

Ce repère de formation a pour objectif de préciser certaines capacités exigibles du programme de physique-chimie. C'est un document de cadrage évolutif tout au long de la durée d'application du référentiel de BTS Electrotechnique de 2020.

Les compétences de la démarche scientifique mobilisées lors des activités expérimentales, les connaissances et capacités dans le domaine des mesures et des incertitudes, ainsi que les capacités exigibles des notions et contenus du programme doivent être travaillées avec les étudiants pendant les horaires dédiés à la discipline (4h de cours et 4h de travaux pratiques) et pendant les heures de co-enseignement d'analyse-diagnostic-maintenance (3 h).

Une concertation interdisciplinaire, en particulier avec les enseignants de STI et de mathématiques, doit être menée pour établir une progressivité dans les apprentissages.

Capacités mathématiques mobilisées en physique-chimie

Le programme de physique-chimie donne une place importante à la modélisation de phénomènes physiques et chimiques. La modélisation revêt différents aspects comme l'expression littérale de lois, la schématisation graphique, la simulation numérique, etc. Passer du monde de l'observation au monde du concept et du modèle est une composante très importante de la démarche scientifique. Cela repose sur une bonne maîtrise de capacités mathématiques et numériques. Toutefois, la technicité de l'outil mathématique ne doit pas prendre le pas sur la compréhension des phénomènes physiques et chimiques étudiés. Dans ce sens, le recours à des formalismes complexes comme les nombres complexes, les transformées de Laplace, les transformées de Fourier ou la résolution d'équation différentielles n'est pas nécessaire, ni exigible des étudiants.

La modélisation de systèmes à partir de lois souvent explicitées par les relations mathématiques simples combinées entres elles, peut aboutir à l'écriture d'une équation différentielle. Les compétences du physicien-chimiste sont d'obtenir cette équation différentielle, de l'analyser, de la reconnaître comme telle, d'identifier éventuellement un régime stationnaire, mais pas de savoir la résoudre. L'évolution des techniques permet désormais d'utiliser l'approche numérique pour en extraire une solution. L'expertise du scientifique reprend lorsqu'il faut analyser et interpréter une solution donnée : stabilité, régime permanent, régime transitoire ou périodique, etc.

Le calcul d'intégrale n'est pas exigible en physique-chimie. Par exemple, pour appréhender la notion de la valeur moyenne d'un signal, on privilégie des exemples simples exploitant le calcul de surfaces rectangulaires. L'objectif est que l'étudiant appréhende au mieux la notion de valeur moyenne, les calculs étant réalisés pour des outils numériques. Dans le contexte professionnel, le technicien est amené par la suite à utiliser des appareils de mesure avec calculs intégrés.

L'utilisation de la fonction sinusoïdale est nécessaire pour définir la pulsation, la valeur maximale, la valeur efficace, la phase à l'origine et le déphasage. Elle permet d'introduire le vecteur de Fresnel correspondant. Le calcul littéral de sommes ou de produits de plusieurs fonctions temporelles sinusoïdales n'est pas exigible des étudiants dans une épreuve de physique-chimie. La représentation de Fresnel permet d'appliquer les lois d'additivité de l'électricité (loi des mailles et loi des nœuds) en régime sinusoïdal dans quelques cas simples : modèle du transformateur, calcul de l'impédance d'un filtre RLC, introduction de la notion de facteur de puissance. Ce formalisme mathématique est suffisant pour aborder avec les étudiants la notion de somme de grandeurs sinusoïdales présentant des déphasages entre elles. L'utilisation d'autres formalismes, comme les nombres complexes, n'est pas au programme de physique-chimie.

L'étude des charges polluantes et de leurs effets nécessitent de savoir qu'un signal alternatif se décompose en un signal fondamental et des harmoniques. Les capacités exigibles des étudiants portent sur l'exploitation et l'analyse de spectres obtenus par des appareils de mesure. Le calcul de séries de Fourier n'est pas au programme de physique-chimie.

Capacités exigibles d'un technicien supérieur en Électrotechnique

Notions / contenus	Capacités exigibles	Repère de formation
ENERGIE		
Des formes d'énergie		
Energie cinétique	Définir l'énergie cinétique d'un système.	L'énergie cinétique est l'énergie que possède un corps du fait de sa masse et de son mouvement de translation ou de rotation dans un référentiel donné. On peut faire le lien avec l'appellation « énergie de flux » utilisée dans d'autres disciplines. Dans le thème « énergie et électricité », on pourra faire l'analogie de l'énergie dans une bobine avec une énergie cinétique.
Energie potentielle	Définir l'énergie potentielle de gravité, élastique, électrostatique et de pression d'un système.	On peut faire le lien avec les appellations « énergie de stock » utilisées dans d'autres disciplines.

		Chaque énergie potentielle d'un système physique peut être définie comme étant l'énergie liée à une interaction et qui a le potentiel de se transformer en d'autres énergies. L'énergie potentielle élastique peut être évoquée à propos, par exemple, des ressorts dans les disjoncteurs. L'énergie potentielle de pression peut être abordée lors de l'étude de la mécanique des fluides. Dans le thème « énergie et mécanique », seule l'expression et utilisation de l'énergie potentielle de pesanteur est exigible des étudiants. Dans le thème « énergie et électricité », on pourra faire l'analogie de l'énergie dans un condensateur avec une énergie potentielle.
Energie électromagnétique	Définir l'énergie électromagnétique.	L'énergie électromagnétique peut être abordée au moment de l'étude des lois de l'électromagnétisme et des ondes électromagnétiques.
Energie interne		
Température	Utiliser les échelles principales de températures et les unités correspondantes. Citer et mettre en œuvre expérimentalement des exemples de capteurs de température industriels.	On se limite à l'utilisation des échelles en kelvins et degrés Celsius. L'étudiant doit savoir convertir une température d'une échelle à l'autre, la correspondance entre deux échelles étant donnée. L'échelle de Fahrenheit peut être évoquée comme étant celle utilisée dans certains pays.

		Des sondes de types Pt100 et thermocouple seront mises en œuvre. Les problématiques industrielles seront abordées : temps de réponse d'un capteur de température, mise en forme du signal, etc.
Énergie interne d'un système	Associer qualitativement la température d'un corps à l'agitation interne de ses constituants microscopiques. Associer l'échauffement d'un système à l'énergie reçue, stockée sous forme d'énergie interne.	Le professeur souligne la polysémie du terme «chaleur» et des termes qui lui sont associés (« chaud», «froid»...) dans le langage courant et leurs significations sensorielles qui conduisent souvent à une confusion entre chaleur et température. Le lien est fait avec l'énergie reçue sous forme de transfert thermique (ou « chaleur ») ou de travail de force.
Variation d'énergie interne d'un solide ou d'un liquide	Exprimer et calculer la variation d'énergie interne d'un solide ou d'un liquide lors d'une variation de température et d'un changement d'état à pression constante.	L'étudiant doit savoir définir et exploiter la capacité thermique massique et l'énergie massique de changement d'état d'un corps. Définir et exploiter l'énergie massique de changement d'état. Au-delà des espèces chimiques, il peut être judicieux d'utiliser des valeurs déterminées pour des aliments pour le dimensionnement énergétiques de chambres froides.
Des sources d'énergie	Distinguer les sources d'énergie des formes d'énergie. Définir et citer les sources d'énergie renouvelables, les sources d'énergie fossile et nucléaire. Utiliser le facteur de charge pour dimensionner une installation.	On s'attachera principalement au cas de l'éolienne et du panneau photovoltaïque.

