en raison d'une difficulté à définir l'objectif de la séquence expérimentale et de la situer dans un cycle de progression.

La plupart des candidats éprouvent des difficultés à se projeter dans des situations réelles de didactisation. Il en résulte que, **souvent ils restent au niveau des intentions** et des propositions de séquence pédagogiques vagues. **Cette partie doit être étayée par des expérimentations et des mesures.**

Il est conseillé aux candidats de proposer des séquences pédagogiques réalistes tenant compte des connaissances des étudiants en respectant une progression pédagogique et d'avoir le souci du temps nécessaire à la réalisation des expérimentations. D'autre part, le candidat oublie les ressources matérielles nécessairement limitées pour construire sa séquence pédagogique.

Il est recommandé aux candidats de se rapprocher des sections de STS systèmes électroniques et IRIS, ou des départements GEII des IUT pour prendre connaissance des conditions de fonctionnement et des organisations pédagogiques

E – CONCLUSIONS

En conclusion, Il est conseillé aux candidats de :

- Prendre connaissance des référentiels des différents diplômes (en particulier BTS et DUT),
- Apprendre à gérer correctement le temps imparti,
- **Lire complètement** et de manière pertinente les dossiers de présentation et de questionnements.
- Élargir leur culture scientifique de façon à ne pas être dérouté par des problèmes aux marges de la discipline et suivre de près l'évolution des technologies et des fonctions de l'électronique.
- Renforcer les connaissances des fonctions de base de l'électronique (amplification, filtrage, modulateurs, démodulateurs, systèmes bouclés, oscillateurs, capteurs, etc.), des technologies de réseaux et de liaisons numériques (Ethernet filaire et non filaire, TCP/IP, CAN, RS232, RS485, I²C, SPI...) et de l'informatique industrielle (communications, réseaux, méthodes, outils, etc.) en adéquation avec les nouveaux référentiels BTS/DUT.
- Connaître les techniques de mise en œuvre des circuits programmables ou configurables (microcontrôleurs, FPGA, CPLD, etc.), ainsi que les langages associés au développement d'applications (C, VHDL, HTML...).
- Savoir proposer les méthodes de mesure adaptées aux problèmes posés.

- D'acquérir des connaissances sur les moteurs pas à pas et leur mise en œuvre.
- De se familiariser avec les appareils de mesures récents et/ou peu courants (analyseur de spectre, générateur HF, analyseurs de trames, analyseur logique ...).

À l'ère des communications, il est dommage qu'encore trop de candidats ne sachent pas exploiter correctement un analyseur de trames Ethernet et n'aient pas une réflexion pédagogique suffisante permettant d'amener les élèves ou étudiants à appréhender les concepts de base des réseaux au travers d'expérimentations construites et progressives.

