Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2019

ÉPREUVE E.4.1

Étude d'un système technique industriel
Pré-étude et modélisation

Durée : 4 heures – Coefficient : 3

Matériel autorisé :

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

L'usage de tout autre matériel ou document est interdit.

Le sujet comporte **21** pages numérotées de **1/21 à 21/21.**

Les documents réponses sont à remettre avec la copie.

Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul.

Les notations du texte seront scrupuleusement respectées.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1. Présentation générale

La construction de l'Hôpital Nord Franche-Comté (HNFC) regroupera les services de l'actuel Centre hospitalier Belfort-Montbéliard en un seul et même site. Situé sur la commune de Trévenans, l'établissement sera à égal temps de transport des deux agglomérations de Montbéliard et Belfort. L'accès aux soins sera donc facilité pour les habitants de ce secteur géographique.

L'offre de soin sera également améliorée, avec l'ouverture de nouveaux services spécialisés tels que l'hématologie[1].



Figure 1 - Hôpital Nord Franche Comté

D'une surface totale de 73 000 m^2 sur quatre niveaux, auxquels s'ajoutera une hélistation[2], l'Hôpital Nord Franche-Comté accueillera 772 lits. Parallèlement, un pôle logistique de 14 000 m^2, construit à proximité du bâtiment médical, abritera une pharmacie centrale, une blanchisserie, des magasins et ateliers de maintenance, ainsi que des bureaux administratifs.

Le souhait du maître d'ouvrage est d'avoir un bâtiment énergétiquement performant :

- limitant les consommations énergétiques liées au chauffage et à l'éclairage ;
- doté d'un système de production de chaleur utilisant une énergie primaire respectueuse de l'environnement ;
- présentant une haute sureté de fonctionnement de son alimentation en électricité, afin de pouvoir assurer la continuité des soins en toutes circonstances.

Pour répondre au souhait du maître d'ouvrage les dispositions suivantes ont été prises.

Afin de limiter les consommations énergétiques, les façades du bâtiment seront réalisées en « sandwich » de bois et de verre garantissant un haut niveau d'isolation phonique et thermique (voir figure 2). Concernant l'éclairage, des puits de lumière apporteront un éclairage naturel. Ces dispositions ne seront pas étudiées dans le sujet.



Figure 2 - Façade

[1] L'hématologie est une branche de la médecine qui étudie le sang et ses maladies.
[2] Une hélistation est un aérodrome équipé pour recevoir exclusivement les hélicoptères.

Base nationale des Sujets d'examens de l'enseignement professionnel

Une chaudière à bois (voir figure 3), sous forme de copeaux, permettra de fournir 70 % des besoins en chaleur du bâtiment. Les copeaux seront stockés dans un silo (1) et acheminés vers la chaudière (4) par un convoyeur à chaîne (3) puis un convoyeur à vis (7). Les cendres seront stockées dans une benne (9) via un convoyeur (8). Les fumées seront dépoussiérées par un filtre (5) puis rejetées dans l'air par une cheminée (6). Le dimensionnement, le choix et la mise en œuvre de certains de ces constituants seront abordés dans le sujet.

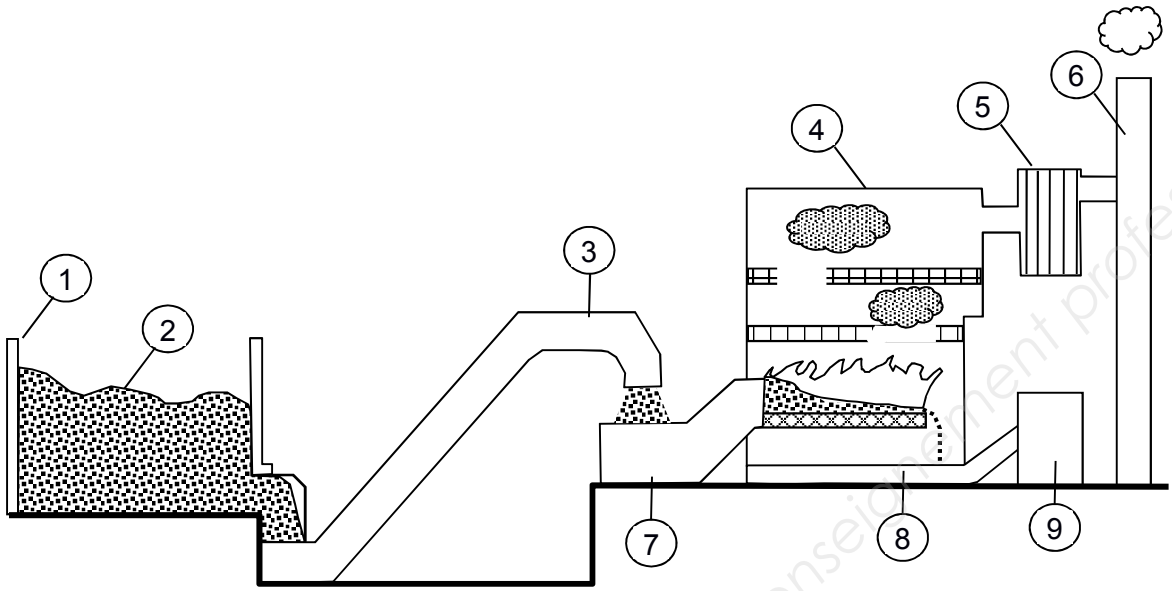


Figure 3 - Chaufferie bois

Le site retenu pour bâtir l'hôpital sera alimenté par deux lignes électriques 20 kV (voir figure 4) :

- une première ligne, en provenance d'un poste source situé dans la commune d'Argiésans : cette ligne alimentera un poste repéré « POSTE DE LIVRAISON EDF » ;
- une deuxième ligne, en provenance d'un poste source situé dans la commune d'Héricourt : cette ligne alimentera le poste repéré « POSTE EDF SECOURS ».

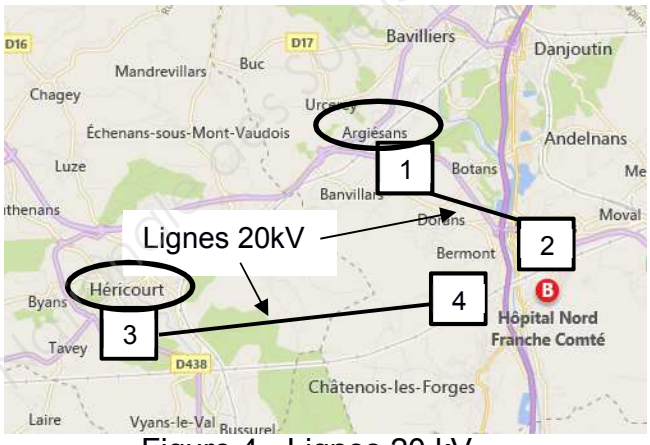


Figure 4 - Lignes 20 kV

1	Poste source de la commune d'Argiésans
2	« Poste de livraison EDF » de l'hôpital
3	Poste source de la commune d'Héricourt
4	« Poste EDF secours » de l'hôpital.