	Interpréter des données de production d'énergie nationale ou mondiale.	
Modes de transfert d'énergie		
Conservation de l'énergie	Énoncer le principe de conservation de l'énergie pour un système isolé.	
Transfert d'énergie	Savoir que le transfert d'énergie ne peut se faire que sous forme de travail et de chaleur.	Le travail d'une force est développé dans le thème « mécanique du solide »
Les transferts thermiques	Décrire qualitativement les trois modes de transferts thermiques en citant des exemples. Utiliser les caractéristiques thermiques des matériaux pour déterminer le flux thermique à travers une paroi. Expliciter la dépendance entre la puissance rayonnée par un corps et sa température. Connaître le principe d'une caméra thermique et savoir l'utiliser dans le cadre de son métier.	Ces caractéristiques sont à relier à des exemples simples du bâtiment ou de coffret électrique. La loi de Stefan-Boltzmann n'est pas à connaître, elle doit donc être fournie au cours de différentes activités. En lien avec les mathématiques, c'est l'occasion de manipuler une fonction non affine. L'exemple le plus pertinent est la recherche de point chaud dans un coffret ou une installation électrique dans le cadre de la prévention électrique.
Les conversions et le stockage de l'énergie	Identifier les principales conversions d'énergie : électromécanique, photoélectrique, électrochimique, électrothermique. Schématiser une chaîne énergétique ou une conversion d'énergie en distinguant formes d'énergie, sources d'énergie et convertisseurs.	On abordera le principe de fonctionnement des chaînes de production ou stockage de l'énergie électrique (hydroélectrique, solaire, thermique...) et des ensembles rencontrés dans l'industrie ou le bâtiment (pompe à chaleur, chauffe-eau solaire, chauffe-eau thermodynamique et machine frigorifique).

	Savoir qu'une conversion d'énergie ne peut se faire que d'une forme potentielle vers une forme cinétique ou inversement. Évaluer ou mesurer une quantité d'énergie transférée, convertie ou stockée. Comparer des ordres de grandeur des énergies stockées dans différents réservoirs d'énergie. Exploiter le principe de conservation de l'énergie pour réaliser un bilan énergétique pour calculer un rendement ou un COP. Évaluer l'autonomie d'un système autonome.	Ces notions pourront être utilisées dans l'étude des modulateurs d'énergie électrique (convertisseurs statiques).						
Puissance	Énoncer et exploiter la relation entre puissance moyenne, énergie mise en jeu et durée. Évaluer et citer des ordres de grandeur des puissances mises en jeu dans les secteurs de l'énergie, de l'industrie, du bâtiment, des transports. Expliquer que la puissance est le produit de deux grandeurs différentes : « effort » et « mouvement ».	La loi de Stefan-Boltzmann n'est pas à connaître, elle doit donc être fournie au cours de différentes activités. Les exemples les plus courants seront utilisés : <table><tr><td>Une grandeur d'« effort » ou de « stock »</td><td>Grandeur de « mouvement » ou de « flux »</td></tr><tr><td>Force</td><td>Vitesse</td></tr><tr><td>Couple</td><td>vitesse angulaire</td></tr></table>	Une grandeur d'« effort » ou de « stock »	Grandeur de « mouvement » ou de « flux »	Force	Vitesse	Couple	vitesse angulaire
Une grandeur d'« effort » ou de « stock »	Grandeur de « mouvement » ou de « flux »							
Force	Vitesse							
Couple	vitesse angulaire							

		<table><tr><td>Tension</td><td>Intensité</td></tr><tr><td>Pression</td><td>Débit volumique</td></tr></table>	Tension	Intensité	Pression	Débit volumique
Tension	Intensité					
Pression	Débit volumique					
COMPOTEMENT DYNAMIQUE DES SYSTEMES LINEAIRES						
Modélisation d'un système	Exploiter des lois physiques pour écrire une équation modélisant le comportement d'un système. Déterminer les paramètres intrinsèques des procédés stables du premier ordre à partir de son équation différentielle.	La modélisation d'un système conduisant à l'écriture d'équations différentielles du premier ordre sera largement privilégiée. Les domaines de l'électricité, de la mécanique et du thermique s'y prêtent bien. Il s'agit du gain statique et de la constante de temps. Applications : circuits électriques, mécanique, capteurs, asservissement...				
Stabilité d'un système	Définir la stabilité d'un système.					
Régime transitoire, régime permanent	Déterminer le régime permanent à partir d'une équation différentielle modélisant un système. Interpréter physiquement la solution d'une équation différentielle modélisant le système.	La résolution d'une équation différentielle n'est pas exigible. Les outils de résolution numérique puissants permettent d'obtenir les solutions des équations différentielles. L'interprétation de ces solutions est par contre une compétence à maîtriser.				
	Différencier le comportement des systèmes par leur réponse à un échelon de commande. Déterminer le temps de réponse à 5% d'un système stable.	Stabilité, régime transitoire et permanent seront définis. Les réponses étudiées sont des enregistrements expérimentaux authentiques obtenus sur des systèmes liés à la profession.				

	Déterminer les paramètres intrinsèques des procédés stables du premier ordre et de Broïda à partir de l'enregistrement de la réponse à un échelon de commande. Relever expérimentalement et exploiter la caractéristique statique d'un système stable. Mettre en évidence expérimentalement le déplacement du point de fonctionnement lors d'une perturbation.	À partir d'une méthode d'identification donnée, les étudiants doivent savoir modéliser un système réel à partir d'enregistrements authentiques. Les enregistrements expérimentaux étudiés doivent permettre de conduire au choix du modèle du premier ordre ou de Broïda. Des enregistrements conduisant au choix d'un autre modèle (du deuxième ordre par exemple) peuvent être proposés sans avoir d'exigence à leur propos.
ENERGIE ET ELECTRICITE		
Les lois de l'électricité		
Charge, courant et tension électriques	Définir les grandeurs électriques : charge, courant, potentiel. Définir une tension (ou différence de potentiels) et une intensité. Définir une puissance instantanée. Mesurer une tension et une intensité dans un circuit.	L'enseignant s'attache à respecter la rigueur dans les notations (lettres minuscules, majuscules, etc). On abordera les limites du modèle ARQS à l'occasion de la distribution sur de grandes distances. L'étudiant doit savoir utiliser une pince ampèremétrique, brancher un ampèremètre en série et un voltmètre en parallèle. On peut également s'aider d'un logiciel de simulation.

