

SESSION 2011

AGRÉGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER

Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE
Option B : ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

ÉPREUVE PRENANT APPUI SUR UN SYSTÈME INDUSTRIEL

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

FABRICATION ET CONDITIONNEMENT DE PAPIER

Ce sujet comporte 4 dossiers distincts :

📁 Dossier de présentation	7 pages
📁 Questionnement	25 pages
📁 Documents techniques (DTA à DTD)	39 pages
📁 Documents réponses DR	15 pages

Le sujet se décompose en cinq parties indépendantes :

- A- Augmenter la cadence de production du point de vue fabrication
- B- Diminuer les coûts de production d'un point de vue énergétique
- C- Augmenter la cadence de production du point de vue conditionnement
- D- Améliorer la fiabilité de la distribution électrique
- E- Exploitation pédagogique

Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront chaque partie, le jury préférant une réflexion d'ensemble de la partie abordée à un éparpillement des réponses.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est identifiée par une police **gras** et repérée par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

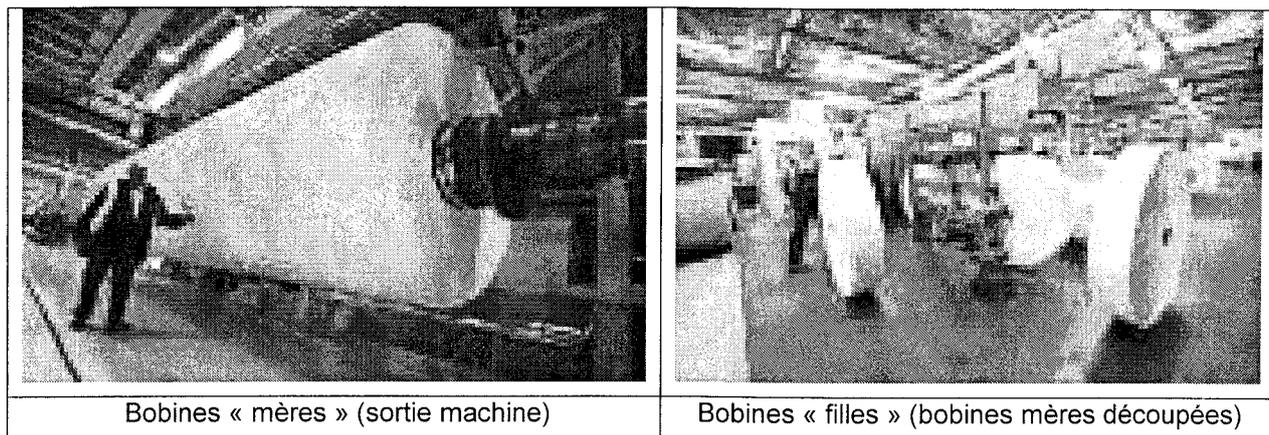
Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit : après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

PRESENTATION DU CONTEXTE ET DE LA PROBLEMATIQUE

L'étude porte sur la fabrication et le conditionnement en bobines de papier couché pour magazine par une usine implantée dans le Nord de la France.

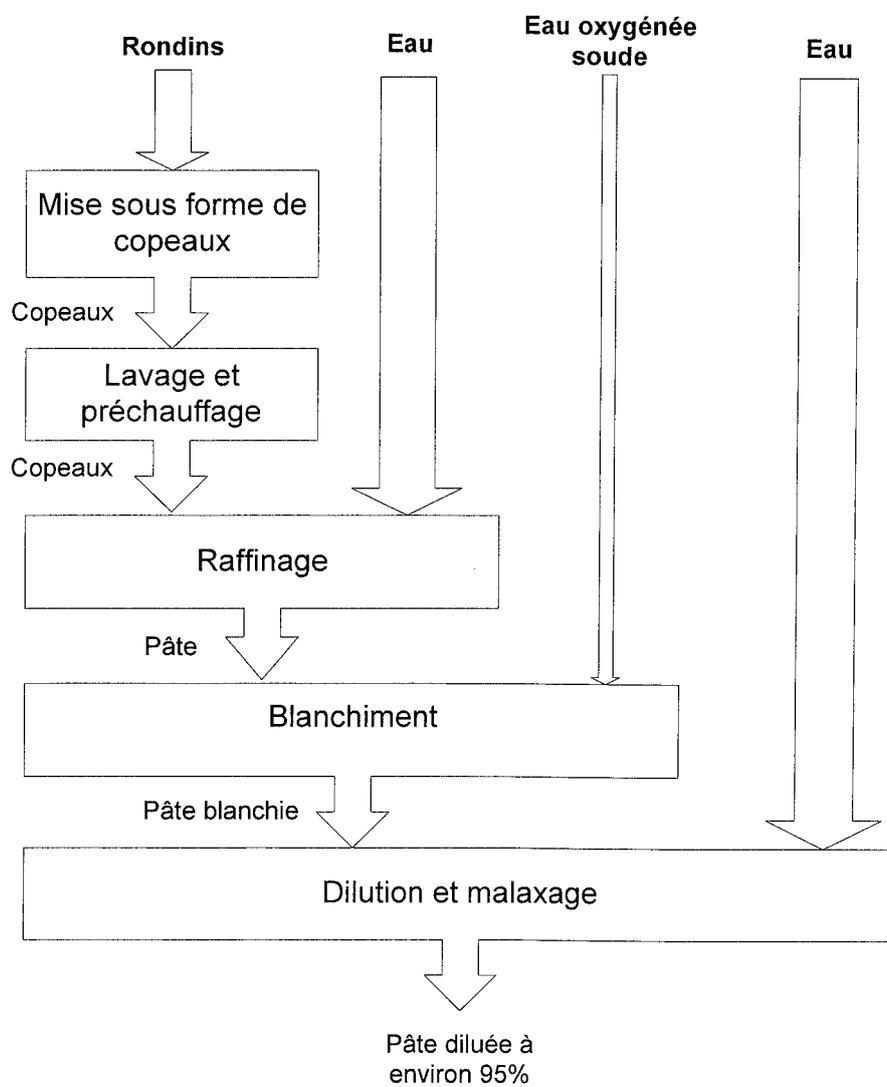
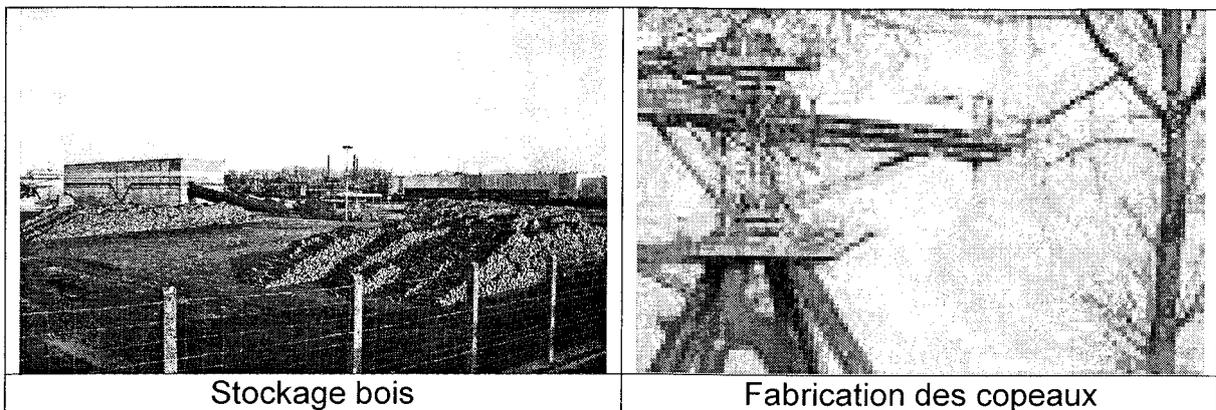


Le papier est fabriqué à partir des composants suivants :

- **Pâte thermomécanique** : fabriquée sur place à partir de bois d'arbre feuillu (1/3) et d'arbre résineux (2/3) ;
- **Pâte chimique** : (cellulose) importée ;
- **Eau** : tirée du pompage dans le canal voisin, du pompage dans la nappe phréatique et du recyclage des eaux usées, elle représente une consommation de 325 m³/h ;
- **Additifs** : azurant optique, kaolin déterminant blancheur et aspect du papier, amidon naturel et liants de fibres ;
- **Sauce de couchage** : composée de 90% de pigments (kaolin, talc, carbonate de calcium) et de 10% de liants (latex synthétique ou amidon naturel). La sauce détermine l'aspect et la brillance du papier et améliore les caractéristiques d'impression.