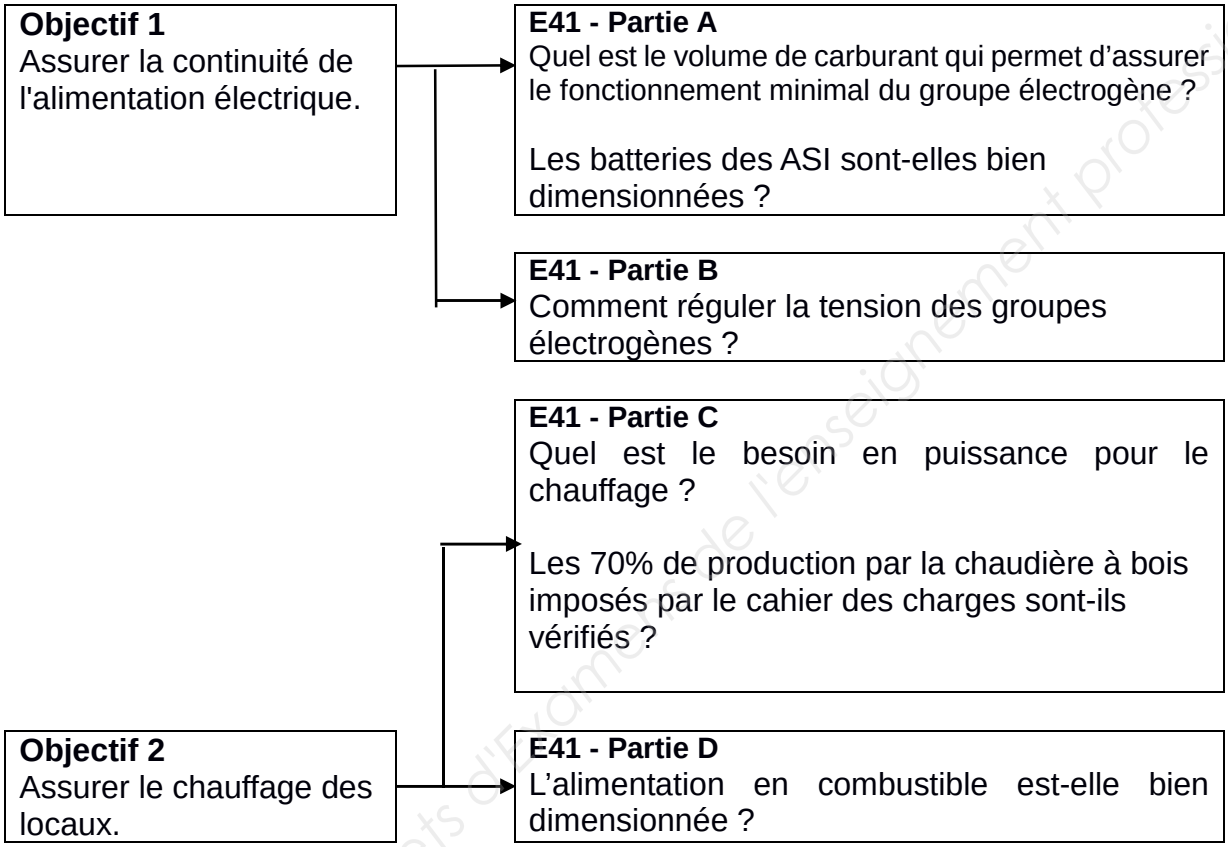
Des groupes électrogènes et des onduleurs garantiront une autonomie énergétique suffisante pour assurer les activités médicales en toutes circonstances. La mise en œuvre de ces sources d'énergies, postes 20 kV, groupes électrogènes et onduleurs, sera abordée dans le sujet.

Base nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

2. Enjeux - Objectifs

L'hôpital Nord Franche Comté devra garantir la continuité des soins médicaux en toute circonstance, tout en étant un bâtiment énergétiquement performant.

En relation avec ces enjeux, le sujet traite des solutions mises en œuvre pour assurer la continuité de l'alimentation électrique du site, et pour alimenter en combustible la chaudière bois qui permet de fournir 70 % des besoins énergétiques du bâtiment.



Le sujet est composé de 4 parties indépendantes notées A, B, C et D.

Le barème de notation des parties A, B, C et D représente approximativement : 25 %, 27 %, 28 %, 20 % de la note totale.

Base nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

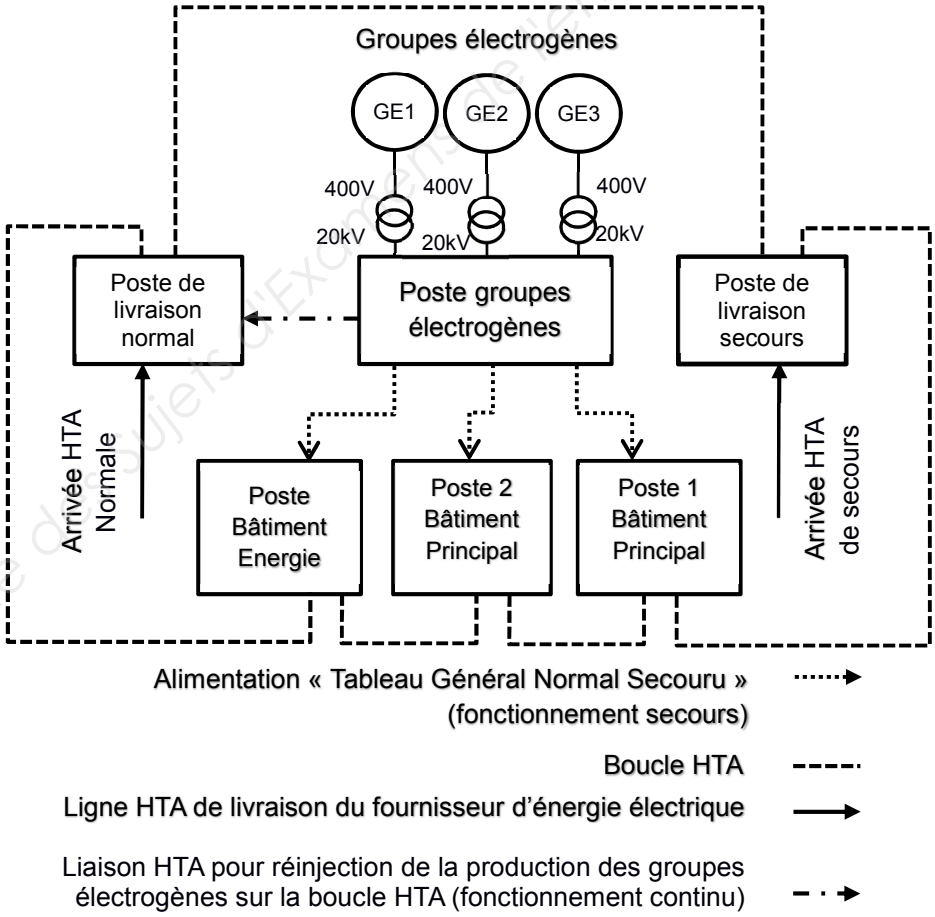
Partie A. Dimensionnement des groupes électrogènes de secours et des batteries des ASI

Validation de l'autonomie des groupes électrogènes en carburant.

Pour faire face à une rupture totale du réseau de distribution HTA du fournisseur d'énergie électrique, le centre hospitalier Nord Franche-Comté (HNFC) doit être équipé d'une centrale utilisant des groupes électrogènes.
Cette installation peut aussi être utilisée en complément du réseau HTA lors de périodes de pic de consommation où l'énergie est facturée à un tarif plus élevé.

Cette centrale présente deux modes de fonctionnement :
- le mode continu qui est utilisé lorsque la centrale vient en complément du réseau ;
- le mode secours qui est utilisé lorsque la centrale doit palier une défaillance du réseau d'alimentation HTA.

Figure 5 : *synoptique de l'alimentation électrique du HNFC*
(partie HTA et groupes électrogènes)



Base Nationale de sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Document 1 : extrait de la documentation des groupes électrogènes

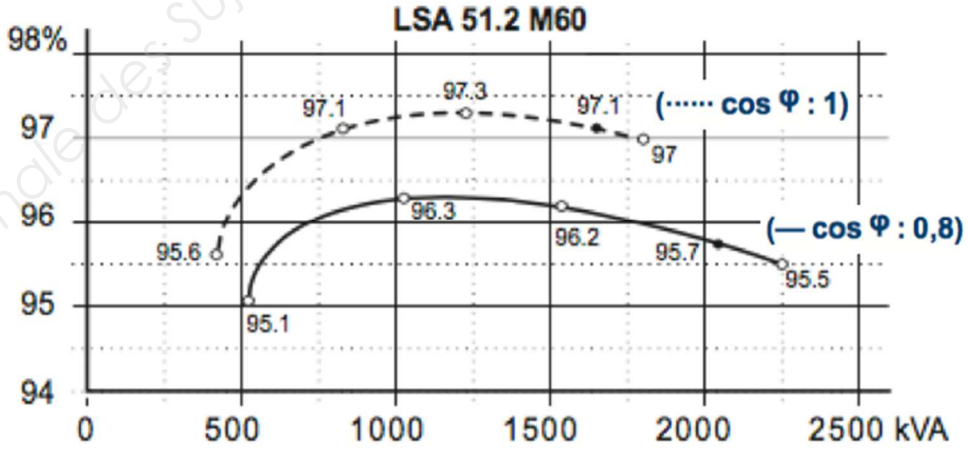
Données générales	
Marque	MITSUBISHI
Type	S16R-PTA2
Nombre de cylindres	16
Disposition des cylindres	V
Cylindrée	65.37 l
Vitesse de rotation	1500 $tr.min^{-1}$
Type de régulateur moteur	ELEC
Puissance mécanique moteur mode permanent	1720 kW
Puissance mécanique moteur mode secours	1810 kW
Carburant	
Consommation spécifique à la puissance nominale mode continu	210 $g.kW.h^{-1}$
Consommation spécifique à la puissance nominale mode secours	212 $g.kW.h^{-1}$
Carburant	diesel
Masse volumique mini	0,84 $kg.l^{-1}$