Circuit électrique : symbole, convention générateur et récepteur	Utiliser les conventions d'orientation permettant d'algébriquer les tensions et les intensités. Utiliser les conventions générateur et récepteur. Utiliser les symboles normalisés pour représenter et lire un schéma électrique. Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma.	Les différents symboles seront introduits au fur à mesure des apprentissages.
Lois des mailles et nœuds	Identifier des associations série et parallèle. Connaître et appliquer la loi des mailles et la loi des nœuds.	Le professeur veillera à s'appuyer sur des situations réelles (schémas de distribution, cellules photovoltaïques, etc.) Le théorème de Millman n'est pas abordé.
Dipôles passifs	Savoir qu'un dipôle passif a une caractéristique électrique qui passe par l'origine. Décrire le principe d'une résistance, d'un condensateur et d'une bobine. Connaître et interpréter la relation $R = \rho \frac{l}{S}$ pour un conducteur de section constante. Connaître les relations temporelles liant intensité et tension pour les dipôles R, L, C. Calculer la résistance équivalente de deux résistances en série ou en parallèle. Savoir que les capacités de condensateurs s'ajoutent dans une association en parallèle et que les inductances des bobines s'ajoutent dans une association en série.	La relation peut être appliquée, par exemple, dans le cadre du transport de l'énergie électrique, pour les calculs des chutes de tension en ligne, des intensités de court-circuit, d'échauffement des câbles, etc. On se limitera aux conducteurs de section constante. Le professeur se limite à des applications réelles ou industrielles. En s'appuyant sur un bilan de puissances réactive : $Q_L = (L_1 + L_2) \omega I^2$ et $Q_C = V^2 \omega (C_1 + C_2)$, il est possible de justifier que les inductances s'additionnent pour une association dans laquelle

	Connaître et interpréter les relations donnant les énergies dissipées dans une résistance ou stockées dans une bobine et dans un condensateur.	le courant qui parcourt les bobines est le même (série) et que les capacités s'additionnent pour une association où les condensateurs ont la même tension à leurs bornes (parallèle). Le professeur fera le lien au moment opportun avec l'association en parallèle de condensateurs pour la compensation d'énergie réactive. Faire le lien avec les résistances de freinage.
Dipôles actifs	Utiliser les modèles des sources de tension et de courant parfaites. Modéliser une source de tension réelle par le modèle de Thévenin.	La source de courant parfaite est utilisée dans l'étude des panneaux photovoltaïques, associée à une source de tension parfaite ou de modèle de Thévenin. Les sources d'énergie électrique seront associées aux formes d'énergie potentielle et cinétique : - source de tension électrique associée à une énergie potentielle, - source de courant électrique associée à une énergie cinétique. Le modèle de Thévenin (ou modèle série), sera utilisé à plusieurs reprises : MCC (régime continu), transformateur (régime sinusoïdal), accumulateur, etc.
Caractéristique électrique	Relever et interpréter la caractéristique électrique d'un dipôle. Déterminer le point de fonctionnement d'une association générateur / récepteur.	Les dipôles étudiés seront variés (batterie, panneau photovoltaïque, divers récepteurs, transformateurs, etc).
Régimes périodiques	Définir période et fréquence ; valeur maximale, moyenne, efficace.	Le calcul de valeur moyenne par l'utilisation du calcul intégral n'est pas exigible. Seul le calcul de

	Savoir qu'une grandeur alternative est une grandeur de valeur moyenne nulle. Savoir qu'un signal périodique se décompose en la somme d'un signal alternatif et d'une composante continue. Mesurer la valeur moyenne, efficace d'une grandeur électrique. Choisir le calibre et les fonctions d'un multimètre (TRMS, AC, DC, AC+DC).	la valeur moyenne dans le cas de signaux de formes d'ondes simples, par le calcul d'aires de surfaces rectangulaire, peut être abordé, par exemple lors de l'étude du hacheur. Aucun calcul de valeur efficace à partir de la forme d'onde d'un signal n'est exigible. Il est attendu des étudiants qu'ils sachent interpréter une forme d'onde ou un spectre obtenu par un appareil de mesure et qu'ils sachent relever ses valeurs moyenne ou efficace sur l'appareil. Les appareils de mesure seront variés (multimètre, oscilloscope, analyseur de réseau, etc).
Régime sinusoïdal monophasé et triphasé équilibré	Définir la pulsation, la valeur maximale, la valeur efficace, la phase à l'origine et le déphasage. Écrire l'équation temporelle d'une grandeur sinusoïdale et représenter le vecteur de Fresnel correspondant. Appliquer les lois d'additivité de l'électricité (loi des mailles et des nœuds) en régime sinusoïdal à l'aide de la représentation de Fresnel.	On pourra faire le lien avec le génie électrique, en faisant la somme des valeurs efficaces des courants, on majore la valeur efficace totale.
	Définir le réseau triphasé équilibré. Représenter les couplages étoile et triangle, choisir le couplage.	Seront abordées les notions de tensions simple et composée, de déphasage, la relation entre V et U, et la représentation vectorielle de Fresnel.

		Le lien avec l'indice horaire d'un transformateur, le couplage des machines tournantes triphasées sera fait. Seules les charges triphasées équilibrées seront étudiées. En régime équilibré, on pourra justifier un des intérêts du régime triphasé par le fait que la puissance électrique instantanée est constante, ce qui annule les vibrations sur l'arbre mécanique d'un électromoteur.
	Connaître l'impédance et le déphasage pour les dipôles R, L et C. Mobiliser ces connaissances. Calculer l'impédance équivalente d'une association de deux ou trois dipôles par une construction de Fresnel (RL en série, LC en série ou parallèle, RLC série).	
Charges polluantes et non-polluantes	Savoir qu'un signal alternatif se décompose en un signal fondamental et des harmoniques. Reconnaître une charge polluante à partir du chronogramme ou du spectre du courant absorbé. Relever un spectre avec un analyseur. Exploiter un spectre. Calculer la valeur efficace d'un courant à partir de celles des harmoniques (formule de Parseval).	La notion de linéarité fait appel à des concepts mathématiques délicats et ambigus pour les étudiants : privilégier la dénomination « polluante », « non-polluante » à celle de « linéaires ». On s'appuiera sur les relevés faits en séances de TP et d'analyse-diagnostic-maintenance. Les situations où les tensions sont sinusoïdales et courants déformés seront privilégiés. Mais, ponctuellement, dans le cadre des convertisseurs statiques (exemple : onduleur pleine onde ou MLI), on pourra étudier des situations où la tension n'est pas sinusoïdale.

