

BTS ÉLECTROTECHNIQUE

Les systèmes techniques industriels

**Cohésion des enseignements de génie électrique,
sciences appliquées et construction mécanique en
essais de systèmes**

Sommaire :

Introduction

Horaires et thèmes d'étude des essais de systèmes
Planning de répartition des thèmes d'étude en 1^{ère} année

Thème N°1 : Mise en service d'un ouvrage, d'un système ou d'un équipement

Exemple de trame des sujets
Exemples de systèmes supports d'études
Exemple de sujet : Mise en service d'un malaxeur de produits décoratifs
Questionnement possible sur ce thème

Thème N°2 : La distribution de l'énergie électrique

Exemple de trame des sujets
Exemples de systèmes supports d'études
Exemple de sujet : Vérification d'une table multi sources
Questionnement possible sur ce thème

Thème N°3 : Comportement des charges mécaniques

Exemple de trame des sujets
Exemple de systèmes supports d'études
Exemple de sujet : Étude du comportement mécanique d'un transstockeur
Questionnement possible sur ce thème

Thème N°4 : Les différents procédés de transformation de l'énergie

Exemple de trame des sujets
Exemples de systèmes supports d'études
Exemple de sujet : Étude d'une gaine de ventilation motorisée
Questionnement possible sur ce thème

Thème N°5 : La réversibilité énergétique

Exemple de trame des sujets
Exemples de systèmes supports d'études
Exemple de sujet : Le stockage inertiel
Questionnement possible sur ce thème

Thème N°6 : Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes et embarqués

Exemple de trame des sujets
Exemples de systèmes supports d'études
Exemples de sujet : Vélo à assistance électrique
Questionnement possible sur ce thème

Introduction

Les essais de systèmes ont pour objectifs, par une approche simultanée, de mettre en cohérence tous les enseignements professionnels. Les composantes du génie électrique, des sciences appliquées et de la construction appliquée à l'électrotechnique sont intimement liées dans la construction de tous systèmes.

Un système est une réponse faite aux multiples questions qui se posent lors de sa conception. Chaque composante apporte un ensemble de réponses complémentaires afin que le système réponde au mieux à l'usage pour lequel il doit être construit.

Approche Sciences appliquées

- Quelles sont les lois physiques impliquées dans un procédé
- Quelles sont les différentes formes d'énergies incluses dans un système
- Quelles sont les différentes transformations d'énergie à appliquer
- Quelles sont les informations nécessaires au bon fonctionnement d'un système
- Quels sont les besoins énergétiques d'un système

Approche génie électrique

- A quelle fonction d'usage doit répondre le système
- Quelles sont les solutions technologiques existantes pour répondre à un problème
- Quelle est la solution la mieux adaptée dans un contexte technicoéconomique
- Comment régler un système pour obtenir des performances optimums relativement à des critères de rentabilité

Approche Construction appliquée à l'électrotechnique

- Quelles sont les solutions constructives possibles vis-à-vis d'un problème posé
- Comment sont agencées les solutions entre elles
- Quels sont les matériaux employés et leur impact sur l'environnement
- Comment peuvent se recycler les différents éléments du système
- Quelles sont les évolutions possibles en matière d'éco construction

Par une pédagogie inductive, les essais de systèmes doivent permettre aux étudiants d'analyser un système existant pour en extraire les réponses faites aux questions posées lors de sa conception. Par un accroissement progressif de leurs connaissances, les étudiants évolueront vers plus d'autonomie afin de pouvoir mener une analyse critique d'un système existant puis en apportant eux même une solution à un problème donné.

Sans distinction des matières d'enseignement, les solutions proposées résulteront d'une synthèse des connaissances acquises dans tous les domaines professionnels

Horaires et thèmes d'étude des essais de systèmes

Les essais de systèmes se déroulent classe entière sous la responsabilité d'un enseignant de génie électrique et d'un enseignant de sciences appliquées.

La durée d'une séance hebdomadaire est de 4h en 1^{ère} année et de 6h en 2^{ème} année.

Afin de mettre l'accent sur des points particuliers, 10 thèmes spécifiques sont traités lors des deux années d'enseignements

Durée	N°	Thèmes de 1 ^{ère} année	Durée	N°	Thèmes de 2 ^{ème} année
5 semaines	1	Mise en service d'un ouvrage, d'un système ou d'un équipement	2 semaines	7	La qualité de l'énergie électrique
			2 semaines	8	La gestion des coûts
5 semaines	2	La distribution de l'énergie électrique	4 semaines	9	Asservissement et régulation
			4 semaines	10	Les équipements communicants
5 semaines	3	Comportement des charges mécaniques	4 semaines	Stage de technicien	
5 semaines	4	Les différents procédés de transformation de l'énergie	12 semaines	Projet technique industriel	
5 semaines	5	La réversibilité énergétique			
5 semaines	6	Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes et embarqués			
			2 semaines	Préparation des évaluations ponctuelles	

Les 5 semaines allouées à chaque thème en 1^{ère} année ont pour objectif la résolution d'un problème semblable dans des contextes différents et l'étude des solutions adaptées mises en œuvre.

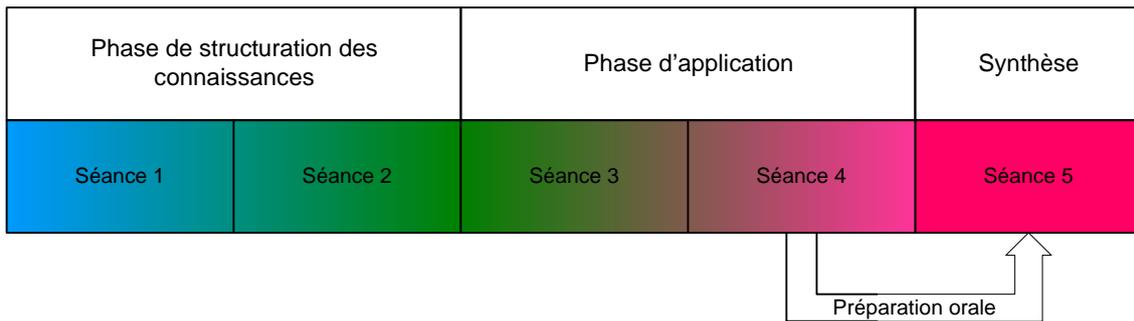
Chaque étudiant doit pouvoir se construire une bibliothèque de solutions technologiques en regard des problèmes rencontrés afin de pouvoir l'utiliser lors des phases d'étude et de conception comme dans l'épreuve d'étude d'un système industriel ou dans le projet technique industriel.

Les thèmes de 2^{ème} année sont plus axés sur les réglages et sur l'aspect économique des systèmes.

Planning et répartition des thèmes en 1^{ère} année

	Groupe 1	Groupe 2
S1	4 essais de systèmes en rotation	4 essais de systèmes en rotation
S2	Thème N°1 : Mise en service d'un ouvrage, d'un système ou d'un équipement	Thème N°2 : La distribution de l'énergie électrique
S3		
S4		
S5		
S6	4 essais de systèmes en rotation	4 essais de systèmes en rotation
S7	Thème N°2 : La distribution de l'énergie électrique	Thème N°1 : Mise en service d'un ouvrage, d'un système ou d'un équipement
S8		
S9		
S10		
S11	4 essais de systèmes en rotation	4 essais de systèmes en rotation
S12	Thème N°3 : Comportement des charges mécaniques	Thème N°4 : Les différents procédés de transformation de l'énergie
S13		
S14		
S15		
S16	4 essais de systèmes en rotation	4 essais de systèmes en rotation
S17	Thème N°4 : Les différents procédés de transformation de l'énergie	Thème N°3 : Comportement des charges mécaniques
S18		
S19		
S20		
S21	4 essais de systèmes en rotation	4 essais de systèmes en rotation
S22	Thème N°5 : La réversibilité énergétique	Thème N°6 : Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes et embarqués
S23		
S24		
S25		
S26	4 essais de systèmes en rotation	4 essais de systèmes en rotation
S27	Thème N°6 : Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes et embarqués	Thème N°5 : La réversibilité énergétique
S28		
S29		
S30		

Méthode pédagogique appliquée



Les deux premières séances correspondent à une analyse méthodologique des systèmes en rapport avec le thème étudié. Les étudiants mettent à profit les connaissances acquises dans l'ensemble des matières pour formaliser toutes les informations relatives au thème étudié. Durant ces deux séances, les enseignants aident à la structuration des connaissances et à la mise en place des méthodes.

Les séances 3 et 4 donnent plus d'initiative aux étudiants. Ils pourront ici faire une analyse critique et proposer des solutions d'amélioration du système. Ils appliquent les formalismes mis en place lors des séances 1 et 2. Les enseignants vérifient par un questionnement l'acquisition des méthodes.

Évaluation

Chaque séance fait l'objet d'un compte rendu écrit noté. Les critères de notation sont la qualité de l'analyse, la précision des informations données, la bonne utilisation des moyens et la formalisation des informations.

Une évaluation individuelle de type formative se fait oralement pendant les séances 3 et 4. Elle prend en compte les réponses aux questions, l'aptitude à faire des mesures sur un système, l'analyse critique des résultats obtenus.

Il est indispensable que sur un groupe d'étudiant les rôles changent dans une même séance ou d'une séance sur l'autre afin de donner une part individuelle à la notation.

Synthèse

La séance de synthèse se fait par demi-classe à la fin de chaque thème. Elle permet de faire le point et finaliser les méthodes et solutions vues durant les quatre séances précédentes. Les étudiants présentent par groupe de 2 ou trois, un diaporama sur le travail réalisé durant la quatrième séance. Les enseignants s'appuient sur ce travail pour construire une fiche de synthèse comportant l'essentiel à retenir sur le thème étudié.

Exemple de planning de rotation d'une classe de 24 étudiants sur les 10 premières séances.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Gr1	T1_1	T1_2	T1_3	T1_4	synthèse	T2_1	T2_2	T2_3	T2_4	synthèse
Gr2	T1_2	T1_3	T1_4	T1_1		T2_2	T2_3	T2_4	T2_1	
Gr3	T1_3	T1_4	T1_1	T1_2		T2_3	T2_4	T2_1	T2_2	
Gr4	T1_4	T1_1	T1_2	T1_3		T2_4	T2_1	T2_2	T2_3	
Gr5	T2_1	T2_2	T2_3	T2_4	synthèse	T1_1	T1_2	T1_3	T1_4	synthèse
Gr6	T2_2	T2_3	T2_4	T2_1		T1_2	T1_3	T1_4	T1_1	
Gr7	T2_3	T2_4	T2_1	T2_2		T1_3	T1_4	T1_1	T1_2	
Gr8	T2_4	T2_1	T2_2	T2_3		T1_4	T1_1	T1_2	T1_3	

Tx_y : Thème N°x, sujet y

Thème N°1 : Mise en service d'un ouvrage, d'un système ou d'un équipement

Exemple de trame des sujets.

Les différents essais de systèmes de ce thème ont une architecture commune qui s'articule autour de 3 parties :

1. Technologie, fonction assurée, identification

- Définition de la fonction réalisée par le système.
- Lecture et exploitation des plaques signalétiques des actionneurs du système.
- Lecture des schémas (électriques, mécaniques, géographique...).
- Identification de la chaîne de sécurité, évaluation des risques.
- Réalisation d'un inventaire des constituants (capteurs, actionneurs, préactionneurs, modulateur...) en définissant leurs principales caractéristiques.

2. Procédures

- Écriture de la procédure de mise en service.
- Recherche des différents modes de marche.
- Représentation de l'équipement ou l'installation sous forme d'un synoptique.
- Représentation d'une chaîne cinématique en liaison avec le cours de construction.

3. Mesurages

- Réaliser la mise sous tension avec la procédure établie précédemment.
- Écrire une procédure d'intervention ou de mesurage.
- Choisir et utiliser les bons appareils de mesure.
- Évaluer ou avoir une idée du résultat attendu afin de fixer les limites à ne pas dépasser.