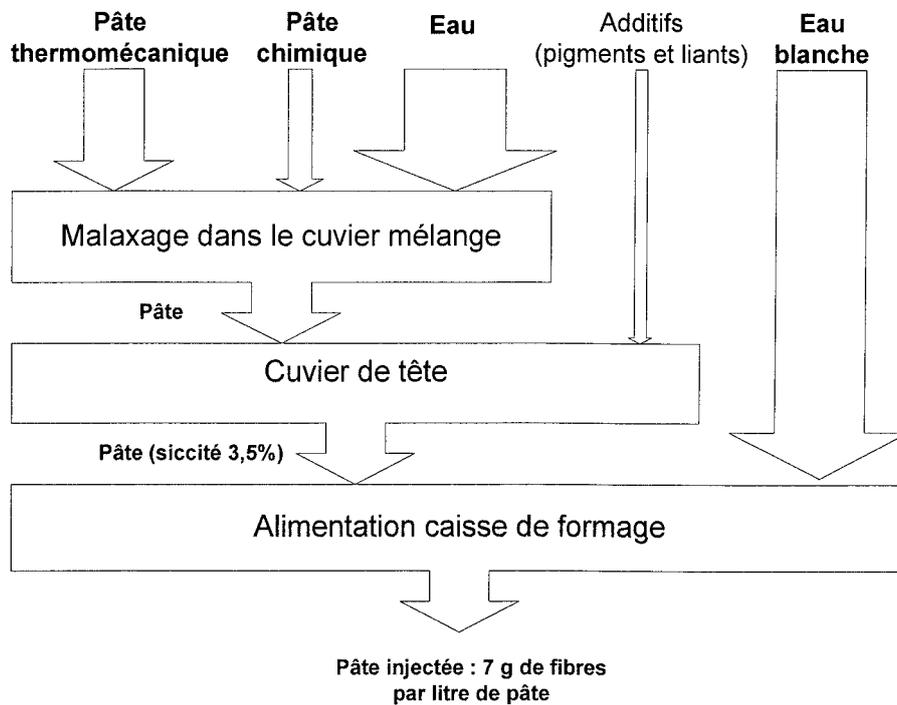
Le processus de fabrication est le suivant :

1-Fabrication de la pâte thermomécanique (sections copeaux et PTMR)

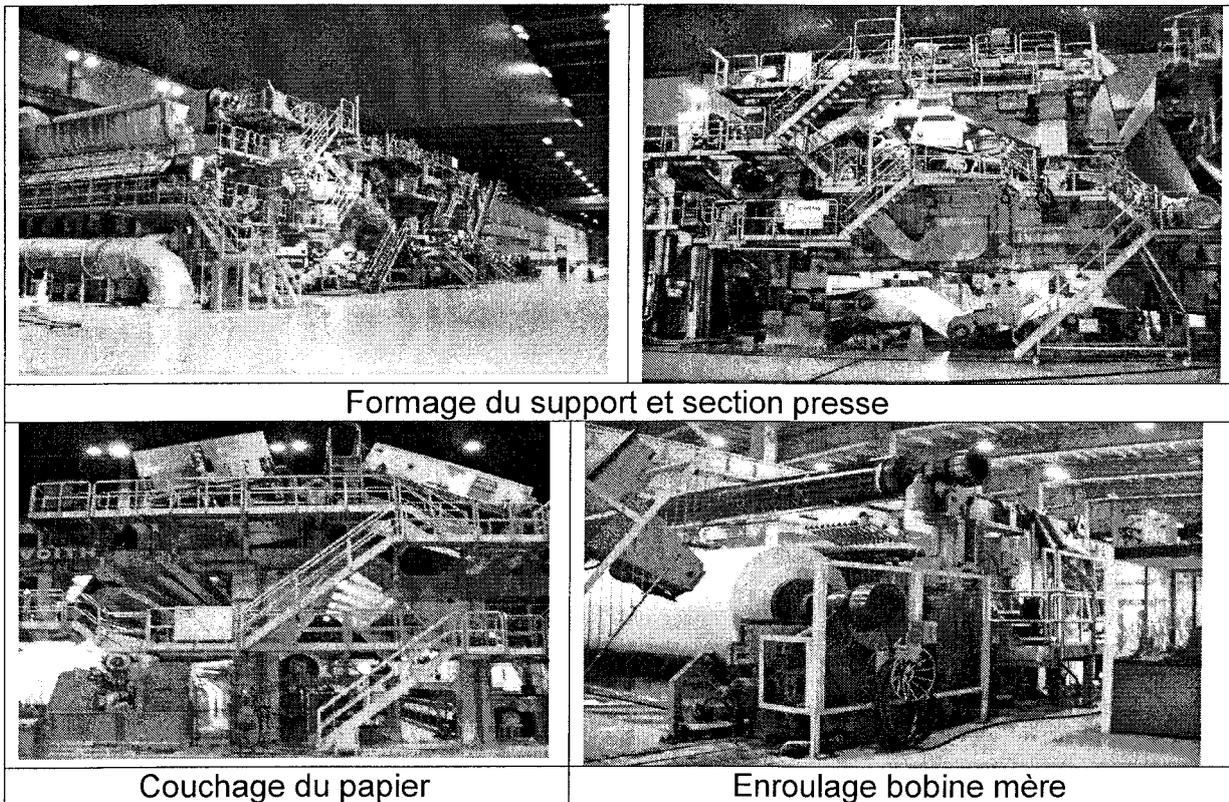


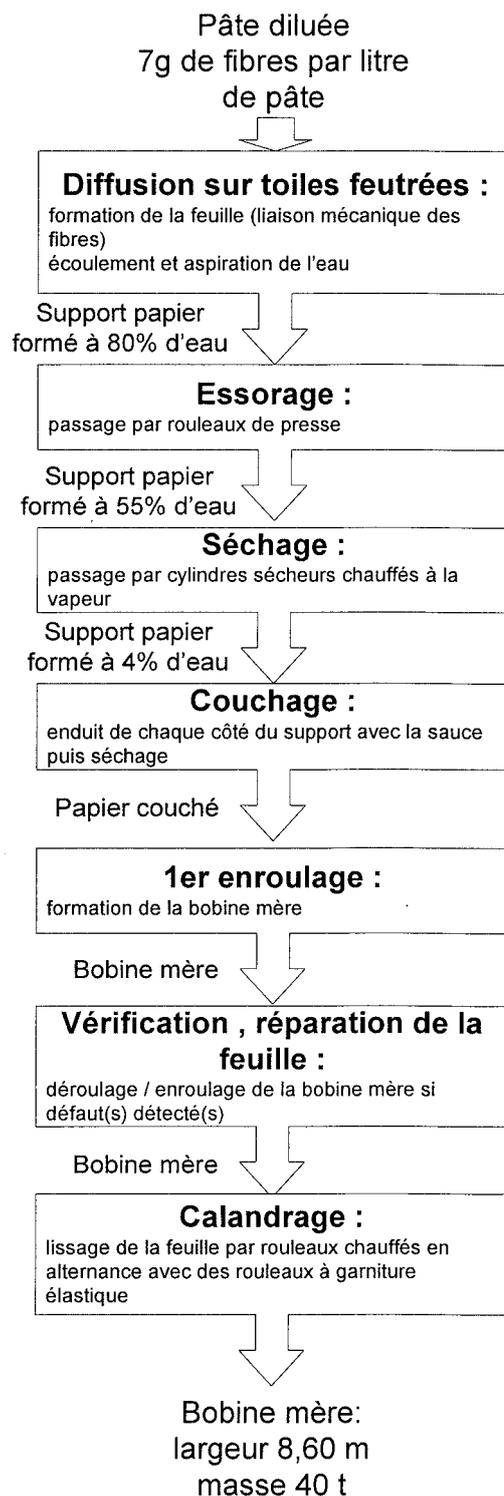
2-Fabrication du papier (machine **MP5**)