	Définir, calculer et interpréter le taux de distorsion harmonique. Expliquer la présence de courant dans le neutre en triphasé.	Bien que le relevé d'un spectre puisse se faire à l'aide d'un oscilloscope, les mesures avec les analyseurs réseau ou les pinces wattmétriques sont préférées. Le professeur n'entrera pas dans les détails de la FFT. On se limitera aux harmoniques de rang 3.
Puissances électriques	Savoir que la puissance active P est transportée par des intensités et tensions de même fréquence. Définir la puissance apparente S comme étant la valeur maximale que peut atteindre la puissance active fournie par l'installation pour des tensions et intensités de valeurs efficaces données. Définir le facteur puissance : $f_p = \frac{P}{S}$.	Cette définition générale est valable pour les régimes continus et périodiques. Dans les installations actuelles, les charges polluantes sont devenues majoritaires. Les régimes continus et purement sinusoïdaux ne sont que des cas particuliers et $P=UI$, $P=UI\cos\varphi$ ou $P=UI_1\cos\varphi_1$ ne sont que leur expression particulière. La mesure du spectre de P est intéressante. Un point de vigilance sera porté pour éviter les confusions par les étudiants entre le facteur de puissance et « $\cos\varphi$ ». Le régime continu est un des cas les plus favorables énergétiquement puisque $P = S$. Il est intéressant d'expliquer l'intérêt d'une distribution en continu (intercontinentale, sous-marine, enterrée, etc), justifiée en partie par cet avantage. Dans le cas de dimensionnement de transformateurs, le lien sera fait avec l'enseignement de génie électrique (approximation d'usage est de prendre $f_p = 1$).
	Connaître et utiliser les différentes expressions des puissances actives, réactives, apparentes ; du facteur	Afin de donner du sens à ces notions :

	de puissance et facteur de déplacement selon la nature des signaux : non-sinusoïdaux, continu, sinusoïdaux. Connaître les puissances actives et réactives mises en jeu par les dipôles élémentaires R, L et C. Mesurer les puissances et les énergies.	- La puissance réactive est à relier à la notion de compensation. - La puissance déformante est à relier à la notion de pollution harmonique et filtrage (« qualité de l'énergie électrique »). Pour mesurer les puissances et les énergies, on utilisera des wattmètres et « analyseurs réseau » ou « énergimètres ». Les montages amont / aval et la méthode des deux wattmètres ne sont pas abordés.
	Appliquer le principe de conservation des puissances.	Des exemples seront choisis parmi les applications courantes : calcul d'intensité totale en amont (dimensionnement de protections), dimensionnement de condensateurs de compensation, exploitation de l'essai en court-circuit du transformateur, etc.
	Définir et interpréter la puissance déformante. Mettre en œuvre expérimentalement un analyseur réseau pour mesurer la puissance déformante.	
Les lois de l'électromagnétisme		
Champ électrique	Définir un champ électrique. Exploiter la valeur de la rigidité diélectrique ou du champ électrique disruptif d'un isolant pour expliquer les phénomènes de foudres ou d'arc électrique.	Un lien sera fait avec à l'ouverture des organes de coupure de circuit électrique
Champ magnétique	Définir un champ magnétique.	La notion de flux n'est pas abordée.

	Connaître des sources de champ magnétique (Terre, aimant et électro-aimant). Citer quelques ordres de grandeurs. Représenter un champ magnétique (sens, direction, intensité). Mettre en évidence expérimentalement l'existence d'un champ magnétique et déterminer ses caractéristiques (lignes de champ et intensité).	
Ferromagnétisme	Citer des matériaux ferromagnétiques. Définir le champ magnétique rémanent et l'intensité de démagnétisation. Définir matériau dur et matériau doux ; citer des applications. Exploiter un cycle d'hystérésis pour différencier un matériau dur ou doux ; observer le phénomène de saturation ; faire le lien avec les pertes dans le fer.	Cette notion sera reliée avec les machines (transformateur, convertisseurs électromécaniques) L'enseignant ne parlera pas d'excitation magnétique. La courbe $B(I)$ d'un transformateur ou les procédés industriels de démagnétisation de matériau ferromagnétique peuvent être exploités pour étudier les notions de rémanence et de démagnétisation.
Induction	Mettre en évidence expérimentalement la loi de Faraday et les paramètres influant sur la force électromotrice induite. Mettre en évidence expérimentalement la loi de Lenz. Expliquer les pertes par courants de Foucault dans les circuits magnétiques.	
Histoire de l'électromagnétisme	Donner des repères historiques sur les principales découvertes liées à l'électromagnétisme.	Faraday, Ampère, Oersted, machines de Gramme, électrification des villes, cerf-volant de

		Franklin sont autant d'éléments de culture historique pouvant enrichir les enseignements.
La modulation de l'énergie électrique		
Fonctions	Définir les fonctions de transformation alternatif $\Leftrightarrow$ continu. Définir la réversibilité énergétique d'un convertisseur. Dans le cas d'un convertisseur statique parfait, exploiter le bilan de puissance active. Connaître la terminologie associée aux différents convertisseurs statiques.	L'égalité des puissances actives en entrée et en sortie et la connaissance de l'expression de ces puissances selon la nature des signaux doit permettre la détermination d'une valeur manquante (tension ou intensité). Utiliser la relation entre valeurs efficaces ou moyennes des grandeurs d'entrée et de sortie. La terminologie utilisée est : hacheur, onduleur, redresseur, gradateur, transformateur.
Interrupteurs statiques	Définir la fonction d'interrupteur et sa caractéristique électrique. Distinguer les noms et symboles des interrupteurs non-commandables, commandables à la fermeture, commandables à l'ouverture et à la fermeture. Relever et exploiter la caractéristique électrique d'une diode pour identifier la fonction interrupteur et son caractère unidirectionnel en tension et en courant. Définir les réversibilités en tension et en courant des composants. Expliquer des applications de la diode.	L'enseignant travaillera les notions : interrupteur ouvert/fermé, valeurs de l'intensité et de la tension, segments correspondants sur la caractéristique... Les interrupteurs étudiés sont : diode, thyristor, transistor (on se limite à la notion de « famille » transistor sans entrer dans les détails technologiques). Différents aspects seront abordés : protection des relais magnétiques, phase de roue libre,

		protections dans le cas des panneaux solaires, alimentations, etc.
Structure interne des convertisseurs statiques	Reconnaître sur un schéma électrique la structure d'un convertisseur. Corréler la non-réversibilité énergétique du pont de Graëtz et du hacheur série à la présence de diodes dans leur structure.	Les principaux convertisseurs à savoir reconnaître sont : pont de Graëtz commandé ou non commandé, monophasé ou triphasé ; onduleur monophasé ou triphasé ; gradateur monophasé ou triphasé ; hacheur série et quatre quadrants. L'étude détaillée du fonctionnement interne des convertisseurs, en particulier l'obtention des formes d'onde des signaux à partir des intervalles de conduction des interrupteurs n'est pas exigible des étudiants. Le professeur peut en faire la démonstration dans des cas simples (hacheur série, onduleur monophasé) sans en avoir d'exigence de la part des étudiants. L'étude de la réversibilité au cas par cas n'est pas abordée.
Analyse des signaux des convertisseurs statiques	Identifier les signaux alternatifs et continus à partir de formes d'onde ou de spectre. Exploiter des mesures afin de calculer un taux d'ondulation, un THD et rechercher la présence d'harmoniques. Identifier les commandes des différents convertisseurs statiques.	Il est attendu des étudiants qu'ils sachent interpréter une forme d'onde ou un spectre obtenu par un appareil de mesure et qu'ils sachent relever ses valeurs moyenne ou efficace sur l'appareil. Le calcul théorique de la valeur moyenne de la tension de sortie d'un hacheur série peut être demandé. La définition du taux d'ondulation est donnée L'enseignant définit le rapport cyclique d'un signal par le rapport du temps de conduction sur la