Exemples de systèmes supports d'études

- Système de levage
- Système de traction ferroviaire
- Axe de transfert
- Système de chauffage par induction
- Système de chauffage de locaux par ventilo gaine
- Malaxeur de produits décoratifs



Essais de systèmes

Thème 1 : Mise en service d'un ouvrage, d'un système ou d'un équipement

Mise en service d'un malaxeur de produits décoratifs

1. Rôle du malaxeur

Ce malaxeur permet de mélanger des produits de décoration comme de la pâte à papier sous forme pâteuse avec un colorant. Afin de ramollir le produit, le bac est chauffé pendant le malaxage.

2. Étude fonctionnelle et matérielle de la machine

Le but de cette partie est d'expliquer le fonctionnement du mélangeur à une personne qui ne l'a jamais vu.

2.1. Fonction d'usage

- Donner une définition de la fonction « malaxage ».
- Donner des exemples d'applications où l'on rencontre des malaxeurs.

2.2. Inventaire

- Faire l'inventaire des actionneurs présents sur la machine et préciser pour chacun d'eux leurs caractéristiques principales.
- Faire l'inventaire des capteurs présents sur la machine et préciser pour chacun d'eux le mode de détection utilisé
- Faire l'inventaire des organes de sécurité présents sur la machine et préciser pour chacun d'eux le type de protection associé.
- Faire l'inventaire des préactionneurs associés aux actionneurs et préciser pour chacun d'eux leurs caractéristiques principales.

2.3. Synoptique

- Représenter un synoptique matériel de la partie opérative en faisant apparaître les fonctions mécaniques, les actionneurs et les liens entre eux.
- Représenter un synoptique matériel de la partie commande en faisant apparaître les organes de commande et les liaisons électriques principales.

2.4. Étude des schémas électriques

- Rechercher dans le dossier, puis représenter la partie du schéma de commande qui permet la mise sous tension de la machine.
- Préciser les conditions nécessaires à la mise sous tension de la machine.

3. Étude du fonctionnement temporel de la machine

- À partir des schémas et des informations présentés dans le dossier, donner la procédure de mise en marche de la machine.
- Donner la procédure d'arrêt de la machine.
- En cas de déclenchement d'une sécurité durant le malaxage, donner la procédure pour redémarrer la machine.

4. Mise sous tension et mesures

4.1. Mesures d'isolation

Cette tâche est à réaliser par l'élève N°1 en présence du professeur.

Conditions de mesure :

L'armoire est ouverte et sous tension, l'écran makrolon est absent.

Travail à réaliser :

Mesurer les résistances d'isolation entre les résistances de chauffage et la carcasse à l'aide du contrôleur de machine CA6121. Le reste de la machine doit rester sous tension.

- Citer les 4 opérations nécessaires à la consignation d'un appareil.
- Préciser les différentes opérations à réaliser pour effectuer les mesures d'isolation.
- En présence du professeur, effectuer les mesures.

4.2. Mesures des résistances de chauffage

Cette tâche est à réaliser par l'élève N°2 en présence du professeur.

Conditions de mesure :

L'armoire est ouverte et sous tension, l'écran makrolon est absent.

Travail à réaliser :

Mesurer la valeur des résistances de chauffage entre phases puis entre phase et neutre. Le reste de la machine doit rester sous tension.

- Préciser les différentes opérations à réaliser pour effectuer les mesures de résistances.
- En présence du professeur, effectuer les mesures.

4.3. Vérification de la puissance de chauffage

Cette tâche est à réaliser par l'élève N°3 en présence du professeur.

Conditions de mesure

L'armoire est ouverte et sous tension, l'écran makrolon est absent, le système est prêt à être démarré.

Travail à réaliser

Mesurer les puissances actives, réactives et apparentes consommées sur chaque phase alimentant le système de chauffage.

- Préciser les différentes opérations à réaliser pour effectuer ces mesures.
- En présence du professeur, effectuer les mesures.

4.4. Exploitation des résultats

- Préciser si les valeurs des résistances d'isolation sont conformes.
- À partir des mesures de résistances, donner leur schéma de raccordement.
- À partir des mesures effectuées, calculer :
 - La puissance active et réactive totale consommée par la charge.
 - Les déphasages ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 entre les courants lignes et les tensions simples.
 - Dans un plan de Fresnel, représenter les vecteurs $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3, \vec{U}_{12}, \vec{U}_{23}, \vec{U}_{31}, \vec{I}_1, \vec{I}_2, \vec{I}_3, \vec{I}_n$
 - Sachant que le système de chauffage n'est composé que de résistances, rechercher le schéma de raccordement de ces résistances ainsi que leurs valeurs (expliquer votre méthode).

Questionnement possible sur ce thème

- Exploitations des informations sur les plaques signalétiques
- Principes de fonctionnement et technologie des différents constituants
- Identification des éléments par rapport aux schémas
- Lecture des schémas, analyse du fonctionnement
- Analyse des risques, moyens de protection
- Déroulement d'une tâche au voisinage de la tension, habilitations
- Explications d'une procédure de mesurage
- Choix des appareils de mesure, réglage, raccordement
- Cohérence des mesures, analyse des résultats

Thème N°2 : La distribution de l'énergie électrique

Exemple de trame des sujets.

Les différents essais de systèmes de ce thème ont une architecture commune qui s'articule autour de 3 parties :

1. Technologie, identification, conduite des réseaux

- Lecture d'un schéma électrique
- Identification des éléments et de leurs caractéristiques
- Technologie des matériels de protection (disjoncteur magnéto thermique, différentiel, fusible)
- Coordination, réglage des appareils de protection
- Les différents modes de conduite des installations électriques

2. Procédures et vérification

- Écriture d'une procédure d'intervention sur une installation électrique
- Suivi d'une procédure de vérification d'un équipement ou d'une installation électrique

3. Mesurages

- Réaliser la vérification d'une installation selon une procédure établie.
- Mesurer les grandeurs électriques sur une installation (tension, courant, puissance).
- Choisir les méthodes de mesures appropriées
- Vérifier et régler les appareils de protection du matériel
- Vérifier et régler les appareils de protection des personnes
- Vérifier la sélectivité des appareils de protection
- Vérifier les points chauds d'une installation

Exemples de supports d'études

- Alimentation normal / secours avec groupe tournant. Circuits prioritaires et délestage.
- Distribution électrique d'un atelier. Coffret de distribution basse tension
- Table d'essais multi sources
- Poste de transformation pour îlotage
- Système de compensation d'énergie réactive
- Production d'énergie. Protection des sources, répartition des puissances.



Essais de systèmes

Thème 2 : La distribution de l'énergie électrique

Vérification d'une table d'essais multi sources

1. Présentation

Au regard de la norme, NF-C15-100 et de la EN 60204, toutes installations électriques et toutes machines doivent être vérifiées avant sa mise en service.

L'objectif de cet essai est de réceptionner et vérifier la conformité d'une table d'essais puis de réaliser un compte rendu.

2. Réception de la table

- Points 1 à 5 de la première mise en service
 - En vous aidant du document « première mise en service de la NF C15-100 chapitre 61 », procéder à la vérification des points 1 à 5.
- Point 6
 - Vérifier les résistances d'isolement de la table avec le contrôleur machine CA6121.
- Point 7
 - Analyser le schéma électrique et lister les transformateurs utilisés dans cette table.
 - Préciser lesquels d'entre eux sont concernés par ce point de la norme et réaliser éventuellement les mesures sur ceux-ci.
- Point 8
 - Lister les appareils assurant la protection des personnes et relever leur calibre.
 - Lister tous les appareils assurant la protection du matériel et relever leur calibre
- Points 9 à 14
 - Terminer la réception en effectuant les derniers points de contrôle.
- Réaliser un compte rendu de réception

3. Analyse approfondie de la protection des personnes

On considère une charge raccordée sur la sortie 230V DC variable 20A. Cette charge a une carcasse métallique reliée à une borne de terre.

- Représenter le schéma de ce raccordement en faisant apparaître :
 - Le transformateur du lycée et son raccordement à la terre (SLT TT)
 - Le disjoncteur du plateau technique alimentant la salle d'essais
 - Le disjoncteur de la salle d'essais alimentant la table d'essais
 - Tous les éléments de puissance de la table d'essais, de l'alimentation jusqu'à la charge concernée.
 - La charge concernée.

Un défaut franc se produit entre la borne – de la charge et la carcasse

- Représenter sur le schéma précédent la maille de circulation du courant de défaut
- Quelle allure aura ce courant de défaut
- Calculer sa valeur efficace si la résistance de la prise de terre du neutre R_n vaut 5Ω et celle des masses R_q vaut 30Ω
- Préciser les appareils qui seront sollicités par ce courant de défaut.
- L'utilisateur court-il un risque ?

4. Essais de validation

4.1. Vérification de la protection du matériel

- Définir les caractéristiques d'une charge résistive triphasée permettant d'obtenir un courant de 18A sur la sortie 400V ~ variable.
- Raccorder cette charge et mesurer pour une tension de 400V, le temps de déclenchement des appareils de protection.
- Expliquer le résultat en analysant les courbes de déclenchement des disjoncteurs concernés.