Document 2 : extrait de la documentation des alternateurs

cosφ = 0,8

Couplage Y -50Hz-1500 $tr.min^{-1}$		
Service	*Continu*	*Secours*
Tension composée	*400 V*	*400 V*
Puissance apparente	*2050 kVA*	*2155 kVA*
Puissance active	*1640 kW*	*1724 kW*

Courbe du rendement en fonction de la puissance apparente délivrée



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

En utilisant la documentation des moteurs des groupes électrogènes (Document 1) et des alternateurs (Document 2) :

Q1. Déterminer le rendement η d'un alternateur pour le fonctionnement à pleine puissance en mode secours pour $cos\varphi = 0{,}8$.
En déduire la valeur de la puissance mécanique $P_{méca}$ à fournir à un alternateur.

Q2. Montrer que les moteurs diesels sont bien adaptés aux alternateurs et permettent la pleine puissance du mode de fonctionnement secours.

Q3. Calculer la consommation horaire massique $Conso_m$ en carburant à pleine puissance du moteur d'un groupe électrogène pour le fonctionnement en mode secours.
En déduire sa consommation horaire volumique $Conso_V$.

En cas de défaillance du réseau d'énergie, l'hôpital doit s'assurer de la disponibilité de moyens d'alimentation autonome en énergie afin de garantir la sécurité des personnes hébergées pendant **quarante-huit heures au moins** (extrait du code de la sécurité civile).

Q4. Calculer (en m^3) la quantité minimale V_{min} de carburant qui permettra de respecter les obligations légales d'alimentation autonome en cas de défaillance des réseaux d'alimentation.

Calcul de l'autonomie des Alimentations Sans Interruption.

Certains appareils sensibles de l'hôpital sont alimentés par des ASI (Alimentation Sans Interruption). Ces ASI isolent les charges qu'elles alimentent des perturbations du réseau et leur assurent, en cas de défaillance de celui-ci, une autonomie de fonctionnement qui peut aller de quelques minutes à plusieurs heures. Cette autonomie dépend de la capacité des batteries installées dans chaque ASI.

Pour estimer l'autonomie des ASI, on s'intéresse à un module monophasé dont le schéma simplifié est donné sur la figure 6 :

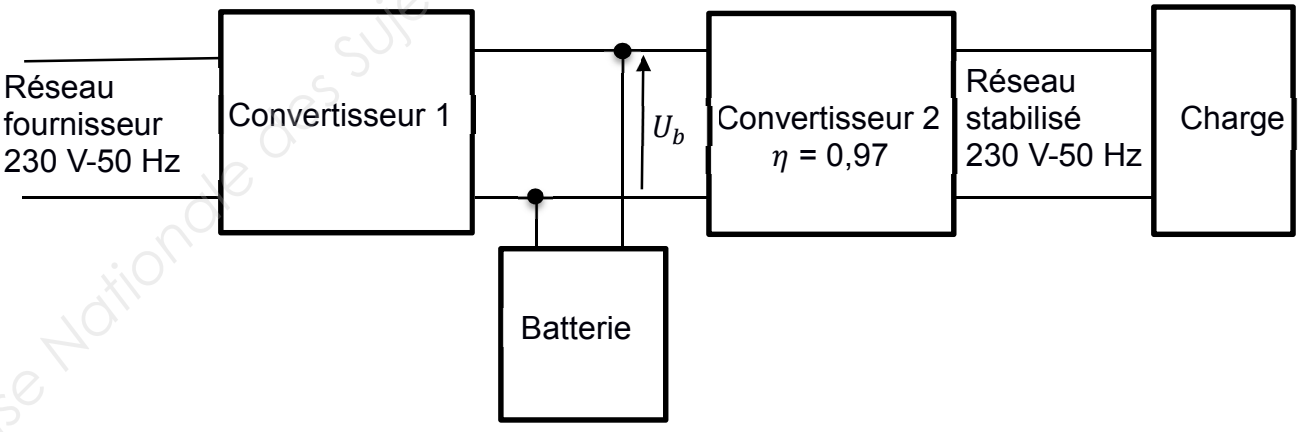


Figure 6 : schéma simplifié d'un module ASI en fonctionnement normal.

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

En fonctionnement normal, l'énergie est fournie par le réseau du fournisseur d'énergie électrique. La batterie est utilisée pour éliminer les perturbations éventuelles de ce réseau. On considère que la tension U_b est parfaitement continue.

Q5. Donner les types de conversions réalisées par les convertisseurs 1 et 2.

En cas de défaillance du réseau du fournisseur, le module fonctionne en mode secours. L'énergie électrique est entièrement fournie par la batterie au convertisseur 2. La puissance utile nominale du module (fournie par le convertisseur 2 à la charge) est P_u= 6,0 kW et son rendement est η = 0,97.

Q6. Calculer la puissance P_b fournie par la batterie lorsque le module fonctionne à son régime nominal en mode secours.

La batterie est caractérisée par sa capacité utile Q = 7,2 A.h et sa tension U_b= 252 V.

Q7. Montrer que l'énergie utile stockée dans la batterie est E_b= 1,8 kWh.

Q8. La batterie peut fournir la puissance P_b pendant un temps t_b.
Exprimer E_b en fonction de P_b et t_b .

Q9. Calculer la valeur de t_b en minutes.
Commenter ce résultat sachant qu'en cas de défaillance, le réseau du fournisseur d'énergie peut être rétabli en 15 minutes et qu'il peut être remplacé par celui provenant des groupes électrogènes en 8 secondes environ.

Pour réaliser la batterie, le constructeur propose des boitiers constitués de 7 éléments branchés en série. Un élément est une batterie élémentaire de 12 V-7,2 A.h.

Q10. Calculer le nombre N de boîtiers nécessaires pour réaliser la batterie 252 V – 7,2 A.h.
Compléter le document réponse 1, en rajoutant les boîtiers manquants et en représentant leur schéma de câblage.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie B. Modélisation d'un alternateur et réglage de sa tension de sortie

Modélisation d'un alternateur

En mode secours, le fonctionnement des groupes électrogènes est autonome et leur tension de sortie n'est pas imposée par un réseau extérieur. Afin d'assurer la qualité de la tension produite, il est impératif d'en contrôler la valeur efficace.

L'objectif de cette partie est d'identifier les paramètres sur lesquels on pourra agir afin d'ajuster la valeur efficace de la tension produite par un alternateur en mode secours.

On rappelle les caractéristiques d'un alternateur dans le tableau suivant :

cosφ = 0,8

Couplage Y -50 Hz-1500 tr.min^{-1}		
Service	*Continu*	*Secours*
Tension composée	*400 V*	*400 V*
Puissance apparente	*2050 kVA*	*2155 kVA*
Puissance active	*1640 kW*	*1724 kW*

On donne sur l'annexe n°1 les courbes obtenues lors des essais à vide et en court-circuit de l'alternateur ainsi que les valeurs de la tension et du courant qui permettent de calculer la résistance d'une phase de l'alternateur.

L'induit (stator) de l'alternateur est couplé en étoile.