		période. (hacheur série – gradateur à trains d'onde). Les étudiants devront savoir : - distinguer les formes d'onde de la tension de sortie d'un onduleur pleine onde et d'un onduleur piloté par modulation de largeur d'impulsion (MLI). - différencier les formes d'onde de la tension de sortie d'un gradateur à train d'ondes de celles d'un gradateur à angle de phase ; - identifier la forme d'onde d'un redresseur commandé ou non-commandé. Dans les cas des redresseurs commandés, le dimensionnement se fait sur la valeur moyenne maximale de la tension (angle de retard à l'amorçage égal à 0°). Les relations sont fournies, à l'exception de celle relative au hacheur série.
Transformateurs monophasés et triphasés	Décrire le principe de fonctionnement d'un transformateur : circuit magnétique, circuits primaires et secondaires. Définir le rapport de transformation comme le rapport des valeurs efficaces secondaire à vide et primaire. Citer des domaines d'utilisation et des applications.	La description du fonctionnement reste qualitative. La formule de Boucherot ne sera pas abordée. On veillera à ne pas définir le rapport de transformation comme étant le rapport du nombre de spires, ce qui peut induire des erreurs en triphasé. Des exemples pourront être choisis parmi les domaines de la distribution, l'isolation galvanique, la mesure, les capteurs.

	Exploiter les informations de la plaque signalétique.	
	Identifier les sources de pertes : pertes « cuivre », pertes « fer ». Établir le bilan de puissance à partir d'un essai à vide et d'un essai en court-circuit.	L'enseignant veillera à faire le lien explicitement avec l'enseignement de génie électrique. Justifier la formule utilisée en génie électrique où I_2 est l'intensité efficace du courant dans le circuit secondaire : $P_{\text{test totales}} = P_{\text{vide}} + P_{\text{cc}} \times \frac{I_2^2}{I_{2\text{cc}}^2}$
	Établir le modèle de Kapp monophasé ramené au secondaire à partir d'un essai à vide et d'un essai en court-circuit. Exploiter le modèle de Kapp pour déterminer la chute de tension au secondaire. Utiliser la formule de la chute de tension approchée.	On privilégiera la détermination de R_s et X_s par les mesures de puissances active et réactive lors de l'essai en court-circuit. L'enseignant veillera à faire le lien explicitement avec l'enseignement de génie électrique.
	Identifier les couplages de transformateurs triphasés : y, d et z. Interpréter l'indice horaire d'un transformateur triphasé. Citer les conditions de mise en parallèle de transformateurs : mêmes rapports de transformation et tensions secondaires en phase.	L'intérêt de l'indice sera mis en évidence. La détermination de l'indice horaire d'un transformateur triphasé à partir de son couplage n'est pas exigible. On s'attachera à ce que les étudiants sachent interpréter l'indice horaire comme étant un déphasage entre tensions primaires et secondaires homonymes.

Association de convertisseurs	Décrire une association de convertisseurs statiques dans une chaîne de transformation de l'énergie électrique. Associer convertisseur statique et convertisseur électromécanique. Expliquer le rôle d'un condensateur sur un bus continu et d'une résistance de freinage. Dimensionner une résistance de freinage.	Des exemples possibles sont : variateur de vitesse, alimentation continue, système embarqué, installation photovoltaïque, etc. Les enseignements s'appuient sur les règles d'association de convertisseurs d'énergie et de sources électriques : - source de tension électrique associée à une énergie potentielle ; - source de courant électrique associée à une énergie cinétique.
Lignes de distribution d'énergie	Exploiter le modèle d'une ligne de distribution par un réseau RL série. Justifier l'intérêt du transport de l'énergie électrique en haute tension.	Le modèle sert à dimensionner la protection de la ligne et les matériels « amont » et de calculer les chutes de tension en ligne.
Qualité de l'énergie électrique		
Amélioration du facteur de puissance	Expliquer l'intérêt d'optimiser le facteur de puissance. Analyser les leviers d'action pour améliorer le facteur de puissance : action sur le fondamental, action sur les harmoniques.	
Action sur le fondamental	Dimensionner une batterie de condensateurs pour compenser la puissance réactive. Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'ajuster le facteur de puissance d'une machine synchrone par action sur le courant d'excitation.	Le modèle de la machine synchrone n'est pas abordé. L'enseignant mettra en évidence que le courant d'excitation influe sur le facteur de puissance.

		Le moteur synchrone fonctionnant à vide sera mis en œuvre pour faire de la compensation d'énergie réactive. La visualisation de l'influence du courant d'excitation sur le facteur de puissance est faite expérimentalement dans le cas d'un alternateur ou d'un moteur.
Action sur les harmoniques	Connaître le principe du filtrage harmonique. Déterminer le gabarit d'un filtre à partir du spectre du signal à traiter. Exploiter la relation entre L, C et la fréquence pour accorder le filtre harmonique. Mettre en œuvre expérimentalement une inductance de ligne pour améliorer les performances du filtrage harmonique. Décrire le principe fonctionnel du filtrage actif. Proposer la solution des couplages Dy et Yz des transformateurs triphasés pour supprimer les harmoniques de rang multiples de 3.	Les applications de plusieurs filtres seront citées (passe-bas en sortie de l'onduleur ou d'alimentation continue, filtre sélectif pour le filtre harmonique, CPL, filtre réjecteur LC parallèle, TCFM ou rang 3 dans le neutre) On pourra décrire le principe de l'absorption sinusoïdale.
Traitement des harmoniques en continu	Comprendre que l'action de filtrer un courant ou une tension revient à supprimer les harmoniques. Citer l'usage d'une bobine en série pour filtrer un courant, l'usage d'un condensateur en parallèle pour filtrer une tension.	Les enseignants s'appuient sur les règles d'association de convertisseurs d'énergie et de sources électriques : - source de tension électrique associée à une énergie potentielle,

		- source de courant électrique associée à une énergie cinétique.
Perturbations électromagnétiques, CEM	Définir la compatibilité électromagnétique et la susceptibilité électromagnétique d'un dispositif et effectuer une recherche sur une norme. Citer des causes ou sources de perturbations électromagnétiques, d'origine humaine ou naturelle, produites par rayonnement, par conduction ou par décharge électrostatique. Citer les conséquences possibles des perturbations électromagnétiques sur un dispositif de mesures, de traitement de la mesure, ou informatiques. Énoncer quelques techniques ou moyens de protection d'un système électrique contre les perturbations électromagnétiques.	Le contenu des normes de compatibilité électromagnétique n'est pas exigé. Cette partie doit se traiter à partir d'une approche expérimentale ou d'analyse de documentations. Pour les évaluations, on fournira des informations nécessaires pour que l'étudiant puisse restituer ses connaissances sur ce thème. Par exemple, il pourra exploiter une relation donnant le rapport signal sur bruit, analyser un texte évoquant les problèmes des parasites ou la compatibilité électromagnétique. Parmi les conséquences possibles des perturbations, on peut attendre de l'étudiant des réponses comme : destruction de composants ; brouillage ; défauts de mesure. Pour la protection, on limite la compétence à citer blindage ou filtrage et à énoncer qu'un blindage n'est efficace que s'il est continu et relié à la terre.
ENERGIE ET MECANIQUE		
Mécanique du solide		
Cinématique	Définir les grandeurs cinématiques (position, vitesse, accélération) pour les mouvements de translation et de rotation. Dimensionner des éléments de conversion entre mouvement de translation rectiligne et mouvement de rotation autour d'un axe.	Les étudiants devront savoir : - décrire un mouvement de translation rectiligne uniformément accéléré ; - décrire un mouvement de rotation autour d'un axe fixe, uniformément accéléré. Les situations étudiées seront variées (poulies, tambour, pignon-crémaillère) et tirées d'exemples industriels, de systèmes étudiés en analyse-diagnostic-maintenance, projet ou stage.