4.2. Vérification de la protection des personnes

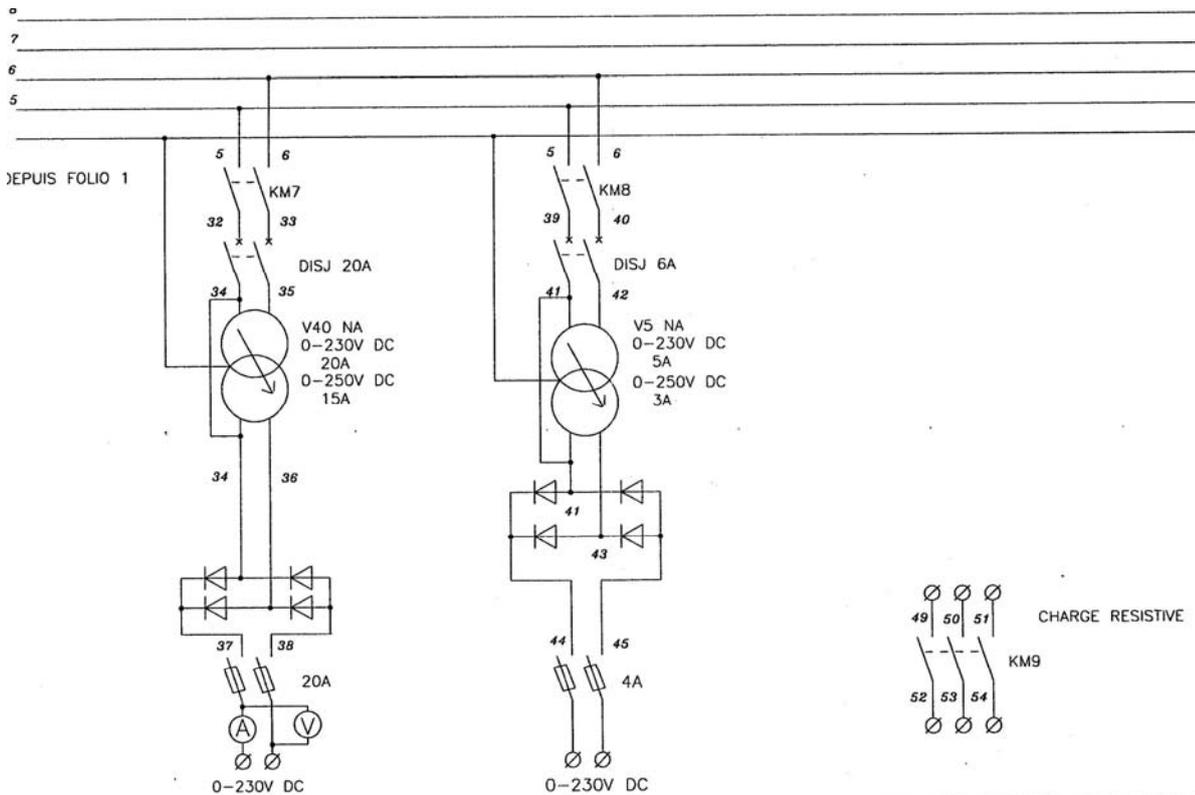
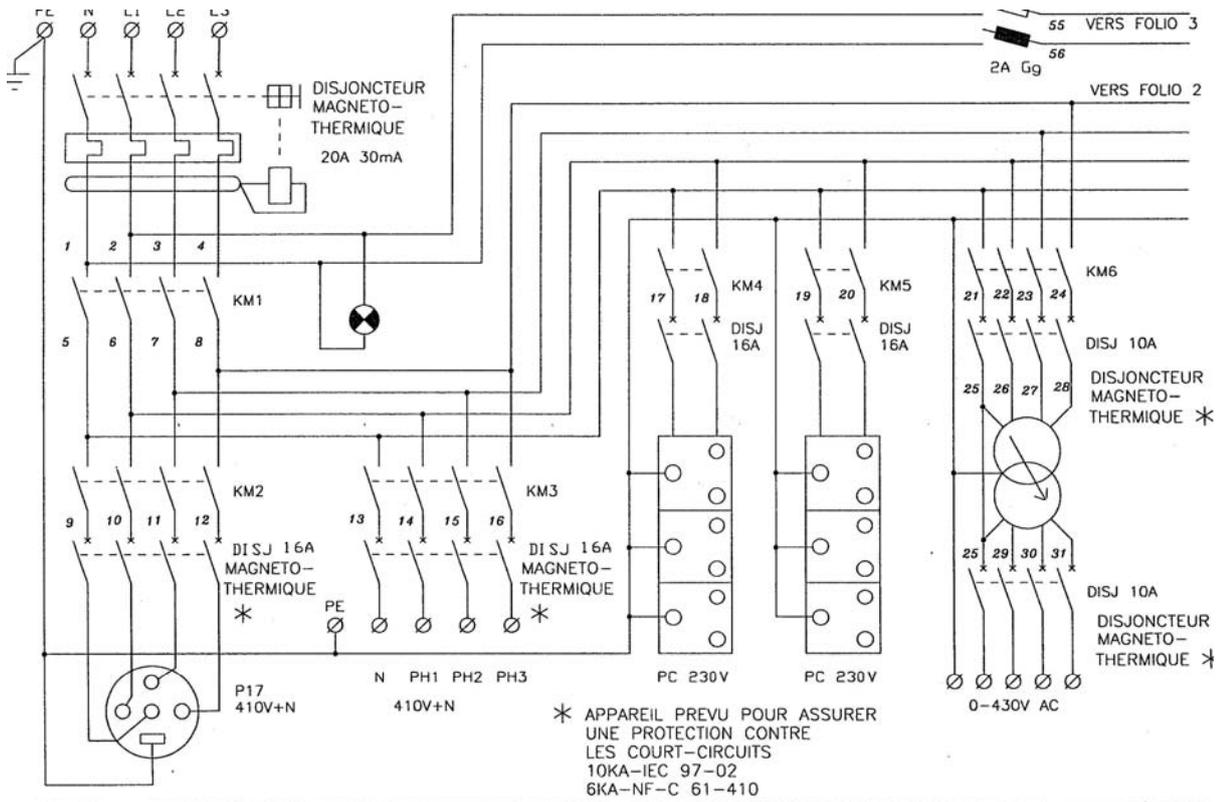
- À l'aide de l'appareil de test des différentiels, vérifier pour un courant de défaut de 10mA, 30mA, 150mA et 300mA quels sont les appareils qui déclenchent.
- Expliquer ces résultats en analysant les réglages des différentiels situés dans la table d'essais, le coffret d'alimentation de la salle et dans le coffret de distribution du plateau technique.
- Placer une résistance de $5k\Omega$ entre la borne – de la sortie 0-230V DC et la masse.
- En présence du professeur et après avoir choisi les appareils de mesures, augmenter la tension jusqu'à 50V et relever à l'oscilloscope la forme du courant de défaut ainsi que sa valeur efficace.
- Augmenter progressivement la tension et noter pour quelle valeur de courant se produit le déclenchement.
- Vérifier si ce courant de déclenchement est conforme et expliquer les différences obtenues.

Questionnement possible sur ce thème

- Rappel des conditions de protections des personnes selon les schémas de liaisons à la terre
- Rappel des conditions de protections des matériels. Courbes de déclenchement, sélectivité.
- Les différents types de défaut
- Technologie des appareils, principe de détection des défauts
- Lecture des schémas de distribution, représentation des symboles normalisés
- Structure d'un schéma afin de réaliser la protection des lignes, des charges, des personnes
- Modèle équivalent d'une ligne, pertes, chute de tension
- Explications d'une procédure de mesurage
- Choix des appareils de mesure, réglage, raccordement
- Cohérence des mesures, analyse des résultats

Première mise en service d'après la NF C15-100 Chapitre 61

-1-	- Vérifier que l'armoire est hors tension et hors énergie et consigner l'installation.
-2-	- Faire la vérification d'absence de tension (V.A.T.)
-3-	- Prendre connaissance des schémas de l'installation.
-4-	- Vérifier la couleur et la section des conducteurs d'après les documents.
-5-	- Vérifier la continuité des conducteurs de protection PE sur toute l'installation.
-6-	<p>- Vérifier les résistances d'isolement de l'installation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le contrôle s'effectue entre chaque conducteur actif et le PE. • Le contrôle s'effectue à l'aide d'un mégohmmètre ou testeur d'isolement. • Le résultat de la mesure doit être au minimum de 1000 Ω par volt (soit 230 kΩ pour un récepteur alimenté sous 230 V et 400 kΩ pour un récepteur alimenté sous 400 V). • Le contrôle de l'isolement s'effectue en tête d'installation (en aval du sectionneur général de l'armoire du système) et sur chaque récepteur de puissance. <p><u>Cas d'un moteur électrique :</u></p> <p>- <u>s'il est déjà raccordé et couplé</u> : on se contente de tester l'isolement aux borniers qui alimente le moteur (test entre chaque conducteur et le PE)</p> <p>- <u>s'il n'est pas raccordé</u> : on enlève les barrettes de couplage et on teste l'isolement entre chaque enroulement puis entre les enroulements et la carcasse métallique du moteur.</p>
-7-	Vérifier la protection par séparation des circuits : le contrôle consiste à vérifier l'isolement entre le primaire et le secondaire des transformateurs.
-8-	<p>Vérifier les conditions de protection par coupure automatique de l'alimentation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Protection des personnes</u> : connaître le régime de neutre et vérifier la présence et le réglage des appareils de protection des personnes. • <u>Protection des appareils</u> : régler les disjoncteurs, les protections thermiques et vérifier les calibres des fusibles.
-9-	Contrôler le couplage des récepteurs par rapport à la tension d'alimentation.
-10-	Ouvrir toutes les protections (disjoncteurs, sectionneurs, porte-fusibles) et coupes- circuits de l'armoire
-11-	Contrôler la tension d'alimentation de l'installation entre phases puis entre phase et neutre.
-12-	- Déconsigner l'armoire.
-13-	<p>- Mettre sous tension chaque circuit en respectant la procédure suivante :</p> <p>- Mesurer la tension en amont de l'appareil ouvert.</p> <p>- si la tension est conforme au plan, fermer l'appareil.</p>
-14-	- Vérifier le fonctionnement de l'installation dans les différents modes de marche et contrôler le sens de rotation des moteurs.



Thème N°3 : Comportement des charges mécaniques

Exemple de trame des sujets.

Les différents essais de systèmes de ce thème ont une architecture commune qui s'articule autour de 3 parties :

1. Identification de la charge mécanique, comportement statique

- Représentation de la chaîne cinématique et définition des liaisons mécaniques
- Détermination d'un couple résistant à partir des grandeurs mécaniques de la charge
- Détermination d'une vitesse, grandeurs linéaires et angulaires
- Détermination d'une puissance mécanique

2. Analyse du comportement dynamique

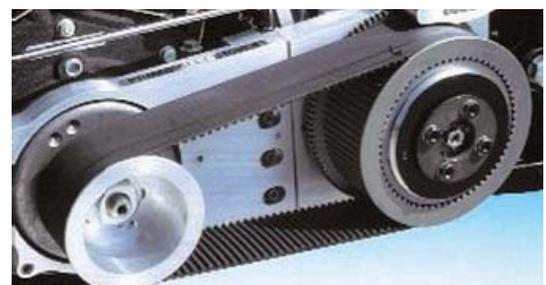
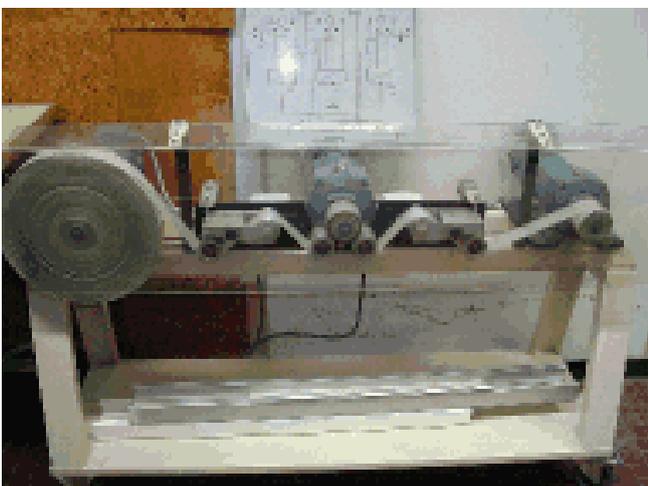
- Détermination d'une inertie et inertie ramenée sur l'arbre moteur
- Détermination des énergies dans un système linéaire et angulaire
- Choix d'un cycle de vitesse, influence sur le couple et la puissance
- Détermination d'une distance parcourue, d'un temps de démarrage ou de cycle
- Détermination d'un couple thermique

3. Mesurages

- Mesurer la vitesse et le couple de la charge par une méthode directe
- Déduire par des mesures indirectes, les grandeurs mécaniques de la charge
- Identifier l'inertie d'un système
- Mesurer l'échauffement d'un moteur
- Mesurer l'influence de paramètres de réglage sur le comportement d'une charge

Exemples de supports d'études

- Vélo à assistance au pédalage
- Axe de transfert
- Système de levage
- Traction ferroviaire
- Enrouleur – dérouleur
- Testeur de courroie
- Mélangeur de produit



Essais de systèmes

Thème N°3 : Les différents procédés de transformation de l'énergie

ETUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE D'UN TRANSSTOCKEUR

Matières d'œuvre	Transformer	Déplacer	Stocker
Information : I	T_i	D_i	S_i
Produit : P	T_p	D_p	S_p
Energie : W	T_w	D_w	S_w

1. Présentation du système

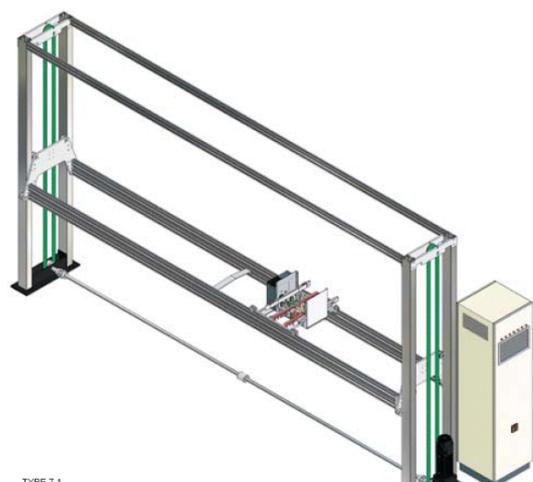
La société Argos est la plus grosse chaîne de vente de détail de 'produits non alimentaires' du Royaume-Uni. Avec un chiffre d'affaires de 4 milliards, Argos est leader dans le domaine des jouets et de l'électroménager. Argos est également leader de la distribution des outils de bricolage, de jardinage et d'accessoires.

Import direct :

- Réception de produits (depuis les conteneurs)
- Palettisation automatique des produits réceptionnés
- Stockage automatique de 95 000 palettes
- Déstockage et entreposage temporaire automatique des envois vers « Central »

Centre de distribution :

- Système de stockage assuré par mini-transstockeur pour 72 000 bacs
- Système de distribution de commandes avec 56 stations de travail
- Système de regroupement automatique des commandes et système de gerbage des chariots



2. Système didactique

Le système didactique comporte un seul axe de déplacement : l'axe horizontal X. Il est motorisé par une machine à courant continu pilotée par un variateur de vitesse dont les caractéristiques sont précisées dans le dossier à votre disposition.