21- Fabrication de la pâte injectée



22- Formation d'une bobine mère



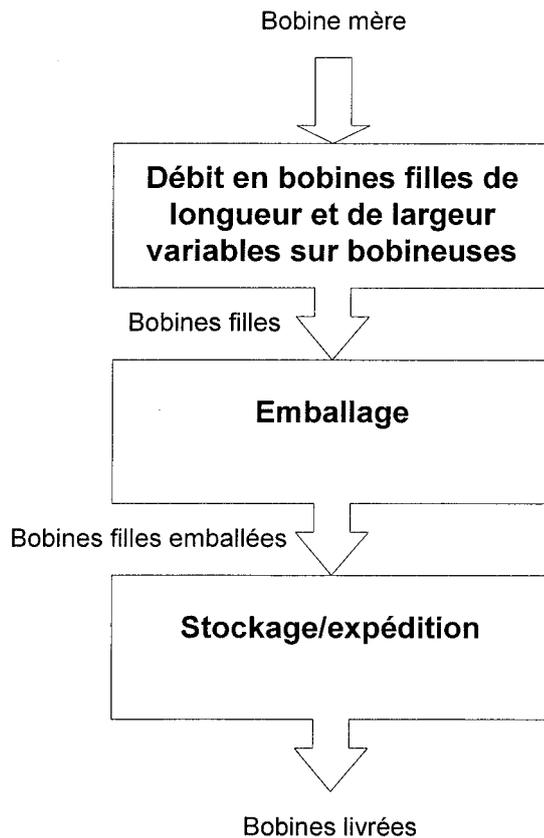


3-Produit fini

La machine produit 2 types de papier :

- papier hélio pour les grands formats : bobine de largeur comprise principalement entre 2,80 m et 3 m ;
- papier offset pour les petits formats : bobine de largeur comprise principalement entre 1 m et 1,20 m.

La capacité de production de la machine est de 900 t/jour.



L'eau est indispensable à la fabrication du papier, elle est utilisée à tous les stades de la fabrication depuis l'écorçage des rondins et la transformation du bois en pâte jusqu'au blanchiment de la pâte et la production de papier. Elle est récupérée à tous les stades de la production (eau blanche) et recyclée au maximum de manière interne de sorte que la consommation spécifique prélevée est réduite à 10 m³ par tonne de papier.

L'eau pompée est décarbonatée et filtrée avant distribution vers la production. L'usine possède une station d'épuration traitant toute eau rejetée vers le milieu naturel (canal) et les effluents.

L'usine, de part son histoire, possède une distribution électrique à plusieurs niveaux de tension HT :

- arrivée principale EDF 225 kV 130 MVA
 - transformation 225/45 kV
 - transformation 45/10,5 kV
 - transformation 10,5/3,15 kV
 - transformation 45/6,6 kV
 - transformation 45/3,15 kV
- arrivée secours EDF 20 kV 12,5 MVA
 - transformation 20/45 kV.

La distribution de la MP5 comporte 2 alimentations en 10,5 kV et en 3,15 kV.

Problématiques abordées dans ce sujet

Pour faire face à une exigence de production et de rentabilité sans cesse croissante, la ligne de fabrication doit augmenter sa capacité de production tout en minimisant son coût énergétique.

Pour cela, l'entreprise envisage :

- d'augmenter la vitesse maximale de défilement du papier en la portant de 1500 m/min à 1700 m/min tout en limitant les investissements matériels ;
- d'optimiser la consommation énergétique :
 - en choisissant la tarification la mieux adaptée ;
 - en délestant certains secteurs de la production de pâte lors des périodes les plus chères tout en maintenant la cadence de production ;
 - en récupérant au maximum l'énergie, notamment l'énergie calorifique ;
 - en réutilisant au maximum l'eau nécessaire au procédé ;
- d'optimiser et de rationaliser la communication entre les équipements ;
- d'améliorer la disponibilité de l'installation d'un point de vue :
 - réglages des protections du réseau d'alimentation électrique ;
 - secours en cas de défaut d'alimentation électrique.

A l'heure actuelle, les modifications matérielles, notamment sur la MP5, sont réalisées au fil des investissements disponibles.

Il est donc intéressant :

- de partir d'un état des lieux existant ;
- d'étudier les propositions de modification pour établir des solutions intéressantes satisfaisant aux critères de choix.

Partie A : augmenter la cadence de production en augmentant la vitesse de défilement du papier

L'augmentation de la cadence de production nécessite :

- d'analyser le procédé de fabrication ;
- de faire un bilan des paramètres dépendant de la vitesse de défilement ;
- de prévoir les modifications matérielles à apporter au système.

Cette partie étudie plus particulièrement **la ligne de fabrication du papier (machine MP5)** et se réfère au dossier technique DTA.

A-1. Analyse fonctionnelle du procédé

A-1-1. En utilisant la description donnée dans le §11 du DTA, compléter le document-réponse DR1 en reportant sur le synoptique les grandeurs suivantes :

- | | |
|--|-----------|
| - débit de pâte issue du cuvier mélange : | Q_{pM} |
| - débit de pâte issue du cuvier de tête : | Q_{p1} |
| - débit d'eau blanche de dilution générale : | Q_e |
| - débit de pâte après dilution générale (sortie mélangeur): | Q_{p2} |
| - débit de pâte par injecteur avant dilution locale : | Q_{pl} |
| - débit d'eau blanche de dilution locale par injecteur : | Q_{evd} |
| - débit de pâte en sortie d'injecteur : | Q_{pSI} |
| - siccité de la pâte avant dilution générale (3-3,5% ou 30-35 g/l) : | S_1 |
| - siccité de la pâte après dilution générale (0,7% ou 7 g/l) : | S_2 |

A-1-2. En utilisant la description donnée dans le §1 et la méthode décrite dans le §211 du DTA, compléter, sur les documents-réponses DR2-1 et DR2-2, les schémas fonctionnels de 1^{er} niveau des grandeurs à maîtriser suivantes :

- épaisseur du support papier (sortie sècherie, après passage dans les cylindres sécheurs) ;
- taux d'humidité du support papier (sortie sècherie) ;
- grammage du papier couché ;
- taux d'humidité du papier couché.

A-1-3. En utilisant la méthode décrite dans le §212 du DTA, compléter le tableau du document-réponse DR3 :

- en choisissant les grandeurs réglantes ;
- en indiquant les grandeurs de perturbations de chaque grandeur à maîtriser.

A-1-4. En déduire les schémas fonctionnels des boucles de régulation :

- du taux d'humidité du support ;
- de l'épaisseur du support.

A-2. Réglage du grammage

L'étude permet de déterminer les plages de fonctionnement des principaux constituants avant et après modification de la vitesse de défilement pour en constater l'impact.

Elle est limitée au grammage du **support papier**.

Données :

* Siccité en sortie de pompe P3 : S_1 réglée entre 3 à 3,5 %.