Dynamique	Représenter une action mécanique par une force.	Les actions mécaniques à utiliser sont : l'interaction de gravité, la poussée d'Archimède, diverses forces de frottements, diverses forces rencontrées dans l'étude d'un système industriel, etc.
	Calculer le moment d'une force pour les cas dont la géométrie est simple.	Aucun calcul vectoriel n'est exigible
	Connaître des principes de mesure de capteur de position, vitesse, force et couple.	Le professeur s'appuie sur les capteurs rencontrés en analyse-diagnostic-maintenance, projet ou stage.
	Relever expérimentalement la caractéristique mécanique (moment du couple/vitesse) d'une charge.	
	Ecrire et appliquer le principe fondamental de la dynamique pour les mouvements de translation ou de rotation uniformes ou uniformément accélérés.	Plus que des équations horaires de la position ou de la vitesse, l'utilisation de gabarits de vitesse imposés par un cahier des charges est à privilégier pour déterminer l'accélération pendant des phases de démarrage ou freinage.
Energie	Écrire et exploiter les relations de définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation ou en rotation. Exprimer et utiliser l'énergie potentielle de pesanteur. Exprimer et évaluer le travail d'une force constante et d'un couple de moment constant. Définir et exploiter l'énergie mécanique d'un solide en mouvement.	Le moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe est introduit sans pour autant demander de calcul. Le produit scalaire n'est pas utilisé. Pour le travail d'une force, les études se font dans les deux seuls cas d'une force perpendiculaire ou parallèle au déplacement.
	Utiliser un bilan énergétique et la conservation de l'énergie mécanique pour décrire une transformation de mouvement.	Il convient d'analyser les transformations d'énergie entre énergie cinétique et énergie

		potentielle dans le cas éventuel d'une conservation de l'énergie mécanique.
	Calculer la puissance mécanique d'un solide en translation ou en rotation.	Un mouvement est analysé en termes de conservation ou non conservation de l'énergie mécanique et en termes de puissance moyenne. La relation entre puissance utile moteur et vitesse est mise en évidence.
Mécanique des fluides		
Généralités	Distinguer fluides compressible et incompressible.	
	Définir la pression au sein d'un fluide et l'exprimer dans les unités usuelles. Définir la pression absolue et relative.	Un point d'attention est à porter sur la pression absolue et relative, à relier avec le choix de capteur (pression absolue, relative, différentielle).
	Définir la masse volumique d'un fluide.	
	Corréler vitesse de déplacement du fluide, débit volumique et section de la canalisation.	
	Faire le lien entre débit massique et débit volumique.	
	Calculer une puissance hydraulique et une densité d'énergie volumique.	Cela servira à l'introduction du théorème de Bernoulli cité plus loin : $e_c = \frac{1}{2} \rho v^2$ (densité volumique d'énergie cinétique). Montrer que le pascal (Pa) est homogène au joule par mètre cube (J/m^3).
	Connaître des principes de mesure de capteur de pression et de débit.	L'enseignement s'appuie sur les capteurs rencontrés analyse-diagnostic-maintenance, projet ou stage.
Statique des fluides	Énoncer et appliquer l'équation fondamentale de la statique des fluides.	

Dynamique des fluides incompressibles	Énoncer et appliquer l'équation de continuité lors d'un écoulement permanent.	
	Énoncer et mettre en œuvre expérimentalement des phénomènes liés à la viscosité. Mettre en œuvre un logiciel de simulation pour expliquer les paramètres influents sur les pertes de charge.	Aucun calcul n'est exigible sur la nature de l'écoulement, le nombre de Reynolds, ou les pertes de charges.
	Appliquer le théorème de Bernoulli sous sa forme énergétique afin de déterminer les grandeurs mécaniques pertinentes au dimensionnement d'une installation.	Le théorème de Bernoulli est appliqué, notamment, pour dimensionner une pompe ou une centrale hydraulique de production. Traiter des cas avec l'eau mais aussi avec des fluides ayant une masse volumique différente (carburant, air, etc).
Installations hydrauliques	Connaître différentes technologies de pompes et de turbines et leurs domaines d'application (dans l'industrie et la production hydroélectrique). Dimensionner une pompe ou une turbine dans une installation hydraulique.	Sont évoquées : pompe centrifuge, volumétrique. Turbine Pelton, Kaplan, Francis. Il s'agit ici d'une pré-étude sans pertes de charge.
Eoliennes	Connaître les paramètres influençant le rendement d'une éolienne.	Les paramètres importants sont : orientation de l'éolienne, orientation des pales, vitesse du vent.
	Appliquer la loi de Betz pour dimensionner une éolienne.	
ENERGIE ET CHIMIE		
Électrochimie	Citer les caractéristiques et les évolutions technologiques des piles et des accumulateurs.	Piles, accumulateurs, piles à combustible sont des exemples à aborder.

	Définir les conditions d'utilisation optimales d'une batterie d'accumulateurs. Associer charge et décharge d'un accumulateur à des transferts et conversions d'énergie et calculer son autonomie. Expliquer le fonctionnement d'une pile, d'un accumulateur, d'une pile à combustible.	Un focus sera fait sur l'évolution des technologies et la densité massique d'énergie.
Combustion	Associer à une transformation chimique exothermique une diminution de l'énergie du système chimique. Citer différents carburants utilisés pour la production d'énergie électrique. Montrer expérimentalement que, lors d'une combustion, le système transfère de l'énergie au milieu extérieur sous forme thermique et estimer la valeur de cette énergie libérée. Comparer les pouvoirs calorifiques et les utiliser pour déterminer le rendement d'un convertisseur. Citer les dangers liés aux combustions et les moyens de prévention et de protection.	Sont cités notamment : hydrocarbures, gaz naturel, charbon, agro-carburant, dihydrogène. Le professeur explique leur mode de production et de stockage. Le stockage de l'énergie chimique est à mettre en lien avec le stockage de l'énergie électrique : comparaison des volumes et masses, des densités d'énergie, etc. L'enseignant pourra s'appuyer sur les documents mis à disposition par l'INRS.
ÉNERGIE ET RAYONNEMENT		
Modélisation du rayonnement	Savoir qu'un rayonnement peut être modélisé par une onde électromagnétique ou un corpuscule, le photon.	
Structures d'une onde électromagnétique	Définir une onde électromagnétique comme l'association d'un champ électrique et d'un champ magnétique.	