3. Étude mécanique

3.1. Étude d'un déplacement

Les réglages de l'axe sont les suivants :

- Potentiomètre vitesse sur la position 5.
 - Potentiomètre rampe sur la position 5.
 - Charge en plus du chariot 10 kg.
-
- Effectuer un relevé de la vitesse et du courant dans le moteur sur un cycle aller – retour, puis imprimer le résultat.
 - Indiquer sur le relevé les différentes phases de fonctionnement (déplacement à droite, accélération vers la droite, etc...)
 - Représenter la chaîne cinématique en partant du moteur jusqu'à la charge.
 - Rechercher dans la documentation constructeur les informations techniques suivantes :
 - Pas de la crémaillère :
 - Diamètre primitif du pignon d'entraînement :
 - Rapport de réduction du réducteur :
 - Distance entre les 2 butées de déplacement :
 - A partir des relevés et des informations techniques, calculer les distances parcourues pendant chaque phase de fonctionnement.
 - Représenter l'allure de la position de l'axe en fonction du temps en la justifiant pour chaque phase.
 - Reporter les résultats des calculs sur le tracé précédent.

3.2. Service type et couple thermique

- Rappeler la relation qui lie le couple électromagnétique au courant dans une machine à courant continu.
- À partir des documentations techniques du moteur, préciser son mode d'excitation. Quelles sont les conséquences sur la relation précédente ?
- A partir des données du constructeur, donner la relation sous forme numérique.
- A partir du relevé précédent, dessiner l'allure du couple moteur en précisant les valeurs pour chaque phase.
- En déduire l'allure de la puissance utile fournie par le moteur sur un cycle. Préciser les valeurs des points caractéristiques de ce tracé.

Pour déterminer le comportement thermique d'une machine tournante, la norme CEI 34-1 définit des cycles de fonctionnement type classés de S1 à S10.

Quand l'application ne peut être classée dans un service type de fonctionnement, on définit un couple thermique équivalent.

- Rechercher dans le catalogue Leroy Somer la définition des services types.
- Donner littéralement la définition du couple thermique.
- Calculer le couple thermique équivalent sur un déplacement.
- En déduire les critères de choix (couple, vitesse, puissance) pour cette application.

On donne la caractéristique du couple en fonction de la vitesse fournie par le constructeur.

- Tracer sur cette caractéristique, le trajet du point de fonctionnement lors d'un déplacement.

3.3. Influence des paramètres de réglage et de la charge.

Afin de déterminer l'influence des paramètres de réglage et de la charge sur le moteur, on réalise une série de mesures selon différents cas.

1^{er} cas : Cahier des charges : on impose les réglages suivants :

- Potentiomètre vitesse sur la position 5.
- Potentiomètre rampe sur la **position 0**.
- Charge en plus du chariot 10 kg.

2^{ème} cas : Cahier des charges : on impose les réglages suivants :

- Potentiomètre vitesse sur la position 5.
- Potentiomètre rampe sur la **position 5**.
- Charge en plus du **chariot 20 kg**.

3^{ème} cas : Cahier des charges : on impose les réglages suivants :

- Potentiomètre vitesse sur la **position 10**.
- Potentiomètre rampe sur la position 5.
- Charge en plus du **chariot 10 kg**.

- Pour chaque réglage, effectuer un relevé de la vitesse et du courant dans le moteur sur un cycle aller – retour et imprimer le résultat.
- Sur chaque tracé, représenter l'allure du couple en précisant sa valeur pour chaque phase.
- En déduire le couple équivalent thermique.
- Relever pour chaque cas le temps total du cycle et le couple maximum du moteur.
- A partir de la feuille de calcul des plans d'expériences (L4), compléter la matrice d'essais 3 paramètres à 2 critères et placer les résultats de temps de cycle, couple thermique et couple maximum en regard.
- Imprimer les graphes d'influence et en justifiant votre analyse, préciser l'influence des paramètres et le réglage qui semble le plus adapté.

Questionnement possible sur ce thème

- Rappeler les conditions de démarrage d'une motorisation ($C_{mot} > C_{résistant}$)
- Énoncer le principe fondamental de la dynamique.
- Expliquer l'influence de l'inertie sur un couple moteur, sur la mise en vitesse ou sur l'arrêt d'un mobile.
- Quelle est l'influence du réglage de l'accélération sur la dynamique d'un système

On classe les couples résistants en plusieurs familles suivant leur comportement. Citer l'allure des couples résistants pour les systèmes sur lesquels vous avez travaillé.

- Rappeler les formules d'inertie pour des géométries simples.
- Comment peut-on déterminer expérimentalement l'inertie d'une charge ?
- Quel est l'intérêt d'un réducteur mécanique de vitesse sur le couple résistant et sur l'inertie de la charge
- Quel est l'intérêt de la classification selon les services types ?
- Quelle est la notion utilisée lorsqu'un cycle de fonctionnement ne correspond pas à un service type ?
- Pourquoi un moteur chauffe-t-il ?
- Sur un relevé d'un cycle de vitesse $\Omega = f(t)$, identifier les différentes phases de fonctionnement.
- Sur un relevé de courant $I = f(t)$ correspondant à un cycle de vitesse, identifier les différentes phases de fonctionnement.
- Tracer dans un repère moment du couple $M = f(\Omega)$ la trajectoire d'un point de fonctionnement. Identifier les différentes phases.
- Placer le point de fonctionnement des différentes phases de fonctionnement du moteur sur la courbe constructeur.
- Énoncer les équations horaires du mouvement et calculer les distances parcourues par un mobile.

Thème N°4 : Les différents procédés de transformation de l'énergie

Exemple de trame des sujets

Les différents essais de systèmes de ce thème ont une architecture commune qui s'articule autour de 3 parties :

1. Modélisation du système

- Principe utilisé pour la conversion d'énergie
- Détermination des grandeurs relatives à la forme d'énergie utilisée
- Recherche d'un modèle
- Représentation du modèle – analogie avec les circuits électriques
- Détermination d'un point de fonctionnement

2. Analyse énergétique

- Détermination des différentes pertes
- Rendement de la transformation
- Mode de réglage du transfert d'énergie
- Efficacité énergétique de la transformation

3. Mesurages

- Mesurer les grandeurs des différentes formes d'énergie
- Obtenir des grandeurs non électriques par des mesures indirectes
- Utiliser des abaques
- Mesurer les pertes et les puissances mises en jeu
- Mesurer les rendements

Exemples de supports pouvant être utilisés pour ce thème

- Station de pompage
- Installation solaire
- Éolienne
- Système de ventilation contrôlé
- Centrale de production hydroélectrique
- Pompe à chaleur
- Pile à combustible
- Éclairagisme



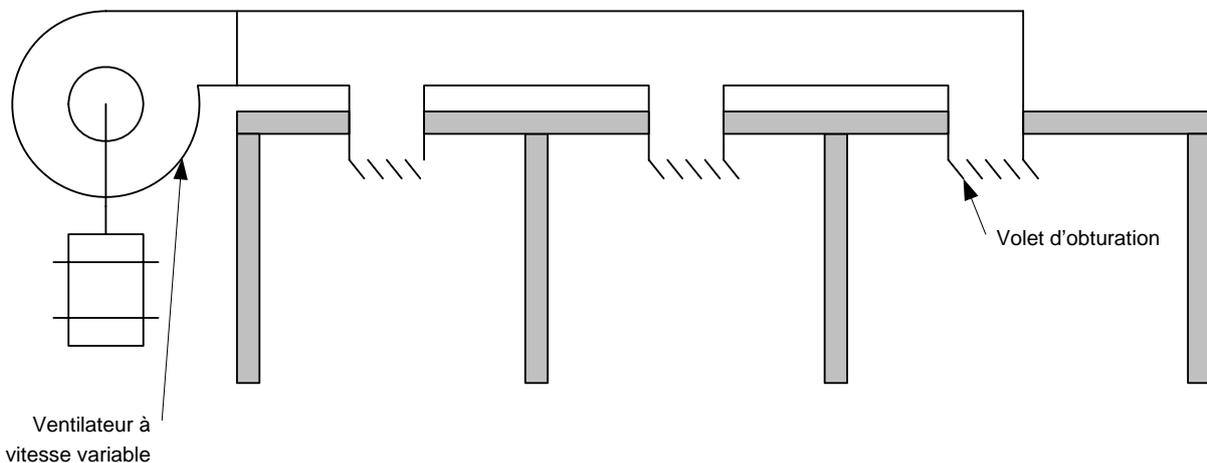
Essais de systèmes

Thème N°4 : Les différents procédés de transformation de l'énergie

ETUDE D'UNE GAINÉ DE VENTILATION MOTORISÉE

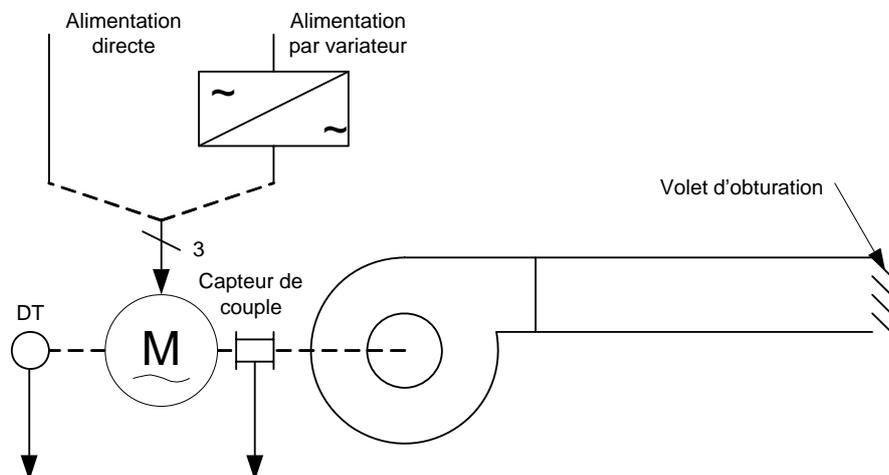
1. Présentation

Une gainé de ventilation motorisée permet d'envoyer de l'air recyclé dans un ensemble de locaux. Le débit d'air peut être contrôlé par la vitesse du ventilateur, mais aussi par l'ouverture ou la fermeture des volets d'obturation.



Une documentation technique mise à disposition rappelle les grandeurs aérauliques et le fonctionnement des systèmes de ventilation.

Le système didactisé comporte une seule sortie d'air avec un volet d'obturation.



2. Étude du système de ventilation

2.1. Détermination des grandeurs aérauliques

Le ventilateur est entraîné par un moteur asynchrone à 2 paires de pôles. La vitesse de rotation du ventilateur est de 2070 tr/min pour une vitesse moteur de 1500 tr/min.

Le débit nominal est de 5000 m³/h dans la gaine pour une pression différentielle de 600 Pa. Le ventilateur choisi est un AT 9-7 (voir abaque).

- À partir de l'abaque du ventilateur rechercher pour le point de fonctionnement nominal :
 - o Le rendement du ventilateur
 - o La puissance mécanique sur l'arbre du ventilateur
 - o La vitesse de rotation du ventilateur
 - o La vitesse de l'air en sortie du ventilateur
- De la puissance mécanique, déduire la puissance aéraulique, la vitesse et le couple du moteur pour ce point de fonctionnement.
- Comparer la puissance aéraulique au produit $Q \times Pa$.

2.2. Essais sur le système réel

Détermination de la caractéristique mécanique du ventilateur AT 9-7

Le moteur du ventilateur est piloté par le variateur de vitesse à U/f constant.

- Placer le volet d'obturation en position ouverte et relever, pour une fréquence de consigne variant de 5 à 50 Hz, le couple sur l'arbre et la vitesse de rotation.
- Refaire une série de mesures pour le volet en position $\frac{1}{2}$ puis pour le volet totalement fermé.
- Tracer les caractéristiques mécaniques de ce ventilateur $C(\Omega)$ pour les 3 positions du volet.
- A l'aide de la documentation fournie, expliquer pourquoi la caractéristique volet ouvert donne le plus grand couple.

Réglage de la puissance par la fréquence de rotation

Pour le volet complètement ouvert :

- Calculer puis tracer, la puissance mécanique en fonction de f ($P_m(f)$).
- À partir de l'abaque, déterminer pour chaque point, le débit de l'air, la pression, le rendement et la puissance aéraulique.
- Tracer la puissance aéraulique et le rendement du ventilateur en fonction du débit d'air.