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

COMMENTAIRE du JURY sur la SECONDE ÉPREUVE D'ADMISSION

Option B : Électrotechnique et électronique de puissance

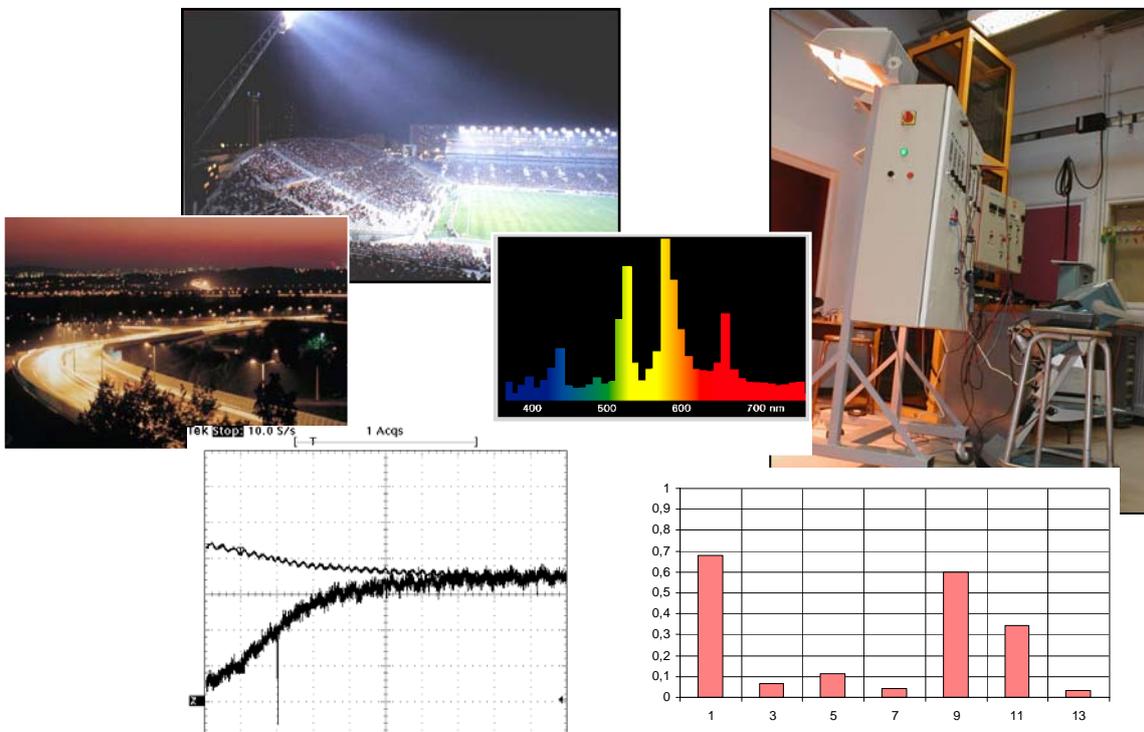
A – DESCRIPTIF DES SUPPORTS PROPOSÉS

En 2011, cette épreuve abordait les thèmes suivants :

- l'éclairage public,
- les alimentations normal-secours,
- le chauffage réversible d'une habitation,
- production et gestion d'énergie électrique à partir de panneaux solaires
- la pollution harmonique des réseaux électriques,
- Les systèmes Start and Go

Ces thèmes sont illustrés dans les pages qui suivent :

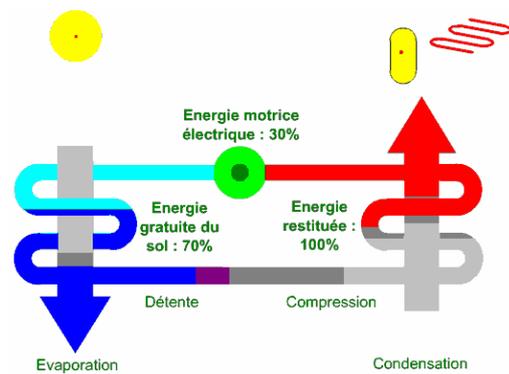
ÉCLAIRAGE PUBLIC



ALIMENTATION NORMAL SECOURS



LE CHAUFFAGE REVERSIBLE D'UNE HABITATION



Principe de fonctionnement de la pompe à chaleur.

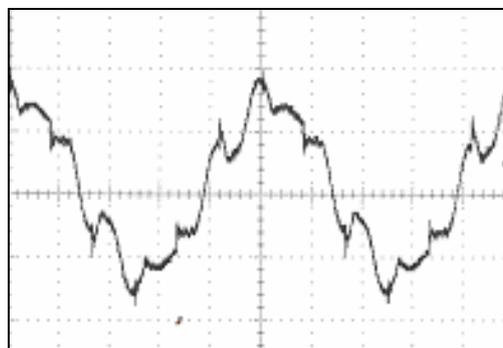
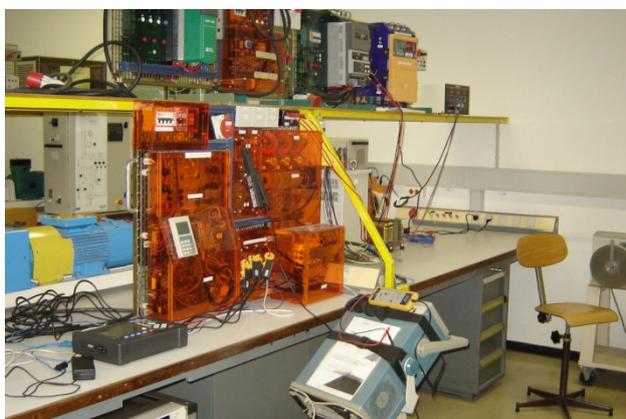
PRODUCTION ET GESTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE À PARTIR DE PANNEAUX SOLAIRES



LE SYSTÈME START AND GO



LA POLLUTION HARMONIQUE DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES



B – DÉROULEMENT DE L'ÉPREUVE

La seconde épreuve d'admission se déroule en deux parties :

La première partie, d'une durée de 4h, traite de l'analyse et de l'expérimentation du système. Il est demandé au candidat d'étudier et de modéliser le système puis de s'approprier celui-ci par des essais expérimentaux imposés.