	Relier qualitativement le champ électrique d'une onde électromagnétique en un point à la puissance et à la distance de la source.	
Domaines des ondes électromagnétiques	Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral : rayonnements UV, visible, IR, micro-ondes, ondes radio. Utiliser la relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence.	Les notions abordées sur les ondes peuvent être utilisées dans le domaine de la mécanique, par exemple lors de la mise en œuvre de capteur à ultrasons (mesure de position).
Photon, énergie d'un photon	Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Exploiter la relation entre l'énergie d'un photon et la fréquence de l'onde pour interpréter la présence de raies dans un spectre.	
L'éclairage et sources lumineuses	Expliquer le principe de fonctionnement des principales sources lumineuses. Distinguer spectres continus et spectres de raies et caractériser différentes sources lumineuses à l'aide de leur spectre. Mettre en œuvre un protocole pour observer le spectre de différentes sources lumineuses. Corréler la longueur d'onde pour laquelle l'émission de lumière est maximale à la température d'un corps, afin de comprendre la température de couleur.	Les sources à incandescence, à décharge, fluorescentes, DEL, laser sont les principaux exemples abordés. La loi de Planck n'est pas explicitée : toutes les analyses spectrales sont réalisées à partir de représentations graphiques, éventuellement issues de ressources techniques ou de relevés expérimentaux. La relation entre la température absolue, exprimée en kelvins et la température en degrés Celsius est fournie. La loi de Wien n'est pas à connaître, elle est fournie. L'étudiant doit l'utiliser pour expliquer la

	Citer les risques dus aux rayonnements optiques artificiels.	température de couleur d'une source lumineuse et le spectre du rayonnement solaire (dans le cadre de l'étude des panneaux photovoltaïques). L'enseignant pourra évoquer les dangers des lasers et de la lumière bleue des DEL.
Photométrie	Relier les unités photométriques aux sources lumineuses ou aux surfaces éclairées et à la sensibilité de l'œil humain : watt, lumen, lux. Exploiter les caractéristiques d'une source d'éclairage artificiel : efficacité énergétique, température de couleur, indice de rendu des couleurs (IRC), flux lumineux. Utiliser un luxmètre pour mesurer un flux lumineux.	L'éclairage d'une surface est dimensionné à partir des distances entre celle-ci et les sources lumineuses, ainsi que de leur flux lumineux. Il est conseillé d'expliquer la différence entre un solarimètre (ou pyranomètre) utilisé dans les métiers du photovoltaïque (mesure des éclairements énergétiques, c'est à dire sans tenir compte de la courbe de sensibilité de l'œil, en W/m^2) et un luxmètre employé dans les métiers de l'éclairage (mesure des éclairements lumineux, en lx).
Énergie solaire	Citer les modes d'exploitation de l'énergie solaire au service de la production d'énergie électrique et du bâtiment. Mettre en œuvre une cellule photovoltaïque. Utiliser un solarimètre pour effectuer expérimentalement le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.	Les étudiants relèvent et exploitent les caractéristiques électriques en fonction de l'éclairage lumineux.
LES CONVERTISSEURS ELECTROMECHANIQUES		

Constitution des machines tournantes	Expliquer le principe de fonctionnement interne des machines tournantes en termes d'interaction entre champs magnétiques.	L'explication est ici commune à toutes les technologies de moteurs vus lors des deux années d'études en STS. C'est l'occasion d'expliquer : champs magnétiques tournants (il en faut deux pour avoir un couple), nombre de paires de pôles, vitesse de synchronisme. Pour l'interaction des champs magnétiques tournants : l'enseignant explique la condition pour obtenir un couple de moment moyen non nul (il est possible de s'appuyer sur une simulation). Il s'agit ici de : - connaître les spécificités du moteur brushless ; - savoir quels sont les moteurs les plus utilisés dans l'industrie.
	Citer les éléments constituant la machine. Distinguer induit et inducteur.	On pense ici à stator et rotor (bobinés ou à aimants permanents). Les phénomènes d'induction électromagnétique sont décrits. (en lien avec le thème « électromagnétisme ») On se limite à la description d'induit et d'inducteur. L'existence du champ magnétique tournant est montrée par des expériences simples ou par l'usage de simulations numériques.
	Différencier le fonctionnement en moteur ou générateur.	Pour la machine synchrone, l'enseignant introduit le terme « alternateur ». Il présente l'inducteur à aimants permanents et bobiné. Pour la machine asynchrone, le professeur évoque le fait que la plupart des moteurs actuels

		sont à cage d'écureuil. Il peut présenter la machine asynchrone à double alimentation (MADA).
	Décrire le fonctionnement d'un convertisseur électromécanique par un couple de grandeurs physiques en entrée et en sortie : tension-courant et couple-vitesse. Décrire le fonctionnement dans les quatre quadrants. Citer les avantages et les inconvénients ainsi que les domaines d'application des différentes technologies de moteurs.	Le lien est de nouveau fait avec la puissance associée à une grandeur d'« effort » ou de « stock » et une de « mouvement » ou de « flux ».
Grandeurs nominales	Extraire des informations d'une plaque signalétique.	Il est indiqué que les grandeurs nominales correspondent au point de fonctionnement pour lequel le rendement est supposé être maximum. Déduire de la plaque signalétique le couplage de la machine adapté au réseau. Savoir calculer le rendement nominal à partir d'une plaque signalétique ; et le glissement dans le cas d'une MAS.
Bilan de puissance	Identifier les sources de pertes et les grandeurs physiques (tension, courant, fréquence, etc. les influençant). Mettre en œuvre les essais, exploiter les résultats afin de déterminer les différentes pertes. Établir un bilan de puissance et calculer le rendement.	La détermination des pertes est expérimentale ou basée sur des essais et mesures. L'enseignant présentera les pertes Joule, les pertes fer et les pertes mécaniques.

		La mise en œuvre des essais expérimentaux pour déterminer les pertes peut être réalisée avec une machine asynchrone en fonctionnement moteur et en génératrice hypersynchrone. Dans le cas d'un moteur asynchrone, pour établir le bilan de puissance, il est nécessaire de connaître la relation liant les pertes Joule au rotor au glissement. Les étudiants doivent savoir que les pertes fer sont proportionnelles à la fréquence et la tension. Elles sont déterminées par un essai à vide avec les pertes mécaniques (pertes collectives). Les pertes Joule sont calculées à partir de la résistance équivalente entre deux bornes de la machine couplée ou de la résistance d'un enroulement. En fonction du couplage, l'étudiant doit savoir déterminer la résistance équivalente entre deux bornes à partir de la résistance d'un enroulement (exemple d'application des lois de l'électricité). La modélisation de la machine asynchrone n'est pas abordée.
Modélisation d'une machine à courant continu dans le cas d'une machine à excitation indépendante constante	Exploiter les lois de conversion électromécanique, $E = k\Omega$, $T_{em} = kI$, afin de déterminer les points de fonctionnement électrique et mécanique d'un ensemble machine/charge à partir des caractéristiques.	À travers ce modèle simplifié, on aborde la notion de modélisation d'une machine et l'interdépendance des grandeurs physiques mise en jeu. La notion de modélisation sera également vue en régime sinusoïdal avec l'utilisation du modèle du