Mesure de puissance au point de fonctionnement $P_{méca} = 600W$

- Déterminer la consigne de fréquence à placer à l'entrée du variateur pour obtenir une puissance mécanique de 600W.
- Placer cette fréquence et relever le couple utile et la vitesse de rotation.
- À l'aide des tracés précédents, en déduire la puissance aéraulique.
- Pour ce point, relever à l'oscilloscope le courant consommé par le variateur.
- À l'aide d'un analyseur de réseau relever le fondamental de ce courant, le facteur de puissance et le facteur de déplacement.
- En déduire la puissance électrique consommée par le variateur et le rendement global du système (puissance aéraulique / puissance électrique).

Réglage de la puissance par le volet d'obturation

Le moteur du ventilateur est en démarrage direct.

- Préciser le couplage à réaliser sur le moteur asynchrone.
- Pour différentes positions d'ouverture du volet (l'ouverture O variant de 0 à 100%), relever le couple et la vitesse de rotation.
- Calculer puis tracer la puissance mécanique en fonction de la position d'ouverture du volet ($P_m(O\%)$).
- Comparer cette courbe à la courbe $P_m(f)$ et préciser l'intervalle de réglage de puissance dans les 2 cas.

- À partir de l'abaque du ventilateur, déterminer pour chaque point, le débit de l'air, la pression, le rendement et la puissance aéraulique.
- Tracer la puissance aéraulique et le rendement du ventilateur en fonction du débit d'air sur la même feuille que précédemment.

Mesure de puissance au point de fonctionnement $P_{méca} = 600W$

- À l'aide des tracés précédents, déterminer la position du volet qui donne une puissance de 600W
- Déduire des tracés, la puissance aéraulique.
- Pour ce point, mesurer la puissance absorbée par le moteur asynchrone et calculer le rendement global du système (puissance aéraulique / puissance électrique).

Comparer ces 2 modes de réglages du débit et expliquer d'un point de vue efficacité énergétique, les avantages et les inconvénients de ces 2 modes de réglage.

Questionnement possible sur ce thème

Pour toutes les conversions :

- Quelles sont les différentes formes d'énergie ?
- Citer des exemples d'applications industrielles ou de la vie courante où l'on rencontre ces formes d'énergie ?
- Quels sont les moyens mis en œuvre pour moduler une énergie ?
- Quels sont les composants utilisés dans les modulateurs d'énergie électrique ?
- Quelles sont les structures utilisées dans les modulateurs d'énergie électrique ?

Pour la conversion mécanique des fluides :

- Quelles sont les relations entre les différentes unités de pression (Pascal, bar, mCE).
- Qu'appelle-t-on perte de charges singulières et régulières ?
- Dans une installation hydraulique simple, à partir de l'équation de Bernoulli, énoncer les hypothèses réductrices pour déterminer la puissance hydraulique d'une pompe.
- Énoncer le principe de fonctionnement des capteurs de débit et de pression.

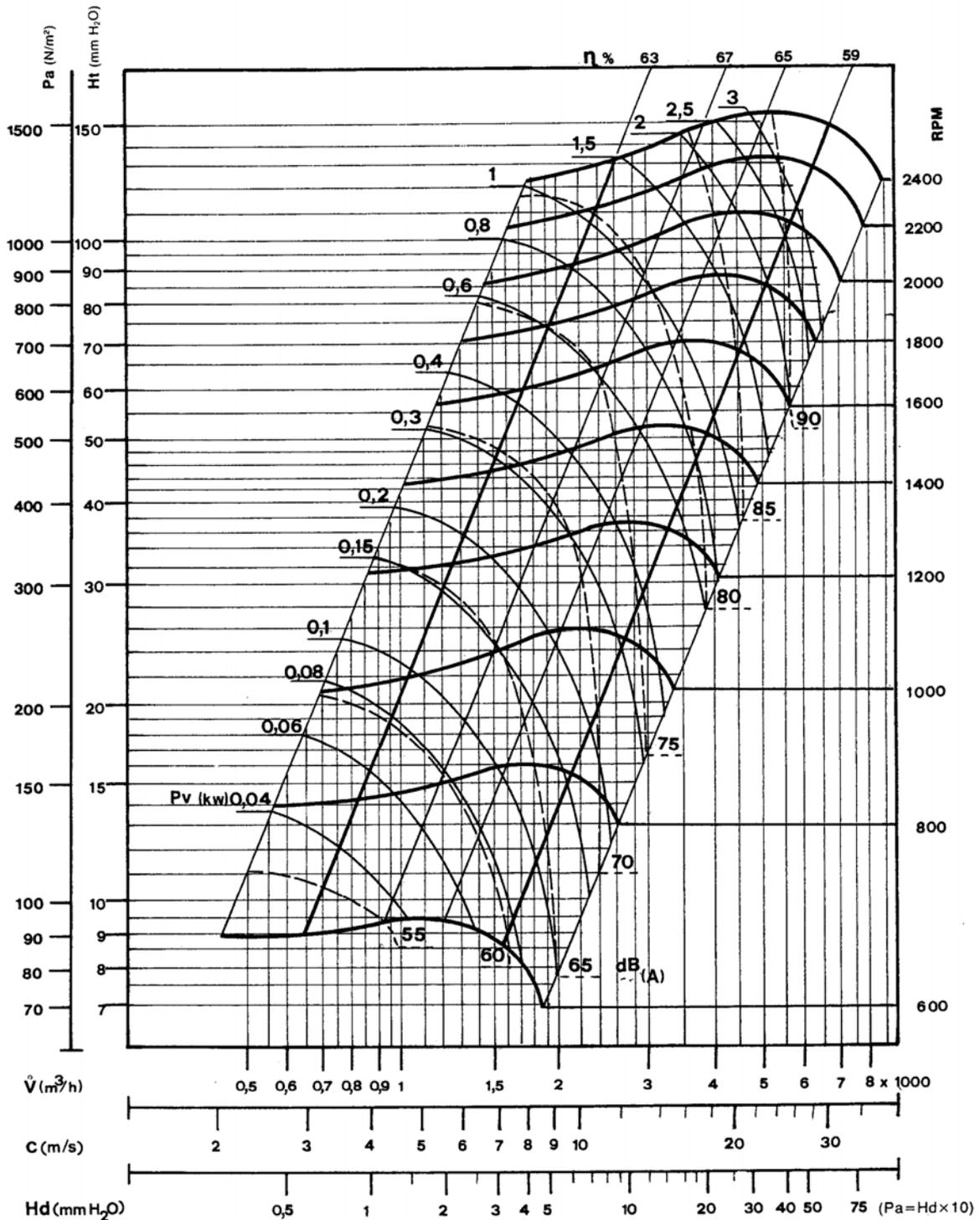
Pour la conversion thermique :

- Quels sont les différents modes de transmissions de la chaleur ?
- Dans quelle partie du système l'énergie thermique est elle stockée ?
- Dans quelle partie du système trouve-t-on les pertes ?
- Rappeler l'analogie entre les circuits électriques et les circuits thermiques
- Par quel élément électrique modélise-t-on le lieu de stockage de l'énergie ?
- Par quel élément électrique modélise-t-on les pertes ?
- Sur quels paramètres peut-on agir pour augmenter l'isolation ?
- Énoncer le principe de fonctionnement des capteurs de température.

Pour la conversion électrochimique :

- Qu'est qu'un ion ?
- Quel est le rôle d'une électrode ?
- Pourquoi le nom d'anode et de cathode ?
- Pourquoi peut-on avoir un courant électrique dans un liquide ?

Caractéristique du ventilateur AT9-7



Thème N°5 : La réversibilité énergétique

Exemple de trame des sujets

Les différents essais de systèmes de ce thème ont une architecture commune qui s'articule autour de 3 parties :

1. Mise en évidence de la réversibilité énergétique

- Identification des éléments réversibles ou irréversibles dans une chaîne de transformation d'énergie
- Détermination du parcours de l'énergie dans le sens de transfert direct et inverse
- Méthode de stockage et de transformation de l'énergie, grandeurs associées
- Recherche d'un modèle

2. Analyse énergétique

- Analyse des rendements des transformations dans le sens direct et inverse
- Détermination des différentes pertes
- Gain énergétique du à la récupération
- Mode de réglage de la récupération d'énergie
- Efficacité énergétique dans un système réversible

3. Mesurages

- Mesurer les grandeurs des différentes formes d'énergie
- Mesurer en différents points d'une chaîne de transformation d'énergie, la quantité d'énergie consommée ou restituée
- Évaluer une énergie stockée
- Mesurer l'efficacité énergétique dans le cas d'un système utilisant ou non la réversibilité énergétique

Exemples de supports pouvant être utilisés pour ce thème

- Banc de test de courroie
- Enrouleur / Dérouleur
- Système de traction ferroviaire
- Centrale de production hydroélectrique
- Système de production d'énergie autonome à stockage (solaire, éolien)
- Système de stockage inertielle



Essais de systèmes

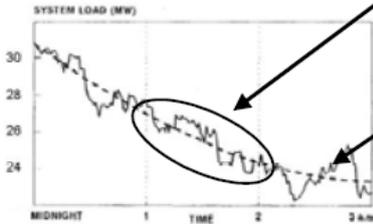
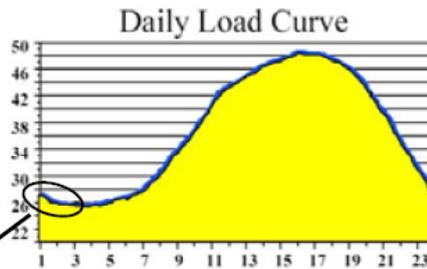
Thème N°5 : La réversibilité énergétique

Stockage inertiel

1. Présentation du problème

Lorsque la consommation d'énergie ou la production comporte des variations rapides, il est nécessaire de prévoir un élément de lissage afin d'adapter le couple producteur consommateur. Cet élément de lissage doit être capable d'absorber ou de fournir une quantité d'énergie limitée, mais de forme impulsionnelle. Ils contribuent alors à la stabilité du réseau électrique. Ces systèmes peuvent être réalisés par un volant d'inertie associé à une machine électrique fonctionnant en moteur ou en générateur.

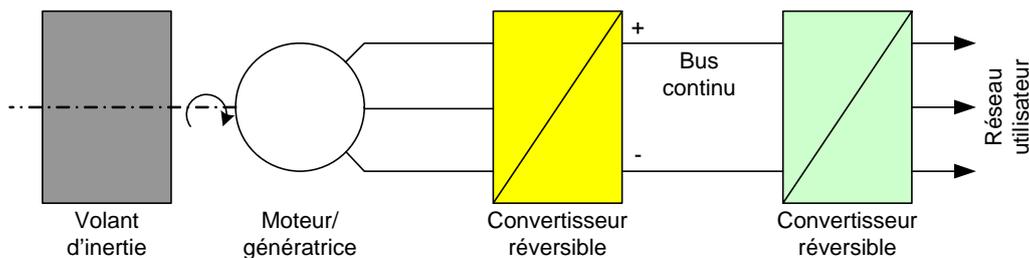
ISO Goal:
Load = Power Generated
Power < Load:
 - Frequency drops under 60 Hz.
Power > Load:
 - Frequency rises over 60 Hz.



- Short term variation**
- ~ 1% of daily load
 - Managed via regulation
 - Fluctuation is net zero



Structure d'un système de stockage inertiel



L'énergie cinétique emmagasinée s'exprime par : $w = \frac{1}{2}J\Omega^2$, où W , énergie cinétique, est en joule, J est le moment d'inertie (kg.m^2) et Ω la vitesse angulaire de rotation (rad.s^{-1}).

Il est intéressant d'utiliser pour la constitution du volant d'inertie, des matériaux à haute résistance à la traction, capables de vitesses périphériques élevées. Les meilleurs matériaux sont les composites à fibres de carbone (structures bobinées) capable d'atteindre des vitesses périphériques de 1500 m.s^{-1} correspondant à une puissance de 100 Wh.kg^{-1} . Mais ces matériaux sont très coûteux. Pour minimiser le volume, des matériaux massifs de type acier à haute résistance offrent un bon compromis énergie volumique/coût.