* Masse volumique de la pâte : $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Pour la suite, la siccité peut alors être exprimée en g de fibres par litre d'eau donnée par la relation :

$$S_1(\%) = \frac{Q_{MS}}{Q_P} \cdot 100$$

avec : * Q_{MS} : débit massique de matières sèches (fibres) en t/h

* Q_P : débit volumique de pâte en m^3/h .

* En sortie du cuvier de tête, on réalise une dilution générale de la pâte par eaux blanches grâce à un mélange en ligne (cf figure 1 ci-dessous).

On fixe une **siccité maximale** en sortie de dilution S_2 à 7 g de fibres par litre d'eau.

* Cette siccité n'est pas mesurable : les conditions de fonctionnement sont trop sévères à ce stade de la fabrication.

* A **siccité donnée**, le débit de pâte Q_{p1} est proportionnel à la masse sèche du support.

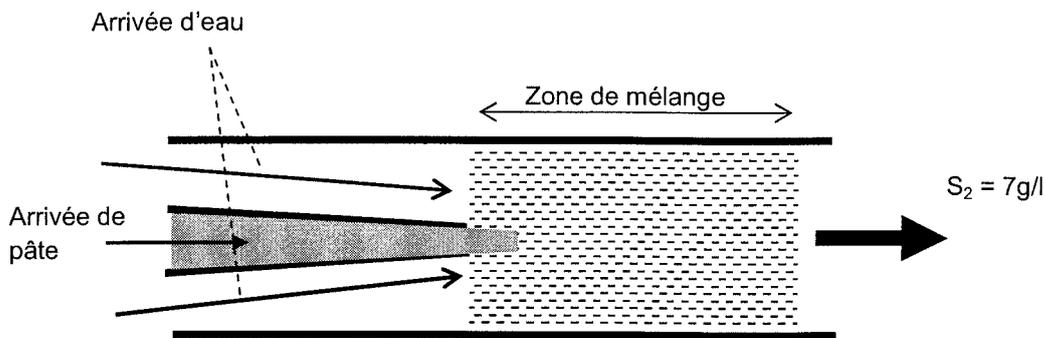


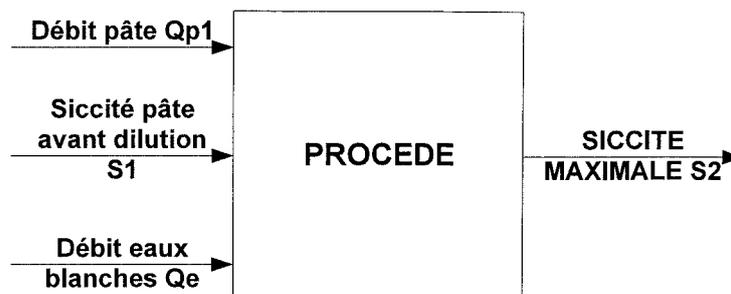
Figure 1 : schéma de principe de la dilution générale

A-2-1. Réglage de la siccité maximale après dilution générale S_2

La stratégie employée est la suivante :

- * maintenir le niveau de pâte L dans le cuvier de tête au maximum (6,80 m) ;
- * régler le débit de pâte par la pompe centrifuge P3 ;
- * mélanger en ligne la pâte et les eaux blanches dont la proportion sera réglée (ratio control).

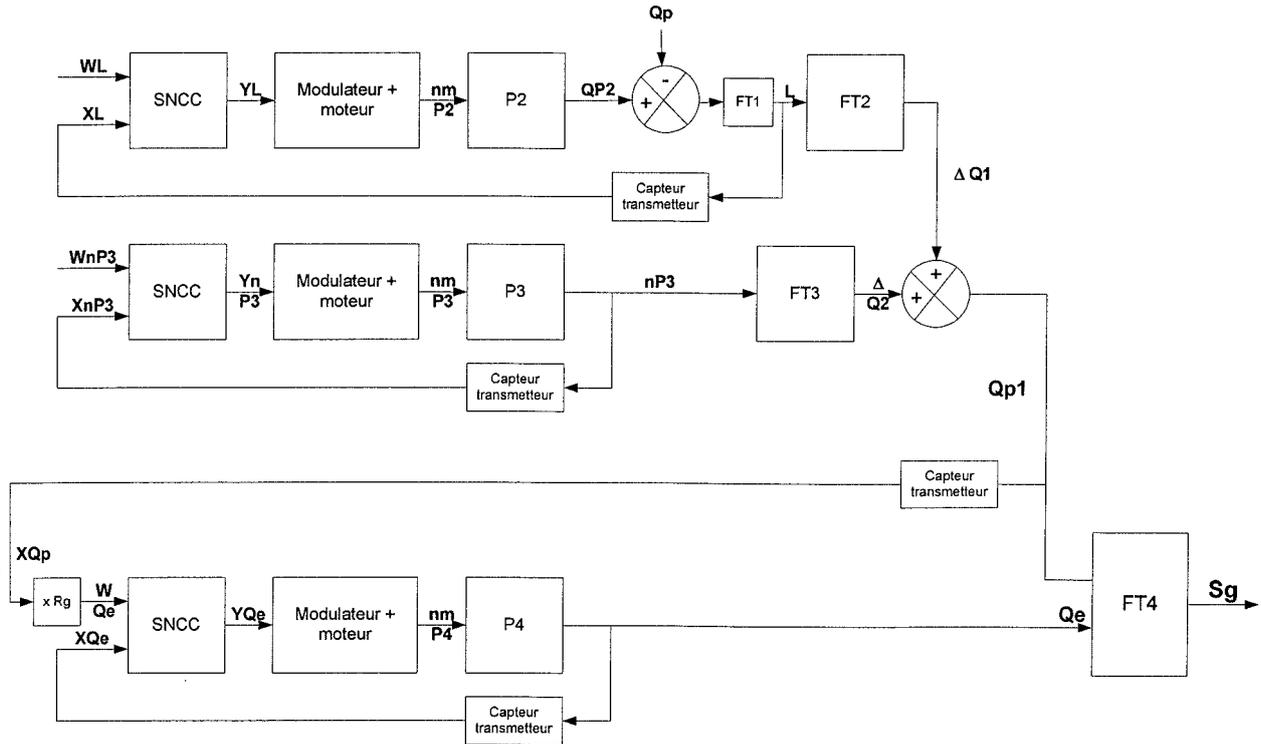
L'analyse fonctionnelle de 1^{er} niveau conduit au schéma suivant :



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

- la siccité avant dilution S_1 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.

La régulation de la dilution générale (3^e niveau d'analyse) est alors décrite par le schéma fonctionnel ci-dessous.



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).

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

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

Une dilution locale au niveau de chaque injecteur (cf figure 2) permet d'ajuster le réglage en fonction de la mesure de grammage faite par le scanner.

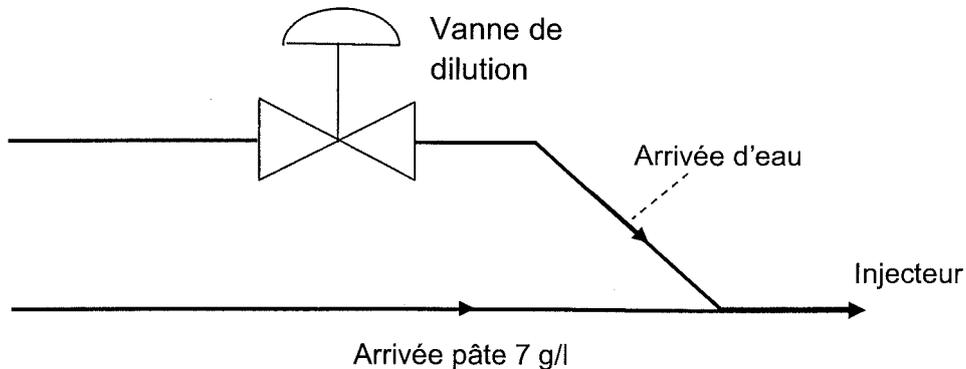


Figure 2 : schéma de principe de la dilution locale

Données :

- * Plage de réglage de la dilution locale : le ratio de dilution locale R_L varie de **0 à 20 %** ;
- * Valeur moyenne de la dilution : 10 %.