On supposera la machine non-saturée et on utilisera le modèle de Behn-Eschenburg donné ci-après :

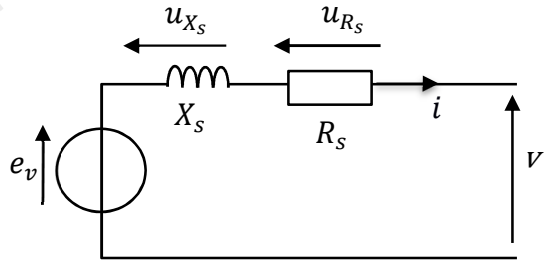


Figure 7 : modèle d'une phase de l'alternateur.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Q11. En vous aidant des données de l'annexe n°1 :
- montrer que l'impédance Z_S regroupant R_S et X_S, a pour valeur 290 mΩ ;
- montrer que R_S a pour valeur 5 mΩ ;
- en déduire la valeur de X_S.

La valeur de X_S déterminée précédemment a permis de tracer la caractéristique en charge de l'alternateur (annexe n°2).

Q12. Pour un fonctionnement en mode secours, calculer l'intensité I_{ms} du courant débité par une phase de l'alternateur sous une tension composée de valeur efficace nominale U = 400 V et un $cos\varphi$ = 0,8.
Relever sur l'annexe 2, la valeur efficace de la tension V pour $I = I_{ms}$.

Q13. Pour un fonctionnement en mode continu, on montre que le courant débité par chaque phase de la machine est I_{mc}= 2,96 kA. Si on ne change aucun réglage par rapport au mode secours, comment la valeur efficace V va-t-elle évoluer? Justifier la réponse.

Q14. Afin de garder une tension de sortie U = 400 V, quelle grandeur du modèle doit-on ajuster ? Sur quelle autre grandeur et comment faut-il agir pour y parvenir ?

Régulation de la valeur efficace de la tension des groupes électrogènes.

On étudie la régulation de la tension de sortie du groupe électrogène afin de garantir la qualité de l'alimentation électrique, même lors d'une variation brusque de la demande en courant.

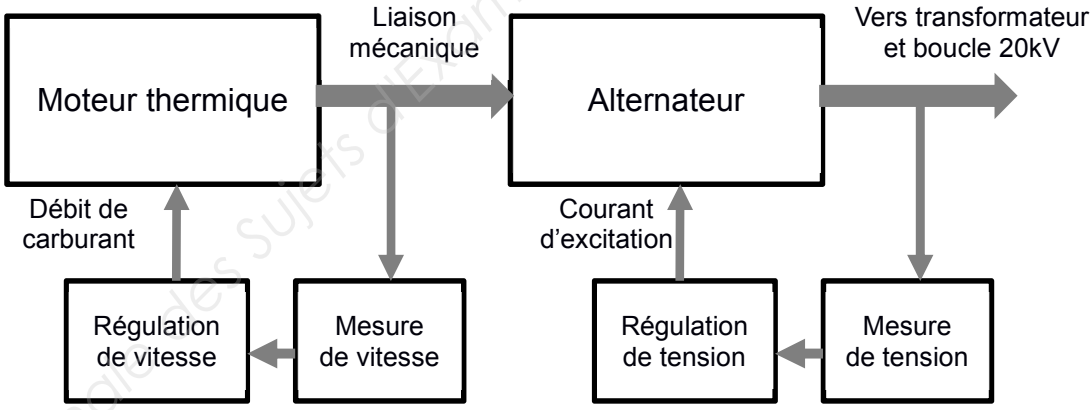


Figure 8 : synoptique de la régulation de l'ensemble moteur-alternateur.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Document 3 : Extrait *a norme NF-EN-50 160* :

La norme NF-EN-50 160 définit les termes suivants :
Creux de tension : une période de courte durée où la valeur efficace de la tension est inférieure à 90 % de la valeur nominale.
Surtension : une période de courte durée où la valeur efficace de la tension est supérieure à 110 % de la valeur nominale.

Certains appareils électroniques sont capables de supporter une perturbation de tension (creux ou surtension) de 500 ms sans influence sur leur fonctionnement. Au-delà, il est possible qu'ils nécessitent une intervention pour être remis en fonctionnement.

On suppose que la vitesse de l'alternateur reste constante.

La boucle de régulation de la tension de l'alternateur comprend :
- un convertisseur qui permet le réglage du courant d'excitation I_{ex} ;
- un capteur qui mesure la valeur efficace V d'une tension simple de l'alternateur et la transforme en une tension continue U_r;
- un correcteur qui génère une tension de commande U_c à partir de l'écart ε entre la tension de consigne E et la tension U_r.

On donne, sur le document réponse n°2, un schéma simplifié de la boucle de régulation de la tension.

Q15. Compléter le document réponse n°2 à l'aide des éléments suivants :
- correcteur ;
- capteur ;
- convertisseur.

Q16. Sur ce même document réponse, indiquer l'emplacement des grandeurs suivantes :
- la consigne $E(p)$;
- la tension de retour $U_r(p)$;
- l'erreur $\varepsilon(p)$.

Des simulations de l'ensemble {alternateur-régulation de tension}, réalisées avec différents réglages du correcteur ont permis d'obtenir les courbes données sur l'annexe n°3. Les calculs réalisés donnent l'évolution de la tension composée lors d'une variation de courant dont l'intensité passe de $I_n/3$ à I_n. Cette variation se produit à l'instant t = 0.
La valeur de la consigne est de 400 V.

Q17. Quel est le correcteur qui donne un résultat conforme aux contraintes de la norme NF-EN-50 160 ?

Q18. Entre les différents éléments du correcteur (proportionnel, intégral et dérivé), quel est celui qui a permis de supprimer l'erreur en régime permanent (ou statique) ?

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie C. Étude thermique du chauffage du bâtiment et eau chaude sanitaire

L'objectif de cette partie est de vérifier les dimensionnements de l'installation de chauffage au bois afin de s'assurer du respect du cahier des charges (70% de la production).