Il faut adjoindre au volant des auxiliaires (paliers magnétiques, enceinte sous vide, moteur/générateur) qui conduisent à des valeurs de puissance plus proches de 5 à 25 Wh.kg^{-1} . Quant au moteur/générateur, il est l'interface «électromagnétique permettant la charge et la décharge.

La puissance impulsionnelle de ces dispositifs peut être élevée : 2 Wh.kg^{-1} . Les premières applications furent dans les transports (bus et tramways pour récupérer l'énergie de freinage ou pour éviter les systèmes de captation de courant). Depuis quelques années, des volants d'inertie équipent des alimentations ininterrompibles dans lesquelles ils concurrencent les batteries électrochimiques au plomb et au NiCd. Là également, il s'agit de fonctionnement impulsionnel (durée de décharge de l'ordre de la minute).

<http://www.beaconpower.com/>

<http://www.energiestro.com/>

<http://www.bretagne.ens-cachan.fr/dochtml/docD/dochtml/0302.html>

http://www.bretagne.ens-cachan.fr/pdf/mecatronique/Page_SystemesEM_HautesPerf/Flywheel_ECRIN_mai2002.pdf

Exercice préalable

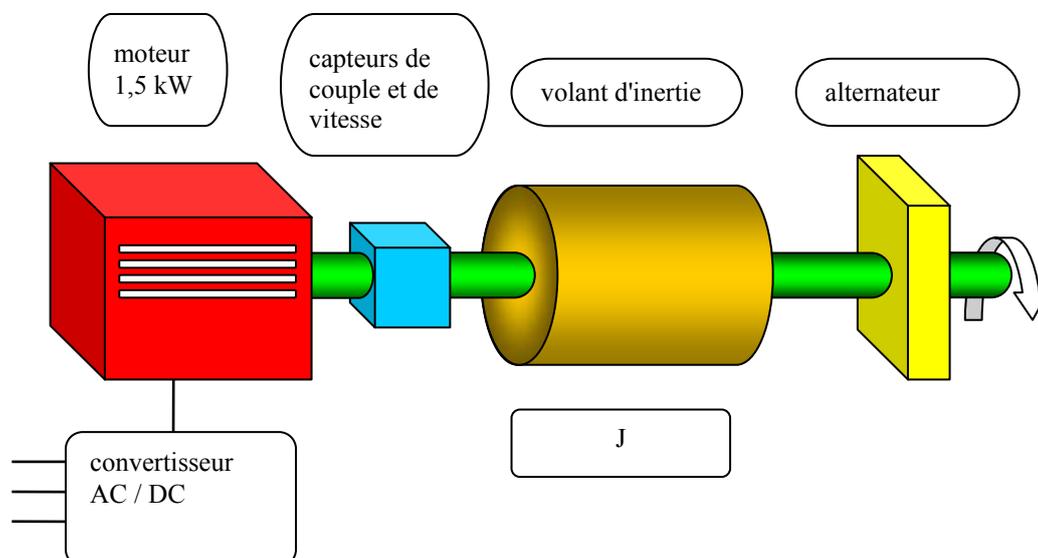
Un volant d'inertie cylindrique a un rayon de $R = 50\text{cm}$ et une masse de $M = 140\text{kg}$. À quelle vitesse doit-il tourner pour stocker une énergie équivalente à celle de 10kg d'essence brûlée dans un moteur à combustion interne?

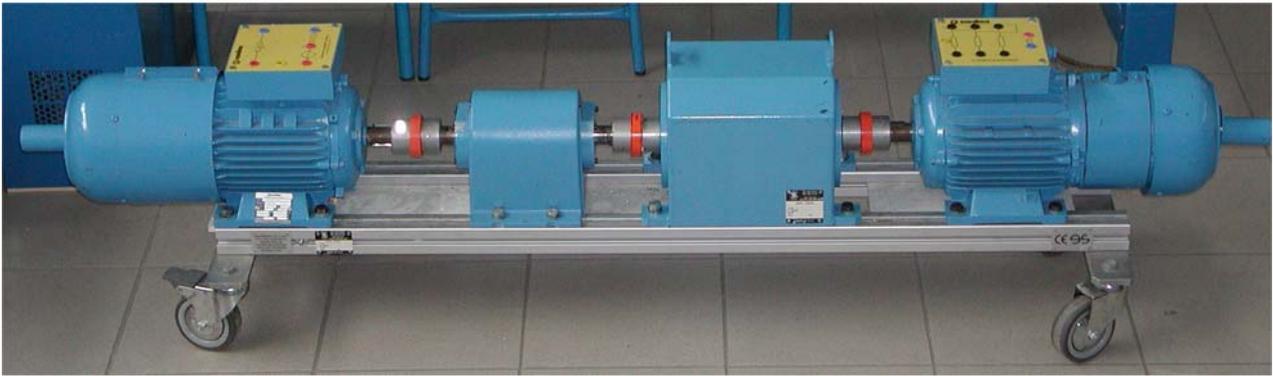
Données : $10 \text{ kg d'essence} \Leftrightarrow 140 \text{ kWh}$.

Le moteur thermique a un rendement de 15% soit $21 \text{ kWh d'énergie utilisable}$.

Le volant d'inertie a un rendement 80% .

2. Système d'essai





Caractéristiques du banc d'essai :

Machine à courant continu Ecodime D100L2E {1,2kW ; 230V ; 7,2A ; 1500tr.min⁻¹ ; exc 0,55A }

Constante de fem : $K=1,32\text{Wb}$ à $I_{ex}=0,55\text{A}$

Résistance d'induit : $R=7,15\Omega$ à 20°C

Moment d'inertie $J_{MCC}=0,022\text{kg.m}^2$

Alternateur EcodimeTA100L4 {1,2kW ; 230V/400V ; 1500tr.min⁻¹ ; $U_{RP}=70\text{V}$ - $I_{RP}=2,6\text{A}$ }

Moment d'inertie $J_{MS}=0,022\text{kg.m}^2$

Volant d'inertie cylindrique Ecodime VII100B

Diamètre $D=20\text{cm}$

Longueur $L=18\text{cm}$

Matériau fer de masse volumique $\rho=7850\text{kg.m}^{-3}$

Les relevés seront effectués avec une carte d'acquisition reliée à un ordinateur (logiciel de traitement : Synchronie), les calculs ainsi que les tracés seront faits sur un tableur.

2.1. Mesures sur l'accumulation d'énergie (alternateur à vide)

- Calculer le moment d'inertie du volant. Quel est le moment d'inertie du système complet?
- Mettre en marche le système avec une consigne de vitesse de 1500 tr/min. Relever en fonction du temps pendant la phase de démarrage, la vitesse du groupe, la puissance et l'énergie absorbée au niveau de l'arbre d'entraînement du volant.
- À quoi correspond la valeur finale de la puissance absorbée ?
- Serait-il possible de lancer ce système avec un moteur de 750W ? Quelle en serait la conséquence ?
- Calculer l'énergie théorique emmagasinée par le volant d'inertie. Comparer cette valeur à la courbe de l'énergie consommée.
- Quel a été le rendement énergétique de cette phase de démarrage ?

2.2. Mesures de restitution d'énergie sans charge sur l'alternateur

- Faire tourner le groupe à vide à vitesse nominale. Faire le relevé $\Omega(t)$ au cours d'un essai de lâcher.
- Découper l'axe des temps en intervalles de 5s, puis pour chaque intervalle, déterminer :
 - o La vitesse moyenne du groupe Ω_{moy} .
 - o L'énergie restituée par le volant d'inertie
 - o L'énergie cumulée, restituée depuis le début de la décélération
 - o La puissance fournie par le volant d'inertie

- Tracer la puissance fournie par le volant en fonction de Ω_{moy} . À quoi correspond cette courbe ?
- Quel est l'intérêt de placer les volants d'inertie sous vide et sur des paliers magnétiques ?
- Tracer l'énergie cumulée restituée en fonction de Ω_{moy} .
- Vérifier théoriquement la valeur finale de cette courbe.
- Pour quel pourcentage de décroissance de la vitesse, le volant a-t-il fourni 80% de son énergie cinétique ? Calculer la valeur théorique correspondante et comparer.

2.3. Mesures de restitution d'énergie avec une charge sur l'alternateur

Le système fonctionne à vitesse nominale; la machine à courant continu est arrêtée (induit et inducteur). L'alternateur débite dans un plan de charge résistif triphasé réglé sur 200W.

- Relever l'énergie fournie à la charge sur une phase ($\int v(t)i(t)dt$)
- Relever la décroissance de la vitesse en fonction du temps.
- Découper l'axe des temps en intervalles de 2s, puis pour chaque intervalle, déterminer :
 - o La vitesse moyenne du groupe Ω_{moy} .
 - o L'énergie restituée par le volant d'inertie
 - o La puissance fournie par le volant d'inertie
- Tracer sur le même graphe que précédemment, la puissance fournie par le volant d'inertie en fonction de Ω_{moy} .
- En déduire la courbe de puissance fournie à la charge en fonction de Ω_{moy} .
- Déterminer à partir des relevés l'énergie totale fournie à la charge.
- En déduire le rendement énergétique de cette phase de freinage.

Dans un système réel, la génératrice est raccordée au réseau par l'intermédiaire de deux convertisseurs reliés par un bus continu (voir synoptique dans la présentation).

- Quel est l'intérêt de cette structure?

Questionnement possible sur ce thème

- Quelles sont les différentes formes d'énergies possibles, dans un système mécanique en translation horizontale ?
- Quelles sont les différentes formes d'énergies possibles, dans un système mécanique en translation verticale ?
- Quelles sont les différentes formes d'énergies possibles, dans un système mécanique en rotation ?

- Rappeler l'expression de l'énergie potentielle.
- Rappeler l'expression de l'énergie cinétique pour un objet en translation.
- Rappeler l'expression de l'énergie cinétique pour un objet en rotation.

- À masse égale, comment faut-il disposer la matière par rapport à l'axe de rotation pour obtenir un grand moment d'inertie.

- Rappeler la définition du rendement d'une chaîne cinématique.
- Pourquoi un rendement est-il toujours inférieur à 1 ?
- Quelles sont les pertes rencontrées dans les systèmes ?

- Toutes les machines électriques sont-elles réversibles ?
- Citer des exemples de convertisseur d'électronique de puissance réversible ou non réversible.
- Donner la structure de ces modulateurs.
- Comment est défini le fonctionnement moteur ou générateur d'une machine électrique ?
- Définir ces fonctionnements dans un plan 4 quadrant selon la convention utilisée.
- Dans le cas d'un moteur asynchrone, comment définir les quadrants de fonctionnement à partir de l'analyse du diagramme P, Q ? ou du relevé $u(t)$ et $i(t)$?
- Pouvez-vous énoncer des applications industrielles qui utilisent la restitution d'énergie pour ralentir ou freiner des charges ?

Thème N°6 : Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes et embarqués

Exemple de trame des sujets

Les différents essais de systèmes de ce thème ont une architecture commune qui s'articule autour de 3 parties :

1. Classification des besoins énergétiques

- Lister les besoins énergétiques d'une application
- Définir les corrélations production - consommation
- Définir des stratégies de consommation
- Comparer des solutions constructives de production

2. dimensionnement énergétique

- Effectuer un bilan énergétique
- Rechercher les données de production
- Dimensionner le ou les éléments de production
- Dimensionner le ou les éléments de stockage
- Définir un réglage optimum du système de production

3. Mesurages

- Mesurer les énergies consommées
- Évaluer une énergie stockée
- Mesurer l'énergie en provenance d'un système de production autonome
- Vérifier l'adéquation consommation - production

Exemples de supports pouvant être utilisés pour ce thème

- Panneau de signalisation routière autonome
- Clôture électrique solaire
- Produits autonomes rechargeables sans secteur (lampe torche à manivelle)
- Pile à combustible
- Centrale de production hydroélectrique isolée
- Installation solaire isolée
- Installation éolienne isolée
- Véhicule électrique



Essais de systèmes

Thème N°6 : Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes et embarqués

VÉLO À ASSISTANCE ÉLECTRIQUE

Procédé de stockage : Utiliser une batterie pour apporter une aide au pédalage lors d'un déplacement en vélo.