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

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

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

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

Données :

- * Hauteur de pâte dans le cuvier de tête : $H_p = 6,80 \text{ m}$;
- * Volume de pâte dans le cuvier de tête : $V_P = 150 \text{ m}^3$;
- * Point de fonctionnement de référence :
 - grammage du papier couché: $g = 60 \text{ g/m}^2$;
 - longueur bobine : $L_B = 74200 \text{ m}$;
 - vitesse moyenne de défilement papier : $v = 1500 \text{ m/min}$ (on néglige les variations de longueur dues au procédé de sècherie).

Le tableau figure 19 du DTA donne la correspondance entre les grammages papier couché et support.

Rappel : la largeur l du support en caisse de tête est de **9 m**.

- A-2-3-1. Calculer, pour le **point de fonctionnement de référence** :
- le temps t_1 en s nécessaire pour former une bobine mère ;
 - la surface de papier S en m^2 correspondant à une bobine mère formée ;
 - la masse sèche MS de support correspondante ;
 - le débit massique de matières sèches Q_{MS} en t/h en sortie du cuvier de tête.
- 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.
- A-2-3-3. En déduire la plage de variation de la vitesse de rotation de la pompe n_P .
- A-2-3-4. Déterminer l'augmentation de pression ΔP en mCE engendrée par la pompe aux points de fonctionnement correspondant :
- au grammage minimal ;
 - au grammage maximal.
- 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.
- A-2-3-6. Déterminer le débit maximal Q_{evdM} en l/s d'une vanne de dilution.

A-2-4. Mesure du grammage

Données :

- * Le 1^{er} scanner, situé en sortie de sècherie, réalise des mesures locales de grammage sur les 156 secteurs contrôlés par les vannes de dilution. Il effectue ses relevés en balayant transversalement le support en **40 s** (pour une traversée) ; il prend 156 points de mesure sur un balayage.
- * Un balayage est une traversée du scanner sur la largeur de la feuille.
- * L'envoi des mesures vers le SNCC est fait à chaque fin de balayage.
- * La longueur du support papier depuis l'injection jusqu'au 1^{er} scanner est de **320 m**.
- * La vitesse moyenne de défilement du support est de **1500 m/min**.

- A-2-4-1. Déterminer la période d'échantillonnage T en s de la mesure de grammage.
- A-2-4-2. Calculer la longueur de support L_s en m défilant pendant un balayage.
- 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.

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. Impact 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 maximal.

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

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.

A-3-2. Impact sur le système de mesures

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

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.

A-4. Communication

L'architecture des réseaux de communication utilisés est décrite §5 dans le DTA.

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 A-4-1.

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

- entre chaque local technique ;
- dans chaque local technique.

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.

A-4-4 Proposer un **adressage complet** des constituants du réseau Contrôle.

Partie B : diminuer les coûts de production en économisant l'énergie et en diminuant son coût

La diminution des coûts de production nécessite :

- de connaître le procédé de fabrication ;
- de faire un bilan des énergies mises en jeu (bilan enthalpique) ;
- de faire un bilan du coût énergétique de la transformation du produit ;
- d'étudier 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 et se réfère au dossier technique DTB. **Une seule ligne de raffinage est étudiée.**

B-1. Analyse du procédé de fabrication

Le schéma fonctionnel d'une ligne de raffinage est présenté figure 1 du dossier technique DTB :

B-1-1. Bilan des flux matières (sur une durée d'une heure)

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

Compléter le document réponse **DR5**, en distinguant :

- le débit volumique total en m^3/h ou le débit massique total en t/h ;
- le débit de matière sèche en t/h ;
- le débit d'eau (ou de vapeur) en t/h .

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

B-1-2. Les moteurs électriques

Les moteurs sont :

- de type synchrone ;
- alimentés en HTA ;
- à démarrage direct.

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

B-1-2-2. Quelles dispositions technologiques doit posséder le moteur synchrone pour démarrer en direct ? Illustrer votre réponse par un croquis explicatif.

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

En déduire :

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

B-1-2-4. Compléter le **tableau 2** du document **DR6**.

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

Le bilan enthalpique 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 $H_{re}=H_{rs}+W_m+p$

où :

- H_{re} est la somme des enthalpies relatives des produits entrants ;
- H_{rs} est la somme des enthalpies relatives des produits sortants ;
- W_m est l'énergie totale apportée par les moteurs ;
- p représente les pertes énergétiques du système.

B-2-1. Faire le bilan enthalpique en complétant le document réponse DR7.

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

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.

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.

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

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

Estimer le coût de l'énergie consommée pour une semaine d'exploitation en été et une semaine en hiver si l'atelier fonctionne 24 h/24 avec un débit d'extraction de 12 t/h de matière sèche à 4.5% de siccité soit un débit matière de 266 t/h.

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

On utilise maintenant l'atelier de raffinage uniquement pendant les heures creuses été comme hiver (voir le détail de tarification dans le document technique DTB).

Calculer alors :

- 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 12 t/h en continu ;
- le volume minimum du cuvier de stockage C12 ;
- les économies d'énergie réalisées.

B-3-3. Conclusion et bilan financier

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

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

B-3-3-3. En déduire l'économie (en pourcentage) que procure cette solution.

Partie C : diminuer les coûts en augmentant la vitesse de production

La diminution des coûts de production nécessite de faire :

- l'analyse du processus de fabrication ;
- une analyse des solutions possibles ;
- une étude de faisabilité avec l'équipement existant.

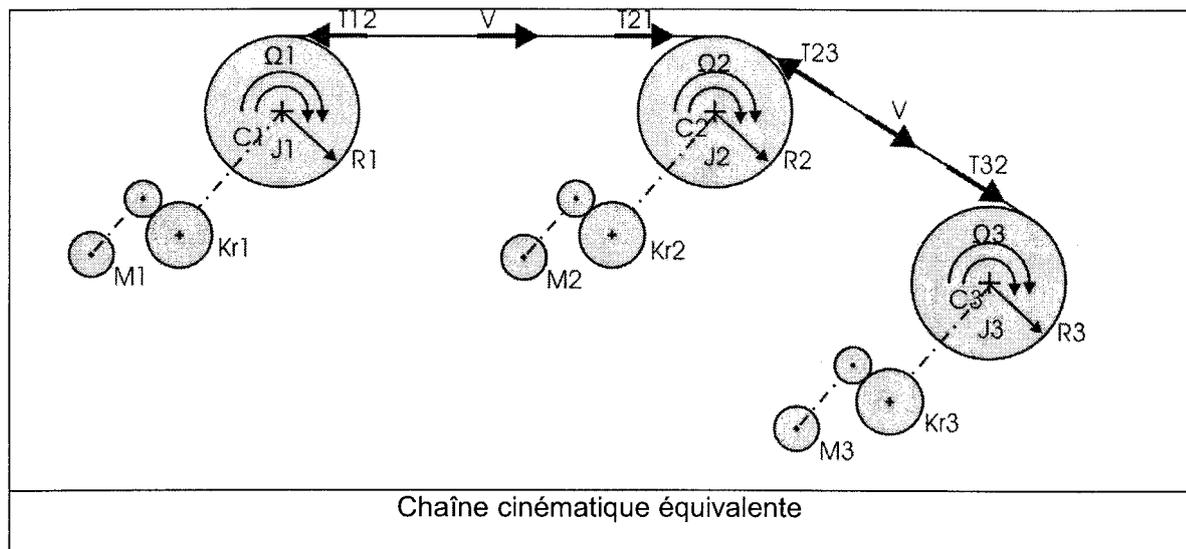
Cette partie étudie plus particulièrement l'une des **deux bobineuses** situées en bout de chaîne de production et se réfère au dossier technique DTC.