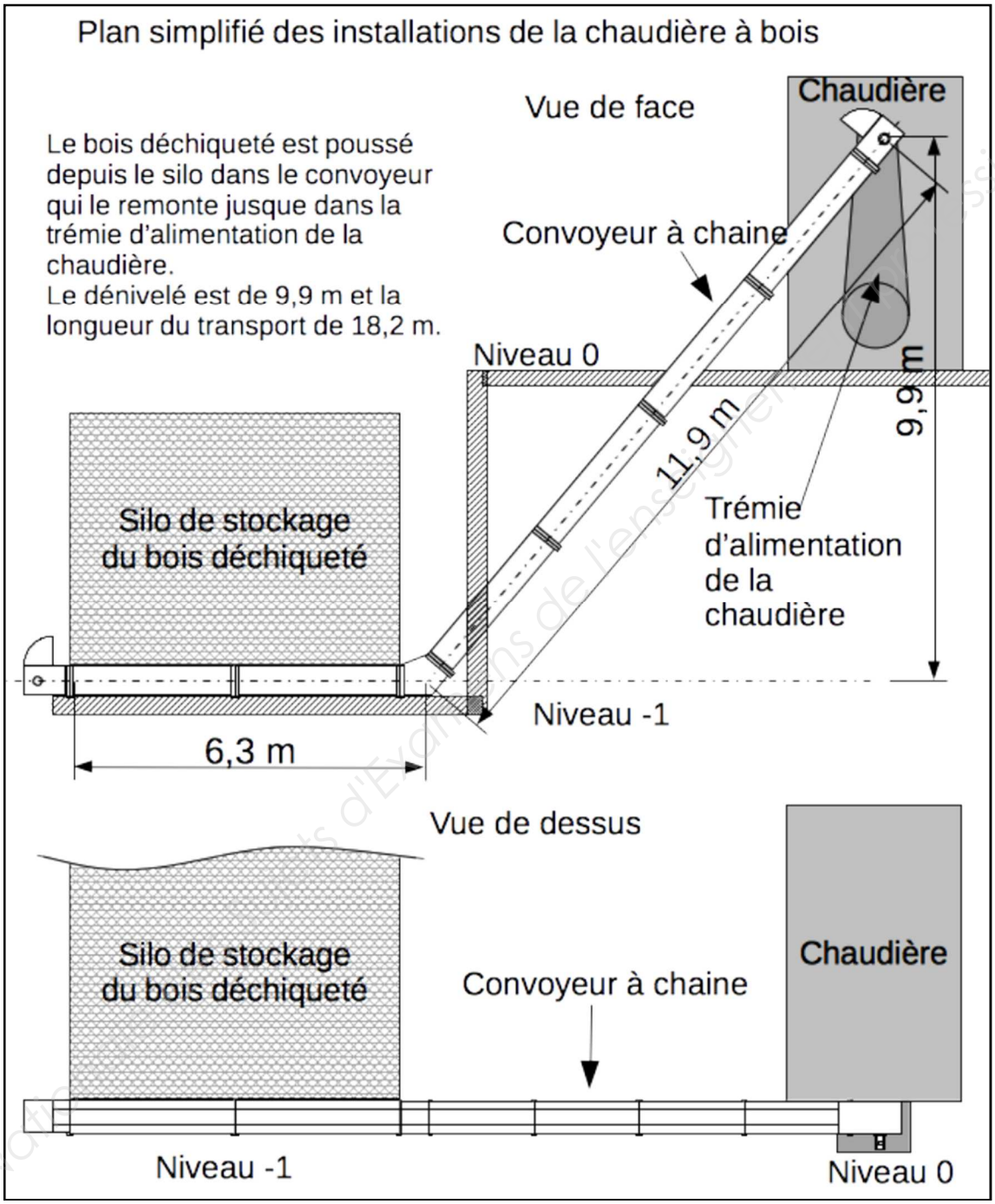


Figure 9 : *plan simplifié de la chaudière à bois.*

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Détermination de la puissance de chauffe à installer

Les besoins en chauffage d'un bâtiment sont liés à de nombreux paramètres. Les principaux sont :

- le type de construction et la norme d'isolation respectée ;
- le volume du bâtiment ;
- la température de base du lieu de construction (c'est une valeur représentant la température minimale du lieu, c'est une donnée réglementaire) ;
- les besoins en eau chaude sanitaire (liés au nombre d'occupants).

La méthode de calcul est la suivante :

- on détermine la puissance du flux thermique statique, c'est-à-dire les pertes de chaleur du bâtiment liées à la constitution de la construction, à la surface des parois externes et aux rayonnements (cette valeur est déterminée par un logiciel spécialisé) ;
- on détermine la puissance du flux thermique de pertes dynamiques liées au renouvellement de l'air par les systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) ;
- on ajoute, le cas échéant, la puissance nécessaire pour produire l'eau chaude sanitaire qui est calculée à part.

Pour l'hôpital Nord Franche Comté, les données suivantes ont été calculées :

- volume d'air renouvelé à chaque seconde (calculé à partir des débits des ventilations) : V_a = 358 m³ ;
- température à l'intérieur des locaux $\theta_{int} = 19\,°C$;
- température de base pour la zone de construction $\theta_b = -15°C$;
- Degrés Jour Unifiés (DJU) $DJU = 2929$;
- puissance du flux statique : $P_{statique} = 1322\ kW$;
- puissance nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire $P_{ECS} = 963\ kW$.

On donne également :

- la capacité thermique massique de l'air : $C_{m_a} = 1004\ \mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}}$;
- la masse volumique de l'air (supposée constante) : $\rho_a = 1{,}26\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$;
- la relation exprimant l'énergie absorbée par un corps lors d'une variation de température : $Q = C_m \cdot m \cdot \Delta\theta$ où C_m est la capacité thermique massique du corps, m est sa masse et $\Delta\theta$ la variation de sa température.

Q19. Calculer la masse d'air m_a renouvelée à chaque seconde.

Q20. Vérifier que l'énergie à fournir à cette masse d'air pour la porter depuis la température de base jusqu'à la température intérieure est E_a = 15,4 MJ.

Le système installé est une ventilation à double flux. Un échangeur de chaleur entre l'air entrant et l'air sortant permet de fournir à l'air entrant 80 % de l'énergie qui vient d'être calculée.

Q21. Montrer que la puissance nécessaire pour fournir le complément d'énergie est $P_{dyn} = 3{,}08$ MW. On rappelle que la masse d'air m_a est renouvelée chaque seconde.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

La chaudière étant installée dans un local séparé de l'ensemble des bâtiments, une partie de la chaleur produite est perdue lors de son transport. Seul 95% de la puissance produite est donc réellement utilisée pour le chauffage des bâtiments de l'hôpital.

Q22. En tenant compte de la puissance du flux statique ($P_{statique}$), montrer que la puissance totale qui doit être installée pour le chauffage est $P_{inst} = 4{,}63$ MW.

Détermination de l'autonomie de l'installation

La puissance installée ne sera pas utilisée en permanence, car elle varie en fonction de la température extérieure.
On peut relier l'énergie consommée annuellement par un chauffage et la puissance installée par la relation empirique suivante :

$$\text{Consommation} = \frac{\text{Pinst} \times \text{DJU} \times 24}{\theta_{int} - \theta_b}$$

- Consommation en kWh
- $P_{inst} = 4{,}63 \times 10^3$ kW : puissance installée
- DJU = 2929 : valeur des DJU du lieu
- θ_{int} = 19°C : température à l'intérieur en °C
- θ_b= -15°C : température de base du lieu en °C

Q23. Montrer que l'énergie annuelle consommée par les installations de chauffage est E_c=9,6×10^6 kWh.

Pour simplifier le raisonnement on suppose que la chaudière bois fonctionne à pleine puissance 190 jours par an (saison froide) et à mi-puissance 175 jours par an (production d'eau chaude uniquement).
La chaudière bois choisie a une puissance utile (pleine puissance) $P = 2{\times}10^3$ kW.

Q24. Montrer que la chaudière bois produit une énergie annuelle E_{an} =13,3×10^6 kWh.

La consommation d'énergie annuelle pour l'eau chaude E_{EC} est estimée à 8,2×10^6 kWh.

Q25. L'objectif du cahier des charges (70 % de la production énergétique annuelle à partir du bois) est-il atteint ?

Le bois qui sert de combustible à la chaudière a un Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de 1,99 kWh.kg^{-1} (le PCI est la quantité de chaleur minimale qui sera produite lors de la combustion d'un kilogramme de combustible).
Pour un fonctionnement à pleine puissance (2 MW de puissance utile) le fabriquant indique un rendement de la chaudière η_c= 90 %.

Q26. Déterminer (en kWh) l'énergie E_{1T} produite par une tonne de combustible.

Q27. En tenant compte du rendement de la chaudière, montrer que la masse de combustible brulée en 1h lorsque la chaudière produit sa puissance maximale est m_{1H} = 1,12 tonne.

Q28. Sachant que le silo de stockage peut contenir 87 tonnes de bois, en déduire l'autonomie de l'installation à pleine puissance.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie D. Étude de l'entraînement du convoyeur

Pour adapter la quantité de bois introduite dans la chaudière à la puissance qu'elle doit fournir, un automate programmable commande les différents organes de la chaudière et notamment la vitesse du moteur d'entraînement du convoyeur.

Le moteur choisi pour entraîner le convoyeur est un moteur asynchrone dont les caractéristiques nominales sont données dans le tableau suivant :

Caractéristiques du moteur asynchrone : régime nominal	
Tension efficace composée du réseau U_n	400 V
Fréquence f	50 Hz
Vitesse de rotation n_n	905 tr.min^{-1}
Puissance utile P_{un}	2,2 kW
Nombre de pôles	6

Q29. Déterminer la fréquence de synchronisme nominale n_s du moteur en tr.min^{-1}.

Q30. Calculer le moment du couple utile nominal T_{un} du moteur asynchrone.

On suppose que le moteur tourne à sa vitesse de synchronisme lorsqu'il fonctionne à vide.

Q31. Sur le document réponse n°3, tracer la partie utile de la caractéristique mécanique pour le fonctionnement nominal du moteur. Cette caractéristique sera nommée C_n.

Entrainement à vitesse variable

Le moteur du convoyeur est piloté par un variateur de vitesse qui gère la vitesse du moteur asynchrone avec une commande à **U/f constant**.
Pour modifier la vitesse de rotation, le variateur modifie la fréquence des tensions d'alimentation appliquées au moteur.