Matières d'œuvre	Transformer	Déplacer	Stocker
Information : I	Ti	Di	Si
Produit : P	Tp	Dp	Sp
Energie : W	Tw	Dw	Sw

Introduction : article de [Wikipédia](#), l'encyclopédie libre.

Le **vélo à assistance électrique** ou **VAE** est une bicyclette équipée d'un moteur électrique et d'une batterie rechargeable. Les VAE existent depuis les années 1980.

Contrairement aux cyclomoteurs ou trottinettes électriques qui possèdent rarement des pédales, la batterie du vélo à assistance électrique n'envoie son énergie au moteur que pour amplifier le mouvement du pédalier. Il s'agit donc d'une assistance discrète et limitée ne dénaturant pas la fonction première du vélo.

Que dit la législation ?

Le vélo à assistance électrique est considéré légalement comme une bicyclette classique.

Le décret n°95-937 d'août 1995 relatif à la prévention des risques résultant de l'usage des bicyclettes précise la nature d'un vélo : « *On entend par bicyclette tout produit comportant deux roues et une selle, et propulsé principalement par l'énergie musculaire de la personne montée sur ce véhicule, en particulier au moyen de pédales* ».

Par ailleurs, la Directive européenne 92/61/EEC indique qu'un VAE doit notamment respecter les caractéristiques suivantes :

- Le moteur doit s'arrêter dès que l'utilisateur cesse de pédaler
- Le moteur doit s'arrêter dès que le VAE a atteint la vitesse de 25 km/h
- Le moteur doit s'arrêter lorsque l'utilisateur freine

Le VAE ne doit comporter aucune poignée d'accélération ou autre dispositif permettant au vélo d'avancer tout seul. **C'est le pédalage qui doit déclencher l'assistance.**

Utilisation

L'assistance électrique est très efficace dans les montées, pour des pentes faibles et moyennes, jusqu'à 8 ou 10 %. Au-delà de 10 % de pente, ce type de vélo n'a d'intérêt que si la puissance instantanée maximale est suffisante, sans quoi le poids du moteur et de la batterie (10 kg environ) fera perdre de la vitesse au vélo.

Le VAE est intéressant pour des trajets quotidiens courts ou moyens (de 30 à 50 km), avec un dénivelé de quelques centaines de mètres. Il est idéal en particulier pour des personnes se déplaçant beaucoup en ville et souhaitant se déplacer rapidement sans trop d'efforts ou encore pour des personnes handicapées ou simplement pour rapporter en centre-ville ses provisions d'un supermarché de proche banlieue voisine.

Le VAE constitue une alternative crédible à la plupart des deux-roues motorisés pour un usage urbain avec une liberté et une vitesse souvent plus importante que les transports en commun. Il est par ailleurs très économique (moins de 0,10€/100km) et ne produit pas de gaz à effet de serre de façon directe. Enfin, en France, l'assurance et l'immatriculation ne sont pas obligatoires. Depuis 2006, il existe des moteurs universels adaptables sur les vélos classiques.

Source Wikipedia

Liens

<http://www.si.ens-cachan.fr/ressource/r8/r8.htm>

<http://www.toutsurlevae.info/>

<http://petrol.free.fr/ElectricShop/cat-cycles.htm>

<http://www.velo-electrique.com/Pages/accueil.php>

http://monveloelectrique.free.fr/www.toutsurlevae.info/le_present_du_velo_electrique.htm

<http://www.velectris.com/moteur-4011.html>

1. Détermination de la puissance pour un déplacement horizontal

Hypothèses :

La masse moyenne d'un cycliste est considérée de 80 kg

La masse du vélo + moteur électrique + batterie est d'environ 20 kg.

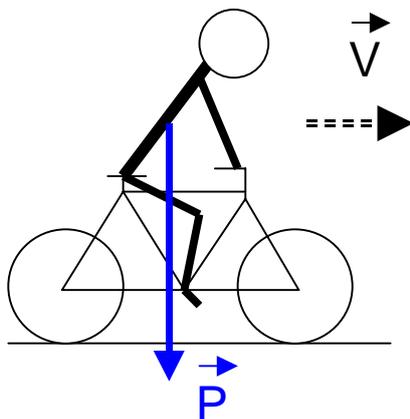
La vitesse du cycliste est comprise entre 0 et 25 km/h.

Ecrasement d'un pneu au sol de 44 mm

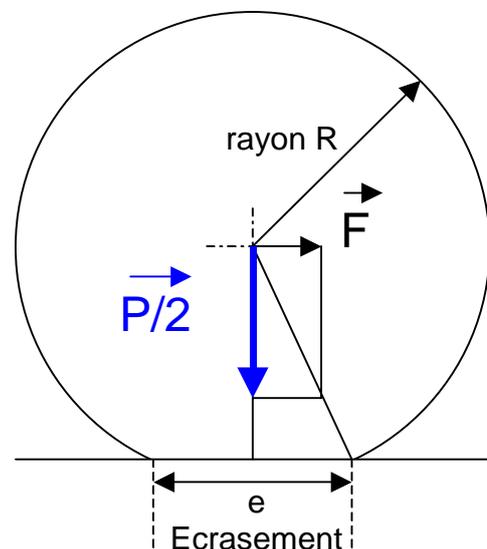
On suppose les forces de résistance aérodynamique négligeables devant celle de résistance au roulement.

Le rendement de la transmission par chaîne est de 75%.

Modélisation simplifiée :



Zoom sur
une roue

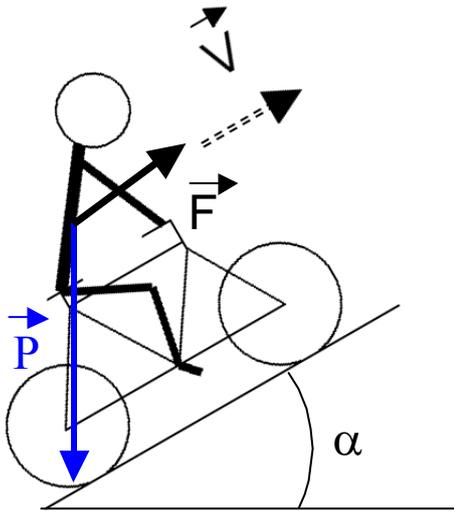


Dans le calcul d'approche, seule la résistance au roulement est prise en considération. Tous les frottements et glissements sont négligés ainsi que les problèmes de pénétration dans l'air du cycliste.

- Déterminer sous forme littérale la puissance P_c que le cycliste doit fournir pour se déplacer à la vitesse V .
- Tracer la fonction $P_c = f(V)$.

- Définir les mesures à réaliser sur le vélo pour évaluer la puissance absorbée au niveau du pédalier pour la vitesse maximale (réglage du paramètre slope = 0 sur l'afficheur « basic »)
- Réaliser la mesure de puissance après avoir réglé la vitesse maximale, sans l'assistance électrique.
- Relever l'indication de puissance fournie par l'afficheur « basic ». Commenter vos résultats.

2. Détermination de la puissance à fournir lors d'un déplacement en montée



Les routes sont définies par leur pente. Une pente est exprimée en pour cent (%), c'est le nombre de mètres que l'on monte (ou descend) lorsque l'on parcourt 100 m par rapport à l'horizontale. Si α est l'angle entre la droite de plus grande pente et l'horizontale, alors la pente en % est égale à $100 \times \tan(\alpha)$.

- Déterminer sous forme littérale la puissance P_c que le cycliste doit fournir pour se déplacer à la vitesse V .

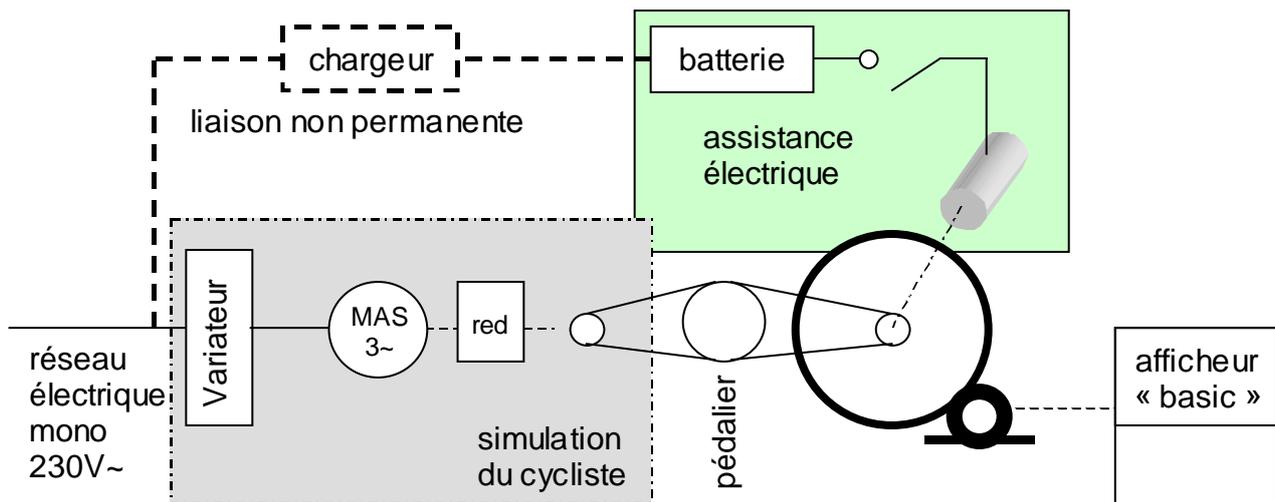
- Calculer la puissance P_c pour une pente de 9% et une vitesse de 20 km/h.
- Régler le paramètre slope = 9 sur l'afficheur « basic »
- Réaliser la mesure de puissance pour la vitesse maximale et sans l'assistance électrique. Conclure sur les résultats.

3. Étude de la contribution de l'assistance au pédalage.

L'utilisation du moto-variateur et l'installation du vélo avec un kit d'entraînement ne permettent pas une simulation exacte du comportement d'un cycliste sur le vélo à assistance électrique.

Afin de quantifier l'apport de l'assistance électrique :

- Refaire les mêmes mesures en vitesse maximale avec l'assistance au pédalage, pour un déplacement horizontal, puis pour un déplacement dans une pente.
- Pour chaque essai :
 - Relever la puissance affichée sur l'écran du module « basic »
 - Vérifier la puissance absorbée par le moteur MAS d'entraînement du pédalier.
 - Relever les allures de la tension et du courant dans le moteur électrique VAE.
- À partir de l'analyse des courbes relevées sur le moteur électrique VAE :
 - Définir la nature du modulateur.
 - Représenter un schéma électrique de principe de la partie puissance du modulateur.
 - Identifier les différentes phases de fonctionnement sur les courbes.
- Établir un bilan de puissance dans toute la chaîne cinématique.
- Dédire du bilan de puissance la contribution du moteur VAE pour le cycliste.



4. Étude de l'autonomie de la batterie

Caractéristique de la batterie :

Type NiCd
 Tension 36 V
 Capacité : 10 Ah
 Recharge : 1400mAh

- Dans les conditions d'utilisation de l'assistance au pédalage de 250W, déterminer l'autonomie du cycliste avant de recharger sa batterie.
- Est-ce réaliste d'imaginer avoir une assistance de 250W ?
- Dans le cas où l'assistance apporterait une puissance de 80W, quelle distance peut-on parcourir avant que l'assistance électrique n'apporte plus d'énergie ?

Après décharge de la batterie, il faut la recharger ce qui peut se faire à partir d'un réseau électrique classique 230V ~ / 50 Hz.

- Relever l'allure de la tension $u(t)$ et du courant $i(t)$ à l'entrée du chargeur de batterie.
- Calculer la puissance absorbée.
- Quelle est l'énergie nécessaire à la recharge totale de la batterie ?
- Quel est le coût de la recharge électrique de la batterie ?