C-1. Analyse du processus

C-1-1. Etude préliminaire : modèle mathématique de comportement du système

Hypothèse : les moments d'inertie des moteurs sont négligés.

Le schéma ci-dessous et le tableau page suivante définissent les grandeurs mécaniques utiles.



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 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>$\Omega m1$: vitesse de rotation du moteur</p>	<p>T12 : traction exercée sur le rouleau par la tension de feuille au déroulage</p> <p>T32 : traction exercée par le rouleau 3 sur la feuille ramenée au rouleau 2</p> <p>$\Omega 2$: vitesse de rotation du rouleau d'appui</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>$\Omega m2$: vitesse de rotation du moteur</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>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>$\Omega m3$: vitesse de rotation du moteur équivalent</p>

Etablir les équations des couples C_{mi} et vitesses Ω_{mi} fournis par les moteurs :

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

C-1-2. Etude mécanique de la dérouleuse

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

Lors de ce fonctionnement :

- la vitesse de défilement V est constante : $V = 1500$ m/min ;
- la tension de feuille au déroulage T_d est constante : $T_d = 3000$ N.

C-1-2-1-1. Montrer que la puissance P_u fournie à la bobine reste constante quelle que soit la vitesse de rotation de ce moteur. Calculer sa valeur.

C-1-2-1-2. Le rayon de la bobine R_1 varie en fonction du temps :

$R_1 = f(t)$ peut se mettre sous la forme $R_1 = \sqrt{a - b * t}$.

Exprimer :

- a en fonction de D_{ext} (diamètre extérieur de la bobine mère) ;
- b en fonction de e (épaisseur du papier) et V (vitesse de défilement).

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 R_1 ;
- réaliser l'application numérique si $a = 1,789$ et $b = 5,57 * 10^{-4}$.

C-1-2-1-4. Le couple résistant Cr_1 produit par la bobine varie en fonction du temps :

- établir la loi de variation de couple $Cr_1 = f(t)$;
- tracer la caractéristique $Cr_1 = f(\Omega)$ dans le plan $C(\Omega)$;
- préciser dans quel quadrant de fonctionnement se trouve cette caractéristique ;
- en déduire les deux points extrêmes de fonctionnement A et B.

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).

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

Lors de ce fonctionnement :

- la vitesse de défilement V varie (accélération et décélération constantes) ;
- la tension de feuille au déroulage T_d est constante: $T_d=3000$ N.

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

- le couple accélérateur C_{acc} ;
- la puissance P_{tacc} à fournir.

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

- le couple de ralentissement C_{dec} ;
- la puissance maximale P_{tdec} à fournir.

C-1-2-3. Durée du cycle

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

Déterminer la durée totale du cycle (y compris le temps d'intervention des opérateurs).

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

Hypothèse : Le rapport de réduction Kr_1 et le rendement de la chaîne cinématique valent 1.

C-1-3-1. Déterminer, en utilisant le tableau 2 du document technique DTC, le couple utile nominal C_{mun} du moteur de la dérouleuse.

C-1-3-2. Déterminer alors le coefficient de survitesse K_S de ce moteur.

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

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

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

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

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

Déterminer le temps d'arrêt de la dérouleuse.

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

Le pilotage est réalisé par l'ensemble automate + variateurs de vitesse. Chaque variateur assure la régulation de vitesse ou de couple du (ou des) moteur(s) associé(s) et l'automate élabore les informations qui serviront de consignes aux variateurs.

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

L'opération de calibration consiste à fixer les facteurs d'échelle pour que les signaux d'entrée et de sortie soient exprimés en grandeurs physiques directes alors que les grandeurs traitées par le régulateur s'expriment en nombre de points (de -10000 à +10000).

Les valeurs de paramétrage fournies par l'automate au variateur dépendent du fonctionnement que l'on souhaite réaliser.

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) ;
- K_{mn} (4 décimales) ;
- K_{tn} (100% de demande correspond au couple nominal du moteur, 4 décimales).

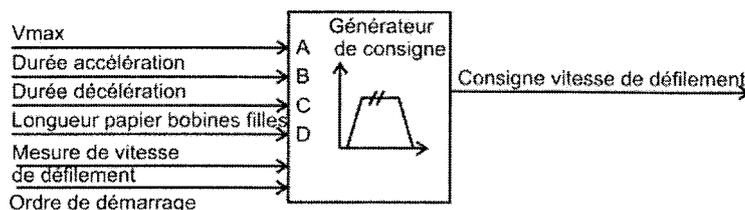
C-1-4-1-2. Détailler les calculs pour la dérouleuse puis remplir le tableau du document réponse DR8.

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.

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} et R_1 .
- En déduire l'influence du moment d'inertie sur la tension de feuille quand la vitesse de défilement V est constante puis quand elle varie.
- Proposer une solution pour que la tension de feuille ne soit pas influencée par la vitesse variable.
- Donner l'expression littérale du moment d'inertie J_B de la bobine de la dérouleuse en fonction des données de la bobine mère (cf figure 10 du DTC).

Le rayon R_B de la bobine mère varie en cours de déroulage : il ne peut être mesuré directement et est calculé à partir de la vitesse de défilement réelle V et de 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 et Ω_{m1} est donnée par le codeur:

Exprimer la valeur de R_1 en fonction de Ω_{m2} , Ω_{m1} , D_2 (diamètre du rouleau d'appui central), Kr_1 et Kr_2 .

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

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

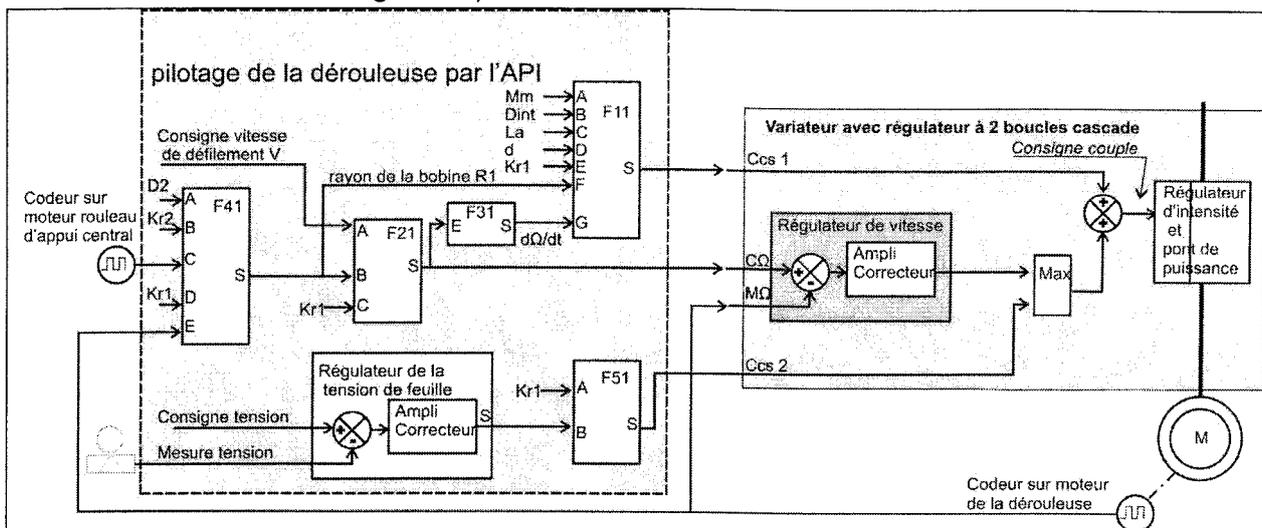
C-1-4-3. Pilotage des moteurs par chaque variateur

On utilise les équations issues du modèle de comportement (§1.3.2.1 et §1.1) et les indications données dans le document ressource DTC figures 7-2 et 8.