Q32. Comment évolue la partie utile de la caractéristique mécanique du moteur ?

Sur le document réponse n°3, on a tracé la courbe du couple résistant T_r ramené sur l'axe du moteur asynchrone.
On désire obtenir un point de fonctionnement F_1 pour lequel le moteur tourne à une vitesse n_1= 650 tr.min^{-1}.

Q33. Placer Le point de fonctionnement F_1 sur le document réponse n°3. Tracer la partie utile de la caractéristique mécanique C_1 qui passe par F_1.

Q34. En déduire la vitesse de synchronisme n_{s1} du moteur asynchrone. Montrer que la fréquence des tensions délivrées par le variateur est f_1 = 36,25 Hz

À la fréquence f = 50 Hz, la masse de bois transportée en une heure par le convoyeur est m= 1300 kg.

Q35. En supposant que la masse de bois transportée par le convoyeur est proportionnelle à la fréquence des tensions délivrées par le variateur, calculer la masse m_1 transportée en une heure pour la fréquence $f_1 = 36{,}25$ Hz.

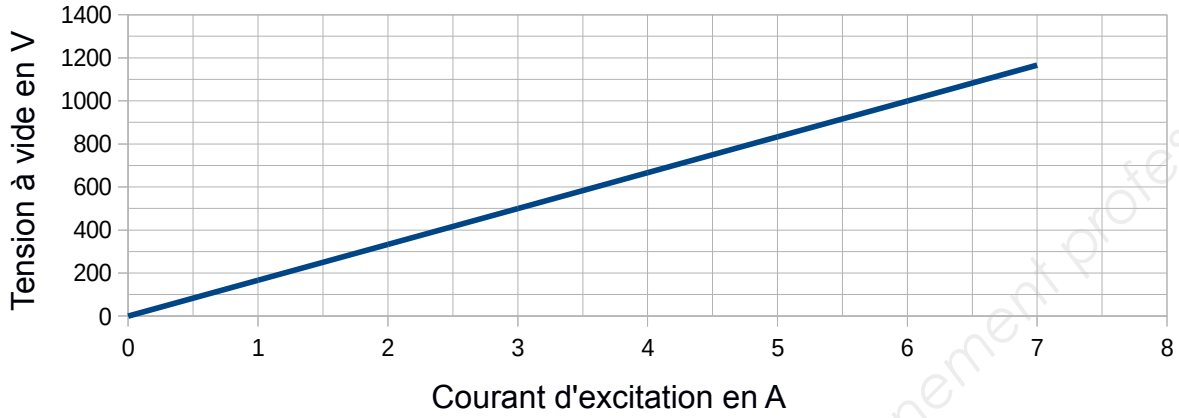
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe n°1

Essais réalisés sur un alternateur

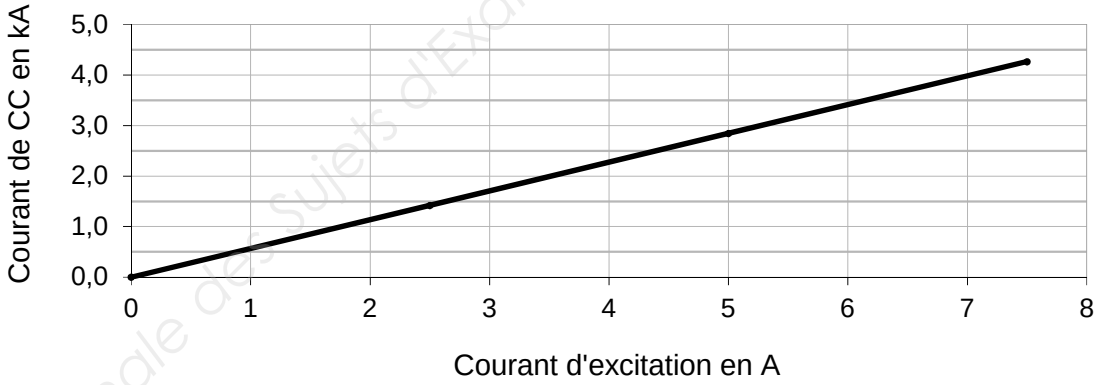
Essai à vide

Tension à vide aux bornes d'un enroulement en fonction du courant d'excitation



Essai en court-circuit

Courant de court circuit dans un enroulement en fonction du courant d'excitation

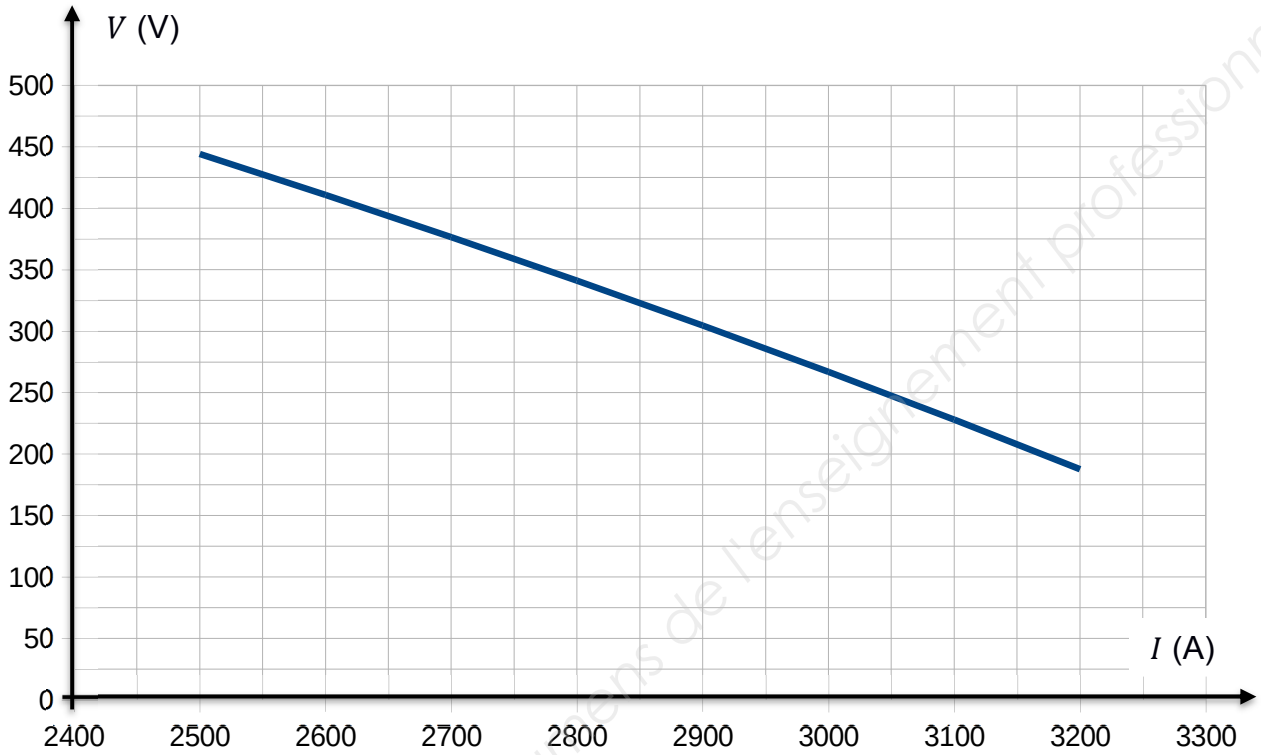


Essai sous une tension continue aux bornes d'un enroulement du stator :
$U_{continu} = 15\ V$ et $I_{continu} = 3000A$