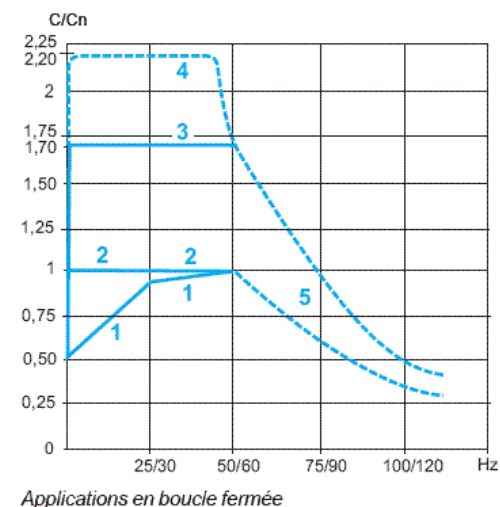
		transformateur ramené au secondaire afin de déterminer la chute de tension en charge. Utilisation du modèle de Thévenin en régime permanent (E, R) pour déterminer, à partir de deux grandeurs physiques imposées, les deux autres (parmi U, I, T, Ω). Le modèle de Thévenin est déterminé expérimentalement à partir de la caractéristique électrique. Il est possible d'exploiter également le modèle électrique de l'induit pour, associé au modèle de Thévenin d'un générateur (par exemple un accumulateur), déterminer un point de fonctionnement électrique.
Pilotage de la Machine asynchrone	Utiliser la caractéristique mécanique en régime permanent donnée d'une machine asynchrone pour déterminer un moment de couple de démarrage, un point de fonctionnement moteur ou génératrice. Relever expérimentalement les caractéristiques mécaniques en régime permanent d'un moteur asynchrone commandé à U/f constant pour différentes fréquences. Déterminer le point de fonctionnement d'un ensemble moteur/charge dans le cas d'une commande à U/f constant. Analyser les différentes zones de fonctionnement d'un moteur asynchrone associé à un variateur de vitesse industriel à partir de documents constructeur.	On aborde ici la notion de caractéristique mécanique et de pilotage de la vitesse. La modélisation de la machine asynchrone n'est pas abordée. Les étudiants doivent savoir que dans la zone de fonctionnement moteur, le moment du couple est proportionnel à U/f. La démonstration de la relation entre moment du couple, tension, fréquence n'est pas abordée.

Savoir qu'il existe différentes commandes pour piloter un moteur asynchrone (U/f et contrôle vectorielle).

Les différentes zones de fonctionnement d'un moteur asynchrone associé à un variateur de vitesse industriel sont :

- zone « nominale » à couple constant (à U/f constant) ;
- zone de survitesse à puissance constante (f augmente, U constant) ;
- zone de surcouple (U constant, f diminue).

Le lien avec un variateur de vitesse industriel est fait.



MAITRISE DES PROCEDES

Chaine de mesure

Architecture

Distinguer les différents éléments d'une chaîne de mesure : capteur, transmetteur.

Nature des signaux en Instrumentation

Distinguer un signal analogique ou numérique, à partir d'une représentation temporelle ou fréquentielle.

	Citer la nature et les valeurs normalisées fournies par les transmetteurs les plus courants.	Sont principalement citées : - tensions : 0-10V, -10/+10V, 1-5V ; - courants : 4-20 mA.
Numérisation d'un signal	Citer les caractéristiques utiles d'un CAN : nombre de bits, quantum, fréquence d'échantillonnage.	
Comportement dynamique d'un capteur	Mesurer le temps de réponse d'un capteur. Exploiter les caractéristiques liées à la précision d'un capteur données par un constructeur.	Il est fait appel à la notion de modèle du 1 ^{er} ordre. S'appuyer sur les capteurs présents en analyse-diagnostic-maintenance.
Régulation, asservissement		
Aspect fonctionnel des boucles de régulation.	Connaître la structure d'une régulation ou d'un asservissement. Identifier, nommer et connaître la fonction des éléments constitutifs d'une boucle de régulation et établir le schéma fonctionnel. Distinguer commande en chaîne ouverte et régulation/asservissement en boucle fermée. Identifier les grandeurs fonctionnelles d'une boucle de régulation et les placer sur un schéma fonctionnel. Citer des grandeurs physiques classiquement régulées en électrotechnique.	Le vocabulaire minimum attendu sera : actionneur, capteur, régulateur (correcteur). Grandeurs fonctionnelles sont : mesure, consigne, signal d'erreur, commande et perturbation. L'enseignant s'intéresse en particulier à la régulation des grandeurs : tension, courant, fréquence, vitesse de rotation, position, couple. Ces grandeurs continues (au sens mathématique du terme) sont liées à un stockage d'énergie (exemples : $\frac{1}{2}Li^2$ - $\frac{1}{2}J\Omega^2$ - $\frac{1}{2}C\varphi$) L'enseignant peut être amené à mettre en place des boucles de régulation pour la maîtrise des procédés physico-chimique : température, débit, position, vitesse, etc.
Critères de performance	Citer les critères de performance d'une boucle d'asservissement ou de régulation : stabilité, précision, rapidité, amortissement.	

	Mesurer les critères de performance en boucle fermée, autour d'un point de fonctionnement, suite à un échelon de consigne : l'écart statique, le temps de réponse à 5 %, la valeur du 1er dépassement.	
Caractéristique des procédés	Relever expérimentalement et exploiter la caractéristique statique d'un procédé stable. Mettre en évidence expérimentalement le déplacement du point de fonctionnement lors d'une perturbation. Différencier la nature du comportement des systèmes par leur réponse à un échelon de commande. Déterminer les paramètres intrinsèques des procédés stables à partir de relevés expérimentaux.	Il est déterminé un point de fonctionnement et calculé le gain statique. La stabilité est étudiée de façon expérimentale uniquement Aucune connaissance des protocoles n'est exigée, mais il faut savoir mettre en œuvre un protocole donné.
Régulation à action discontinue (TOR)	Mettre en œuvre une régulation TOR à un seuil ou à deux seuils de basculement.	Les régulateurs mécaniques ou électriques évoqués sont : thermostat, calorstat, pressostat.
Régulation PID	Expliquer le rôle des actions. Déterminer le sens du régulateur. Mettre en évidence expérimentalement l'influence des actions proportionnelle et intégrale sur la précision, la rapidité et la stabilité d'une boucle de régulation. Déterminer les paramètres d'un correcteur PI ou PID à partir d'un protocole de réglage expérimental industriel.	Ces paramètres sont déterminés selon une ou plusieurs méthodes expérimentales au choix de l'enseignant : méthode « du régleur », méthode de Broïda, Ziecler et Nichols, auto-tune.

Automate programmable	Décrire la structure d'un automate programmable en lien avec une boucle d'asservissement ou régulation.	Les notions abordées sont : entrée logique ou analogique associée à la mesure d'un capteur, sortie logique ou analogique associée à la commande d'un pré-actionneur, fonctions comparateur et correcteur de l'API.
-----------------------	---	--