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

Le schéma fonctionnel 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 (m/min) de défilement en consigne de vitesse de rotation(rad/s)

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 R_1 (variable).

Une compensation d'inertie est prévue et dépend

- de la masse et du diamètre du mandrin ;
- de rapport de réduction Kr_1 ;
- 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.

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 prévoir.

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.

- Etablir sur les documents réponses DR10 le schéma fonctionnel (en vous inspirant du schéma de pilotage de la dérouleuse).
- Détailler les équations programmées dans les différents blocs de calcul.

C-1-4-3-3. Le moment d'inertie des rouleaux d'appui est constant, la valeur de ce moment d'inertie doit être déterminée préalablement par un essai.

Proposer un essai permettant grâce au variateur de vitesse de mesurer ce moment d'inertie.

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

C-1-5-1. Analyse détaillée de la macro étape 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.

Les consignes sont soit une vitesse linéaire, soit une tension de feuille, soit un couple de serrage.

A partir du Grafcet (voir DTC figure 4), des enregistrements (voir DTC figure 9) et du principe de fonctionnement de la bobineuse, détailler dans le document réponse DR11 les différents modes de fonctionnement et les consignes appliquées aux variateurs de vitesse pour les 3 étapes E6, 61 et S6.

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

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

La casse papier se produit dans l'un des trois cas suivants :

- la tension feuille au déroulage devient trop grande ;
- la tension feuille au déroulage devient trop petite ;
- la tension feuille au déroulage varie trop brusquement.

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

C-1-5-2-2. L'étude se limite au cas où la casse papier se produit pendant les étapes 6,7 et 8 : reporter sur le document réponse DR12 les modifications à prévoir dans le Grafcet pour gérer le 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 1500 m/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. Calculer la nouvelle valeur de la vitesse de défilement permettant de garder des temps d'accélération et de décélération identiques.

C-2-2. Identifier les incidences de l'augmentation de vitesse sur l'installation électrique.

C-2-3. Le responsable de production choisit de produire à une vitesse de 1900 tr/min et une tension de feuille de 3500 N : vérifier si le moteur de la dérouleuse convient.

Partie D: améliorer la fiabilité de la distribution électrique

L'amélioration la fiabilité de la distribution électrique nécessite :

- d'analyser l'existant et de vérifier les possibilités d'évolution de la production ;
- d'établir les connexions garantissant la continuité de la fourniture d'énergie électrique ;
- d'optimiser les réglages des protections électriques.

Cette partie traite plus particulièrement de l'alimentation HTA de la machine MP5 comportant :

- les transformateurs MP5.1 et MP5.2 ;
- les transformateurs **09TR11** et **09TR12** ;
- les **départs moteurs HTA** des circuits des vides et des casses.

Elle se réfère au dossier technique DTD.

Le circuit des vides regroupe les alimentations des moteurs de pompes à vide des rouleaux presseurs de la machine à papier MP5.

Le circuit des casses regroupe les alimentations des moteurs des pompes et malaxeurs situés dans l'installation de récupération des casses de papier.

D-1. Etude technologique de la distribution électrique

On utilise les § 2, 3, 4 et 5 du DTD

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

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

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

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

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).

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.

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

NB: une interconnexion nécessite un appareillage assurant les fonctions d'isolement et de protection du matériel contre les surintensités.

Compléter le schéma du document réponse DR13 en représentant les interconnexions envisagées et placer sur le schéma les appareils de protection et de manœuvre manquants.

D-2. Protection des personnes et des biens

On utilise les § 6 et 7 et de la figure 2 du DTD

D-2-1. Identifier le schéma des liaisons à la terre mis en œuvre.

D-2-2. Justifier le choix de ce SLT.

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

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

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

D-2-6. Proposer un dispositif industriel de mesures permettant de détecter un défaut d'isolement :

- au niveau de la ligne d'alimentation générale ;
- au niveau de chaque moteur HTA.

D-2-7. Paramétrage des déclencheurs

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

D-2-7-1. Compléter le document-réponse DR14 en indiquant la valeur des paramètres de réglage.

D-2-7-2. Vérifier la sélectivité des protections de l'installation.

D-2-8. Mise en réseau des déclencheurs

D-2-8-1. Proposer une solution permettant de mettre à disposition du réseau Ethernet de l'usine les informations d'état des disjoncteurs.

D-2-8-2. En quoi cette mise en réseau améliore-t-elle la disponibilité de l'installation ?

Partie E : exploitation pédagogique du système étudié

Le système étudié peut servir de support d'activités pour la plupart des centres d'intérêts définis dans le programme officiel du BTS Electrotechnique.

Parmi les plus grandes difficultés que rencontrent les étudiants qui arrivent en première année de STS Electrotechnique, il en est une qui concerne la **compatibilité de raccordement (ou interfaçage)**. Savoir raccorder deux (ou plusieurs) appareils pour qu'ils fonctionnent correctement est un savoir faire qu'il faut s'appropriier dès le début du cycle de formation.

Ainsi les étudiants auront moins de difficultés à mettre en œuvre les systèmes utilisés ultérieurement. Ils pourront donc se concentrer sur les apprentissages nouveaux.

Exemples :

- Raccordement API-variateur ;
- Raccordement capteurs-API ;
- ...

Questionnement :

Vous devez organiser 2 séquences pédagogiques permettant aux élèves de développer ce **savoir faire** dans le cadre de l'activité de génie électrique (cours, TD, TP) + une séance de synthèse de ces deux séquences.

Les séances durent 2 heures.

Vous choisirez 2 supports d'activités issus du système étudié concernant chacun un domaine différent des savoirs repérés dans la liste S6.

Vous définirez l'organisation pédagogique des séquences.

Pour chaque séquence, vous définirez

- le support d'activité choisi ;
- Le domaine de savoir concerné ;
- vos objectifs de formation ;
- la stratégie pédagogique ;
- le matériel mis en œuvre si nécessaire.

Pour la séance de synthèse, vous définirez

- ce qu'il faut retenir ;
- comment ce savoir faire intervient dans les compétences du BTS Electrotechnique.

Extrait du référentiel du diplôme :

Récapitulatif des différentes compétences

- C01** Analyser un dossier
- C02** Choisir une solution technique
- C03** Analyser une solution technique
- C04** Rédiger un document de synthèse
- C05** Déterminer les ressources et les contraintes
- C06** Respecter une procédure
- C07** Argumenter sur la solution technique retenue
- C08** Concevoir une solution technique
- C09** Élaborer les dossiers techniques
- C10** Réaliser les représentations graphiques nécessaires
- C11** Estimer les coûts prévisionnels
- C12** Concevoir une procédure
- C13** Appliquer les normes
- C14** Analyser les causes de dysfonctionnement
- C15** Estimer les délais de réalisation
- C16** Élaborer un support de formation
- C17** Mettre en oeuvre des moyens de mesure
- C18** Interpréter des indicateurs, des résultats de mesure et d'essais
- C19** Identifier les paramètres de réglage
- C20** Régler les paramètres
- C21** Réaliser un ouvrage, un équipement ou un produit
- C22** Déterminer les différentes tâches
- C23** Planifier les tâches
- C24** Suivre la réalisation
- C25** Analyser un planning
- C26** Contrôler la conformité d'un produit
- C27** Estimer les délais d'approvisionnement
- C28** Communiquer de façon adaptée à la situation
- C29** Exercer une responsabilité hiérarchique
- C30** Ordonnancer des opérations de maintenance
- C31** Intervenir sur une installation
- C32** Interpréter la demande du client
- C33** Animer une réunion

Les savoirs S6 - GÉNIE ÉLECTRIQUE :

1 La conversion de l'énergie électrique dans les applications :

1.1 L'entraînement électrique :

- 1.1.1 Couplage d'une charge à une source par rapport à la charge (réversibilité) ou par rapport à l'environnement ;
- 1.1.2 Outils méthodologiques associés à l'étude d'une chaîne cinématique.