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe n°2

Courbe $V(I)$ à I_{ex} = 6,4 A et n = 1500 tr.min^{-1}

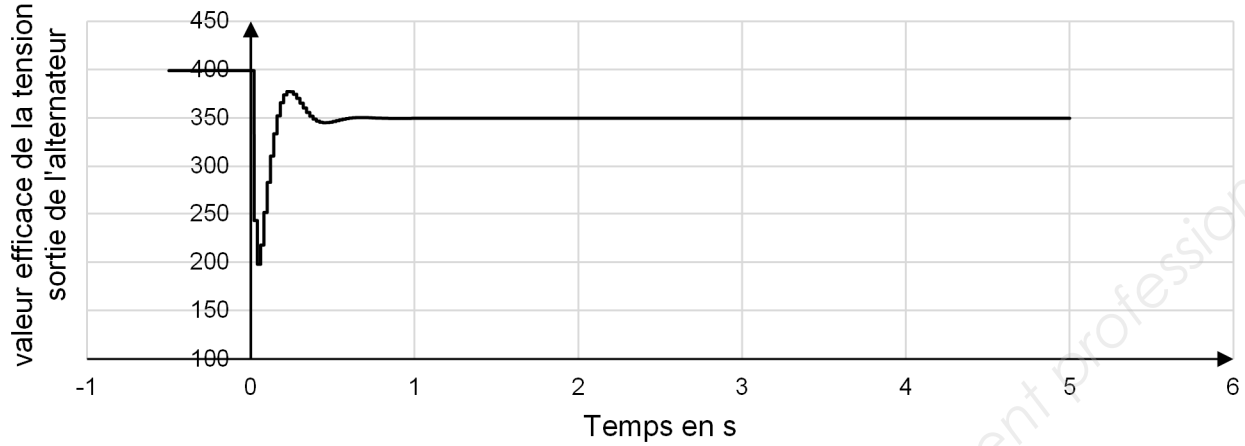


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

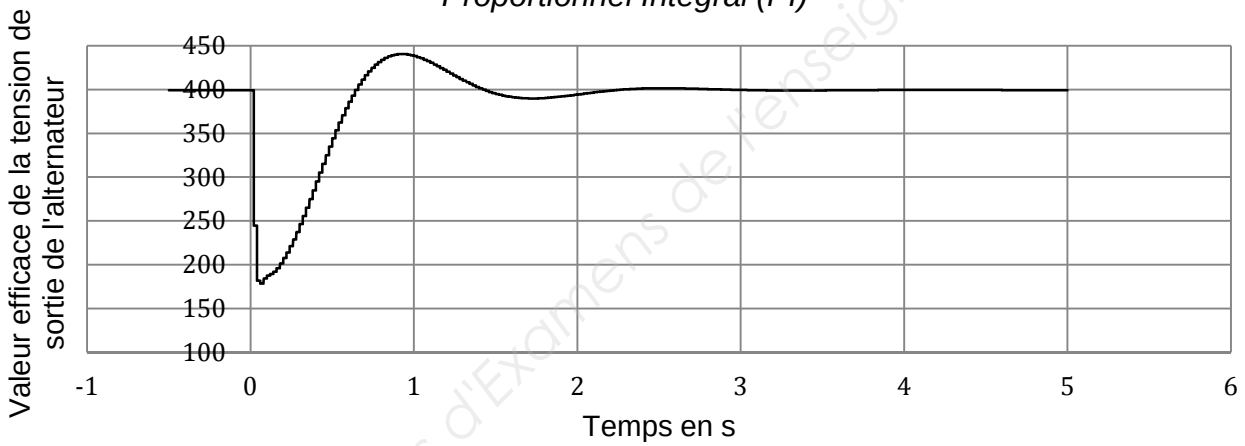
Annexe n°3

Evolution de la tension composée lors d'un échelon de courant

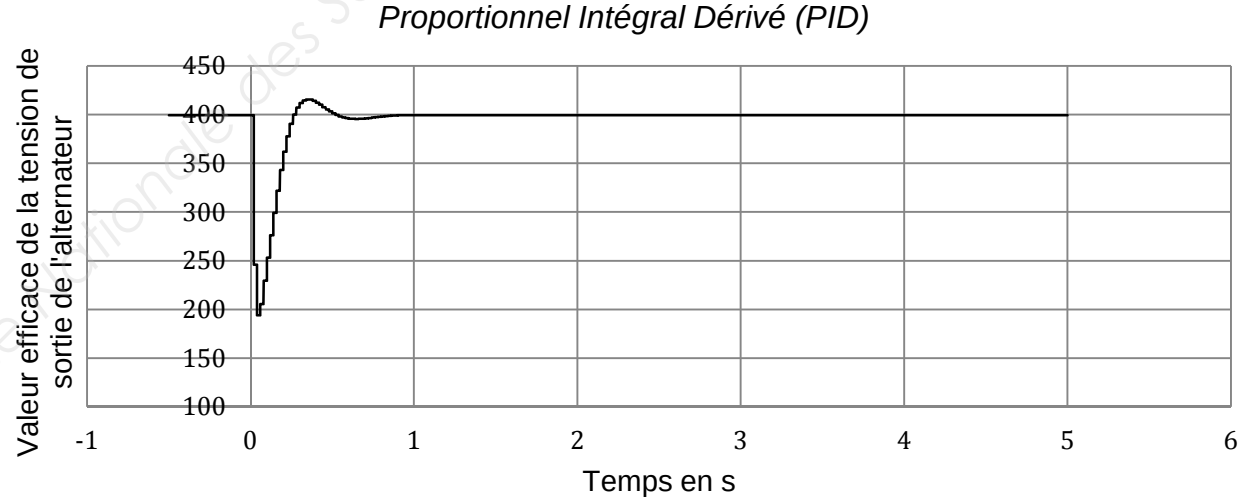
perturbation de la tension lors d'un échelon de courant : correcteur proportionnel (P)



variation de la tension lors d'un échelon de courant : correcteur Proportionnel Intégral (PI)



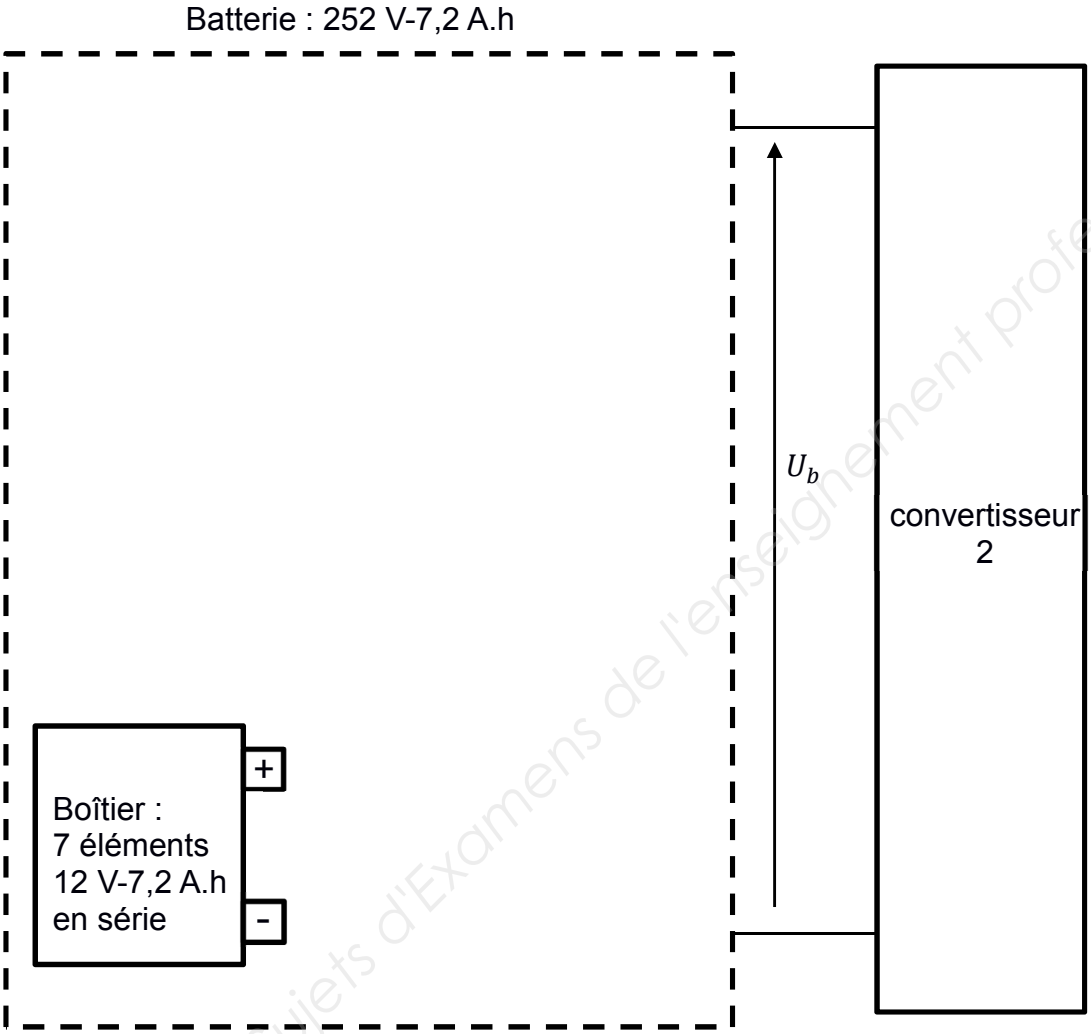
variation de la tension lors d'un échelon de courant correcteur Proportionnel Intégral Dérivé (PID)