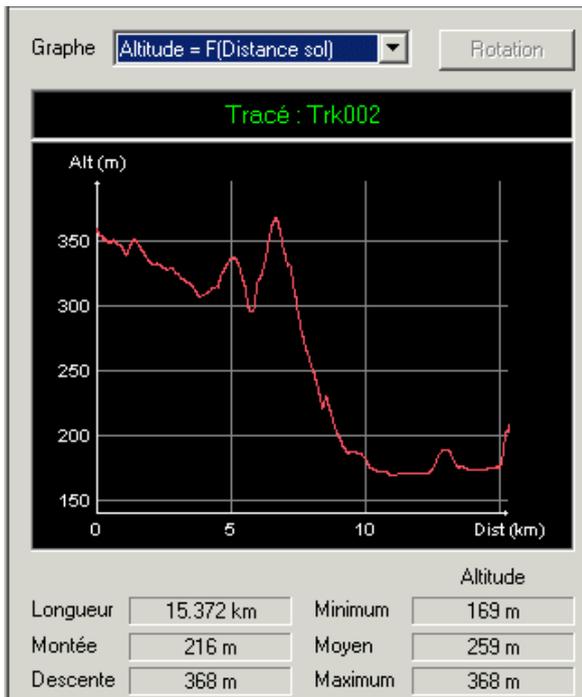
5. Technologie des batteries

- Rappeler les différentes technologies usuelles en énonçant les inconvénients et avantages.
- Décrire un cycle de charge et de décharge théorique de la batterie NiCd installée sur le vélo.
- Spécifier les points importants pour assurer la longévité de la batterie. Voir document sur les batteries NiCd.

Sur la batterie utilisée :

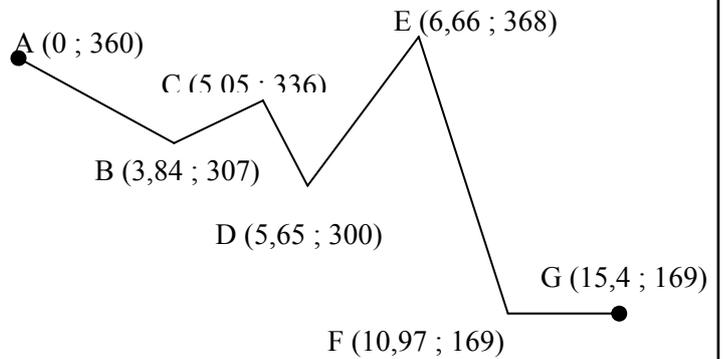
- Quelle est la valeur du courant de recharge ?
- Combien de temps faut-il pour avoir une recharge totale de la batterie ?
- Lorsque le cycliste aborde une descente ou lors d'un freinage (phase de ralentissement), est-il intéressant de récupérer l'énergie électrique ?

6. Validation du fonctionnement du VAE sur un parcours



On veut utiliser le VAE de façon quotidienne (un déplacement aller – retour) sur le parcours suivant.

On modélise le parcours par le profil suivant :



Le premier chiffre donne la distance parcourue en km par rapport à l'origine. Le deuxième chiffre donne l'altitude en m.

La batterie est chargée à 100% au départ.

La vitesse de déplacement est constante. Elle est de 15 km/h.

- Compléter le tableau des distances et dénivelés.
- Combien de trajets aller – retour pourra-t-on effectuer avant recharge ?
- Vérifier la consommation électrique annoncée par le constructeur.

	Distance (km)	dénivelé (m)	Trajet Aller Assistance électrique	Trajet Retour Assistance électrique
A B			0	50W
B C			50W	0
C D			0	100 W
D E			100W	0
E F			0	100W
F G			0	0

De l'énergie pour votre bicyclette...

La simplicité des kits de motorisation électrique HEINZMANN, vous permet de disposer en quelques instants d'un nouveau vélo... électrique.

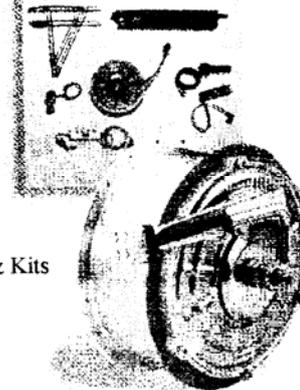
Conçus pour montage sur tous les types de cycles.

La motorisation sert d'assistance au pédalage et vous permet de gravir des pentes de 11% et des distances de plus de 35 Km avec un minimum d'efforts.

Assistance jusqu'à 25Km/h. Autonomie 35Km suivant conditions d'utilisation. Surpoids maximal 14Kg. Consommation électrique 1kWh/100Km. Recharge secteur



De l'énergie tous les jours !



Bicyclettes électriques & Kits

HEINZMANN



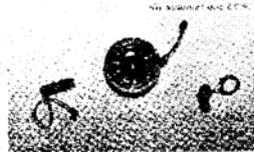
Kit Automatique ICSC

- 1 moteur pour montage AV ou AR,
- 1 capteur de pédalage,
- 1 bloc batterie NiCd à dispositif de contrôle intégré,
- 1 Chargeur rapide 2,5 h,
- 1 porte bagage support de batterie,
- 1 câble de connexion.



Kit Automatique ECSC

- 1 moteur pour montage AV ou AR,
- 1 capteur de pédalage,
- 1 dispositif de contrôle automatique à connecter à la batterie de votre choix (non fournie),
- 1 câble de connexion.



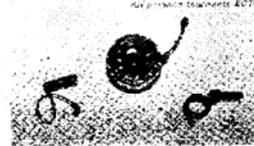
Kit Poignée Tournante ICTG

- 1 moteur pour montage AV ou AR,
- 1 capteur de pédalage,
- 1 poignée tournante,
- 1 bloc batterie NiCd à dispositif de contrôle intégré,
- 1 Chargeur rapide 2,5 h,
- 1 porte bagage support de batterie,
- 1 câble de connexion.



Kit Poignée Tournante ECTG

- 1 moteur pour montage AV ou AR,
- 1 capteur de pédalage,
- 1 poignée tournante,
- 1 dispositif de contrôle automatique à connecter à la batterie de votre choix (non fournie),
- 1 câble de connexion.



**Kits de motorisation
électrique pour
votre bicyclette**



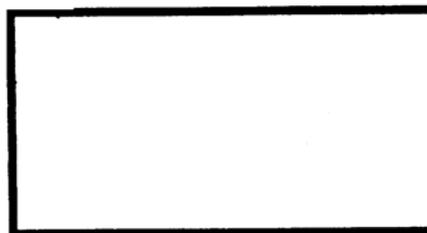
Avec le dispositif de contrôle par poignée tournante, vous réglez l'apport d'énergie du moteur. Le pédalage est nécessaire.

Avec le dispositif automatique couplé au capteur de pédalage, plus vous pédalez vite, plus le moteur vous assiste.

Installation : Connaissances nécessaires en technologie des cycles. Montage du moteur sur roue avant ou sur roue arrière par rayonnage sur une nouvelle jante. Le montage ne peut être imputé à la société HEINZMANN. Le montage peut être réalisé par un professionnel du cycle. Roue rayonnée disponible en option.

Conditions d'installation : Cycles avec changement de vitesses dans le moyeu : montage sur roue avant fourche renforcée nécessaire. Cycles avec dérailleur : montage sur roue avant ou arrière (maximum 6/7 pignons sur roue libre). Freins en parfait état.

Conditions d'utilisation : les cycles électriques sont considérés comme des cycles conventionnels. Port du casque et assurance pour bicyclette à moteur vivement recommandés.



Les kits HEINZMANN existent complètement assemblés en usine sur la gamme des cycles ESTELLE

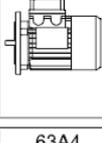


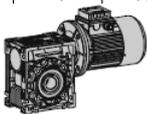
Documentation technique moto-réducteur Motovario

T - TB

4 Poli / Poles / Pole / Pôles / Polos (1500min⁻¹)

230/400V/50Hz

P _n [kW]		n _n [min ⁻¹]	I _n 400V [A]	M _n [Nm]	η _n %	cosφ _n	$\frac{M_L}{M_n}$	$\frac{I_L}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	J _T 10 ⁻⁴ Kg·m ²		m _T [Kg]		Z ₀ [10 ³ 1/h]	M _B [Nm]
										1)	2)	1)	2)		
0.12	63A4	1360	0.58	0.84	50	0.62	2.4	2.6	2.6	2.1	2.7	3.6	5.1	12.5	1.8
0.18	63B4	1360	0.7	1.26	55	0.64	2.4	2.7	2.6	2.8	3.4	4.2	5.7	12.5	3.5
0.22	63C4	1370	0.9	1.53	60	0.61	3.5	3.5	3.7	2.8	3.4	4.2	5.7	10	3.5
0.25	71A4	1400	0.8	1.7	64	0.73	2.7	4.3	3.1	7.2	8.3	5.3	7.5	10	5
0.37	71B4	1400	1.1	2.5	67	0.75	2.8	4.2	3.1	8.6	9.7	5.9	8.1	10	7.5
0.55	71C4	1390	1.5	3.8	69	0.77	2.7	4.7	2.9	10.8	11.9	6.7	8.9	8	7.5
0.55	80A4	1420	1.55	3.7	70	0.77	2.5	4.7	2.6	19	20.6	8.7	12.2	8	10
0.75	80B4	1420	2.1	5	71	0.77	2.6	4.6	2.8	25	26.6	10.1	13.6	7.1	15
0.92	80C4	1420	2.5	6.2	72	0.78	2.7	5.4	2.8	28	29.6	10.9	14.4	5	15
1.1	90S4	1380	2.6	7.5	74	0.83	2.6	4.5	2.8	25	26.6	12	15.5	5	15
1.5	90L4	1400	3.5	10.1	77	0.81	2.9	5.9	3.2	32	35.5	14.5	20.1	4	26
1.84	90LL4	1380	4.5	12.4	74	0.78	3.2	6.2	3.5	35	38.5	15.5	21.1	4	40
2.2	100LA4	1410	5.2	14.9	78	0.78	2.5	5.5	2.8	53	56.5	19.1	24.7	3.2	40
3	100LB4	1420	6.9	20.1	80	0.8	2.6	5.5	2.8	72	75.5	22.8	28.4	3.2	55
4	112M4	1430	9	26.9	82.5	0.78	2.7	5.7	2.8	110	119	29.4	39.1	2.5	60



Dati ingranamento / Mesh data / Verzahnungsdaten / Données des engranages / Datos engrane

NRV	i	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
025	Z1	6	4	3	2	2		1	1	1	1		
	γ	35°02'	25°03'	19°19'	13°09'	10°41'		6°40'	5°23'	4°31'	3°53'		
	Mx	1,3	1,3	1,3	1,3	0,995		1,3	0,995	0,8	0,67		
	η _d (1400)	0,87	0,85	0,83	0,79	0,75		0,67	0,62	0,58	0,55		
	η _s	0,72	0,71	0,68	0,61	0,56		0,46	0,41	0,36	0,34		
030	Z1	6	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	
	γ	27°04'	18°49'	14°20'	9°40'	7°42'	5°35'	4°52'	3°52'	3°12'	2°45'	2°07'	
	Mx	1,44	1,44	1,44	1,44	1,09	1,7	1,44	1,09	0,89	0,74	0,56	
	η _d (1400)	0,87	0,85	0,82	0,77	0,73	0,68	0,65	0,59	0,55	0,51	0,44	
	η _s	0,72	0,67	0,63	0,55	0,5	0,43	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	
040	Z1	6	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	γ	34°19'	24°28'	18°51'	12°49'	10°23'	8°43'	6°29'	5°14'	4°23'	3°47'	2°57'	2°25'
	Mx	2,06	2,06	2,06	2,06	1,57	1,27	2,06	1,57	1,27	1,06	0,81	0,65
	η _d (1400)	0,89	0,87	0,85	0,82	0,78	0,75	0,7	0,65	0,62	0,58	0,52	0,47
	η _s	0,74	0,71	0,67	0,6	0,55	0,51	0,45	0,4	0,36	0,32	0,28	0,24

Questionnement possible sur ce thème

- Citer des exemples de moyens de stockage de l'énergie.
- Sous quelle forme est stockée l'énergie dans une batterie ?
- Que signifie l'appellation 50Ah sur une batterie ?
- Quelle est la quantité d'énergie théorique stockée dans une batterie de 12V – 50Ah ?
- Que signifie la profondeur de décharge d'une batterie ?
- Quelles sont les énergies primaires des piles à combustible ?
- Quelles sont les formes d'énergie disponibles à la sortie d'une pile à combustible ?
- Quel est l'ordre de grandeur de la puissance solaire reçue en France par unité de surface au sol ?
- Quel est le rendement moyen d'un panneau solaire photovoltaïque ?