1.2 Les différents types d'actionneurs électromécaniques :

- 1.2.1 Actionneurs électromécaniques dédiés au déplacement de produit ;
- 1.2.2 Actionneurs électromécaniques dédiés à la transformation de produit.

1.3 Les différents types de récepteurs en électrothermie :

- 1.3.1 Différents procédés de conversion de l'énergie électrique en électrothermie.

1.4 Les différents types de récepteurs en électrochimie :

- 1.4.1 Différents procédés de conversion en électrochimie.

1.5 La chaîne de commande des moteurs :

- 1.5.1 Différents principes et choix des matériels :
 - 1.5.1.1 Représentations graphiques utilisées dans le domaine de la conversion d'énergie électrique ;
 - 1.5.1.2 Logiciel de conception assisté par ordinateur (C.A.O.) pour les représentations graphiques normalisées des installations de motorisation ;
 - 1.5.1.3 Appareillage des départs moteurs selon les normes en vigueur (coordination type 1 & 2, ...)
 - 1.5.1.4 Appareillage des départs moteurs progressifs (électromécaniques et électroniques) ;

1.5.1.5 Appareillage de variation de vitesse.

1.5.2 Réalisation des équipements

1.5.2.1 Règles de conception et réalisation des armoires électriques de commande de machine automatisée selon les règles de l'art et les normes en vigueur

1.6 La régulation industrielle et les fonctions spéciales :

- 1.6.1 Différents principes de régulation

1.6.1.1 Constituants d'un procédé de régulation

1.6.1.2 Boucle de régulation

- 1.6.2 Boucle de régulation d'un procédé

- 1.6.2.1 Outils adaptés pour programmer une application de régulation

- 1.6.2.2 Paramètres d'une boucle de régulation

1.7 La sécurité machine et la mise en conformité :

- 1.7.1 Mise en sécurité des machines en accord avec la réglementation en vigueur
 - 1.7.1.1 Normes régissant la sécurité des machines
 - 1.7.1.2 Démarche de réception d'une machine neuve ou reconditionnée vis à vis de la réglementation
 - 1.7.1.3 Constituants de sécurité

2 La production, le transport et la distribution de l'énergie électrique :

2.1 Les différentes sources d'énergie et leurs exploitations dans les applications électriques :

- 2.1.1 Production de l'énergie électrique :
 - 2.1.1.1 Principales sources de production de l'énergie (nucléaire, hydraulique et fossile) ;
 - 2.1.1.2 Principes et matériels mis en oeuvre dans les autres sources d'énergie électrique (nouvelles énergies renouvelables) ;
 - 2.1.1.3 Classement des différentes sources de production en fonction de leurs applications.
- 2.1.2 Transport de l'énergie électrique :
 - 2.1.2.1 Architectures des réseaux de transport et d'interconnexion ;
 - 2.1.2.2 Caractéristiques de l'appareillage HT ;
 - 2.1.2.3 Normes relatives aux équipements mis en oeuvre.
- 2.1.3 Distribution de l'énergie électrique :
 - 2.1.3.1 Vision globale d'une installation électrique et de son environnement ;
 - 2.1.3.2 Matériels permettant de générer des économies d'énergie et d'optimiser les investissements (HTA et BT) ;
 - 2.1.3.3 Définition graphique d'une architecture de réseau d'alimentation (HTA et BT) ;
 - 2.1.3.4 Dimensionnement, par les calculs et les outils logiciels, des différents éléments qui composent une installation électrique (transformateurs, appareils, câbles...);
 - 2.1.3.5 Contrôle des modifications d'une installation électrique (compensation réactif normal, ...) en toute sécurité ;
 - 2.1.3.6 Normes NFC15-100 et UTE 15-105 ;
 - 2.1.3.7 Sources de remplacement (groupes électrogènes, onduleurs,...) et équipements assurant la disponibilité de l'énergie électrique en toute sécurité ;
 - 2.1.3.8 Représentations graphiques utilisées dans le domaine de la distribution électrique ;
 - 2.1.3.9 Maîtrise d'un logiciel de CAO pour les représentations graphiques normalisées des installations électriques.

2.2 La qualité de l'énergie électrique en environnement perturbé :

- 2.2.1 Connaissance des protections contre la foudre, conformément aux normes régissant la basse tension :
 - 2.2.1.1 Éléments qui contribuent à la sûreté des installations ;
 - 2.2.1.2 Dimensionnement des sources de remplacement (ASI, ADI ...);
 - 2.2.1.3 Protections contre la foudre nécessaires à la bonne marche d'une installation ;
 - 2.2.1.4 Architecture des protections contre la foudre d'une installation ;
 - 2.2.1.5 Normes et réglementations.

2.2.2 La compatibilité électromagnétique : faire coexister courants forts et courants faibles

- 2.2.2.1 Mise en évidence des phénomènes CEM au travers d'expériences simples ;**
- 2.2.2.2 Exigences normatives de la directive CEM ;**
- 2.2.2.3 Effets des perturbations sur une installation électrique ;**
- 2.2.2.4 Modifications nécessaires sur une installation électrique pour éliminer les perturbations dans le domaine de la CEM.**

- 2.2.3 Compréhension et minimisation des harmoniques

- 2.2.3.1 Observation par des manipulations des perturbations dues aux harmoniques et leurs effets sur les équipements, analyser les relevés de mesure ;
- 2.2.3.2 Dysfonctionnements d'une installation électrique dus à la présence de perturbations harmoniques ;
- 2.2.3.3 Modifications nécessaires à une installation électrique pour minimiser les perturbations harmoniques.
- 2.2.4 Détermination et mise en oeuvre d'une compensation d'énergie réactive en milieu perturbé
 - 2.2.4.1 Choix des condensateurs adéquats permettant de réduire la facture énergétique sur une installation, en milieu perturbé ;
 - 2.2.4.2 Choix de la protection des condensateurs contre les phénomènes harmoniques pour éviter leur surcharge.

3 Les équipements communicants :

3.1 L'acquisition de l'information :

3.1.1 Les capteurs et les détecteurs :

3.1.1.1 Capteurs et détecteurs : tout ou rien, analogiques, numériques.

3.1.2 Les appareils communicants dédiés :

3.1.2.1 Appareils communicants dédiés à la régulation, au comptage, à la mesure (appareils de mesure, de protection, de surveillance et d'analyse de réseaux) ;

3.1.2.2 Entrées/sorties et modules distribués.

3.2 Le traitement de l'information :

- 3.2.1 Équipements programmables industriels (API - PC...)
- 3.2.2 Langages de programmation utilisés dans les automates programmables ;
- 3.2.3 Langages de programmation utilisés dans les PC industriels ;
- 3.2.4 Outils de description de fonctionnement normalisés du type : Grafcet – Organigramme – Langage à contact – Langage littéral ;
- 3.2.5 Ateliers logiciels.

3.3 L'interface homme - machine :

3.3.1 Terminaux de dialogue industriels ;

3.3.2 Paramétrage des interfaces graphiques dédiées au suivi de procédés (gestion technique centralisée, supervision).

3.4 Le transport et la gestion de l'information :

3.4.1 Les concepts de base des réseaux industriels

3.4.1.1 Connaissances de base en transmission de données (câblage, commutateurs, appareillages, adressage, protocole) ;

3.4.1.2 Architecture de communication.

3.4.2 Les serveurs de données :

3.4.2.1 Utilisation d'un serveur de données en communication avec un équipement programmable industriel.