Dans la seconde partie d'une durée de 3h, il s'agit de proposer une exploitation pédagogique avec une expérimentation destinée aux élèves.

Dans cette séquence, le système est utilisé dans un contexte libre ou conseillé. Les exploitations pédagogiques développées doivent correspondre à cette nouvelle approche du système. Les expérimentations proposées sont nécessairement différentes de celles réalisées dans la première partie de l'épreuve.

C – ATTENDUS ET CONSEILS AUX CANDIDATS

Pour préparer cette épreuve, le jury invite les candidats à :

- consolider leurs compétences scientifiques dans les domaines cités ci-dessus,
- enrichir leur culture technologique par la lecture de publications et de documentations techniques de produits récents,
- élargir leurs centres d'intérêts en particulier aux nouvelles applications de l'énergie électrique de notre monde contemporain en intégrant les enjeux économiques et environnementaux,
- prendre connaissance des référentiels des baccalauréats de la spécialité et du BTS électrotechnique afin de pouvoir situer leurs exploitations pédagogiques dans un plan de formation élèves,

Le jury attend que les candidats

- soient capables de choisir et d'utiliser les appareils de mesure adaptés aux besoins des essais,
- soient capables d'élaborer un protocole expérimental cohérent et réfléchi,
- sachent effectuer une modification mineure dans un programme d'API, ainsi qu'utiliser des correcteurs implantés dans des automates programmables,
- maîtrisent les notions d'interfaçage homme machine et sachent mettre en œuvre une communication par réseau ethernet ou de terrain (adresse IP, masquage, routage),
- soient à même de définir les objectifs dans une articulation tâches professionnelles/compétences/savoirs définis dans le référentiel,
- soient à même de définir l'organisation dans laquelle s'insère leurs propositions de séquences pédagogiques (par exemple : nombre d'élèves, rotations, etc.). A cet effet, il est conseillé de pouvoir observer les pratiques d'enseignement dans diverses sections et tout particulièrement en BTS électrotechnique,
- explicitent clairement leurs moyens de synthèse et les modalités d'évaluation,
- expriment leur capacité à dynamiser et susciter l'appétence d'un groupe d'élèves pour une activité expérimentale,
- développent des documents élèves sur une partie de leur proposition,
- proposent et réalisent les mesurages correspondant à ces documents

D – COMMENTAIRES SUR L'ÉPREUVE

Trop souvent les exploitations pédagogiques proposées s'appuient uniquement sur le travail expérimental de la première partie de l'épreuve auquel les candidats tentent d'adapter le référentiel.

La démarche attendue est inverse : le jury attend que le candidat définisse les activités expérimentales à partir des objectifs fixés dans la séquence proposée. Ceux-ci sont issus du référentiel et devront conduire à des essais complémentaires à ceux réalisés dans la première partie de l'épreuve.

Le jury note également le manque de recul sur l'articulation entre le déroulement de la séquence et les objectifs.

Trop souvent les activités expérimentales prennent la forme de « TPs tournants » s'appuyant sur un seul centre d'intérêt, étudié six fois par chaque élève sur six systèmes différents. Ce mode de fonctionnement n'est pas pertinent pour nombre de thématiques à traiter dans le référentiel du BTS électrotechnique.

Il est rappelé que l'organisation pédagogique par centres d'intérêt, avec une approche inductive impose de mettre en place des séances de synthèse pensées en amont de la réflexion pédagogique, qui ne peuvent se limiter à la correction des TPs réalisés par les étudiants, et qu'il n'est alors pas forcément nécessaire que tous les étudiants aient réalisé l'intégralité des activités proposées.

AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

TABLE DES MATIÈRES

Modalités du concours	p 1
Composition du jury	p 2
Données qualitatives	p 3
Corrigé de l'épreuve écrite option A	p 6
Commentaires sur l'épreuve écrite option A	p 36
Corrigé de l'épreuve écrite option B	p 38
Commentaires sur l'épreuve écrite option B	p 81
Corrigé de l'épreuve d'automatisation	p 85
Commentaires sur l'épreuve d'automatisation	p 99
Commentaires sur la première épreuve d'admission	p 101
Commentaires sur la seconde épreuve d'admission option A	p 106
Commentaires sur la seconde épreuve d'admission option B	p 112