Base nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Document réponse n°1

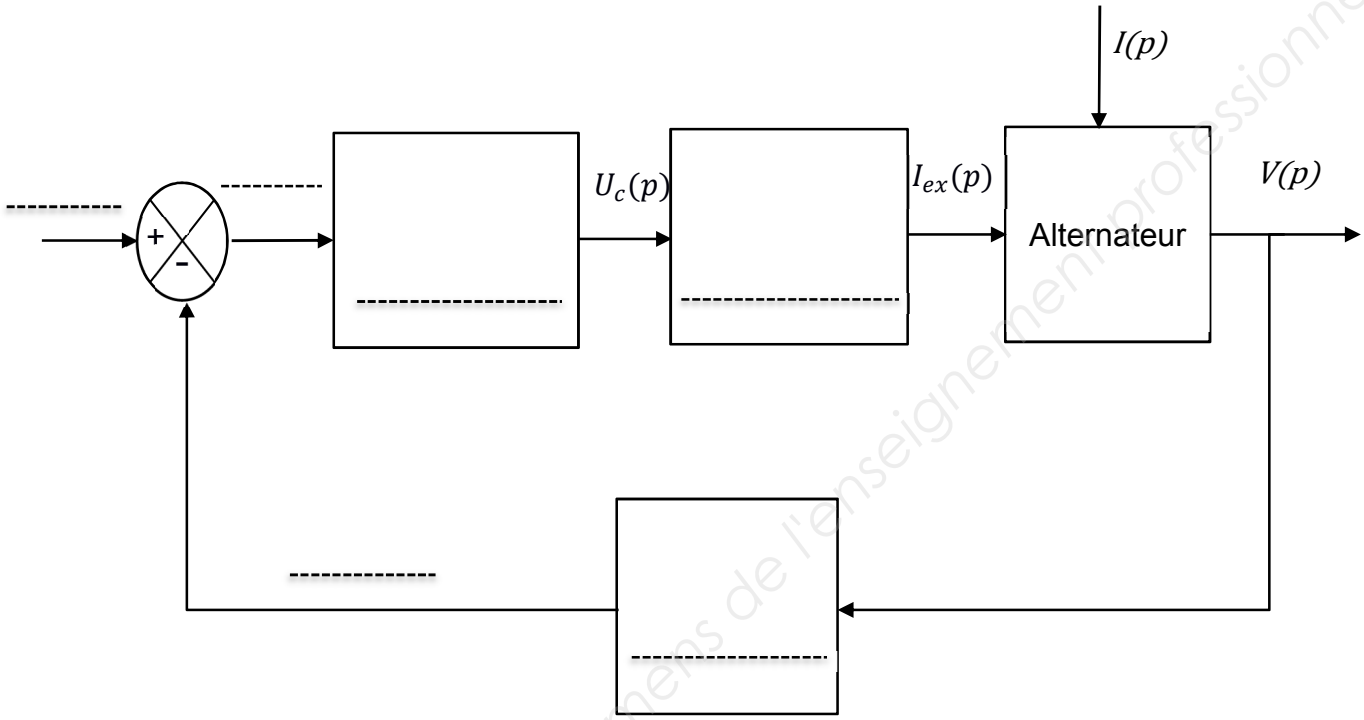
Schéma de réalisation de la batterie



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Document réponse n°2

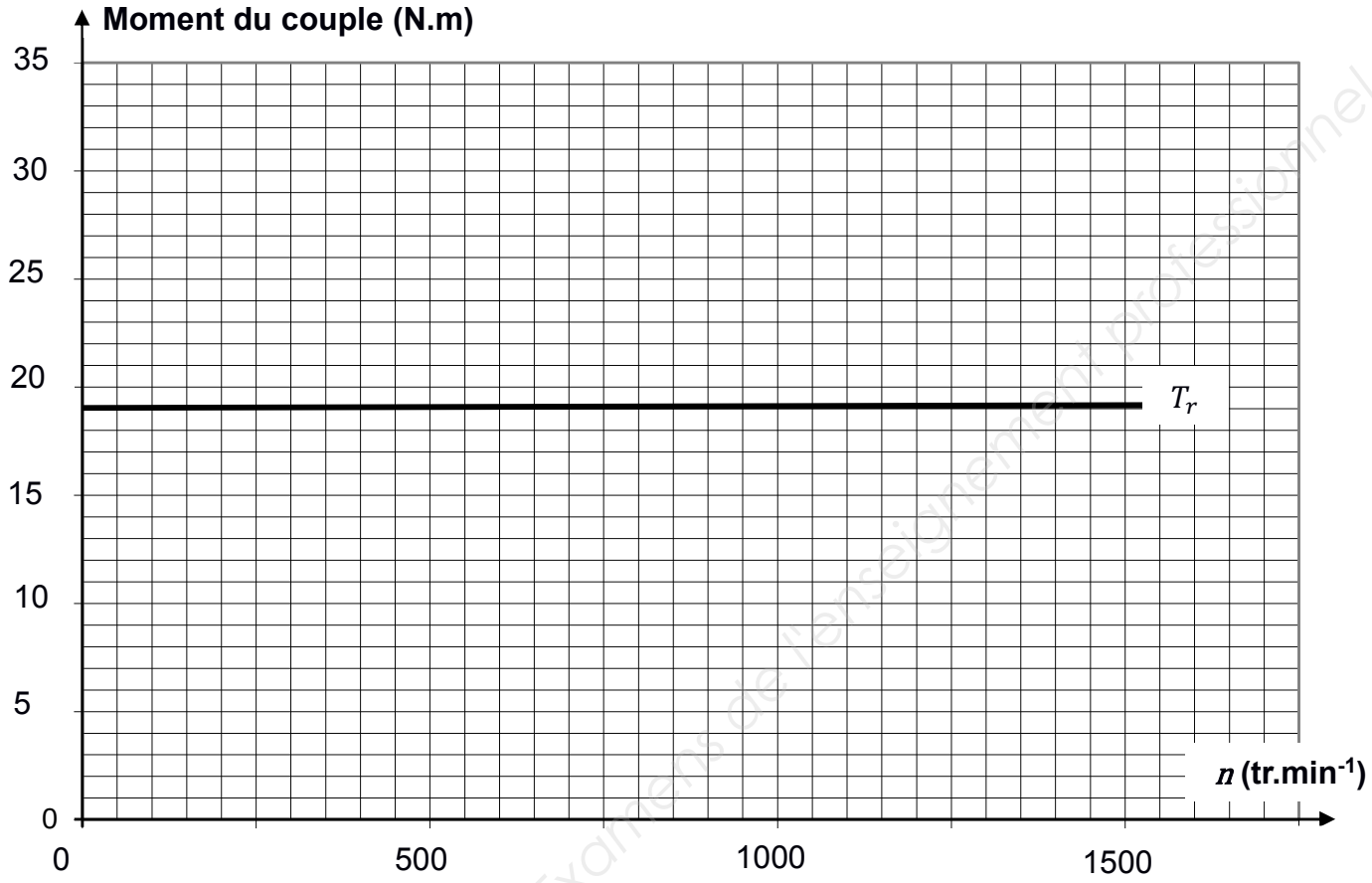
Schéma simplifié de la boucle de régulation de la tension



p = variable de Laplace.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Document réponse n°3



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.