

Satellite géostationnaire.	Calculer l'altitude du satellite et justifier sa localisation dans le plan équatorial.
Énergie mécanique dans le cas du mouvement circulaire puis dans le cas du mouvement elliptique.	Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire.
Vitesses cosmiques : vitesse en orbite basse et vitesse de libération.	Exprimer ces vitesses et connaître leur ordre de grandeur en dynamique terrestre.

6. Thermodynamique

Présentation

Dans le cycle terminal de la filière S du lycée, les élèves ont été confrontés à la problématique des transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques. L'énergie interne d'un système a été introduite puis reliée à la grandeur température *via* la capacité thermique dans le cas d'une phase condensée. Les élèves ont alors été amenés à se questionner sur le moyen de parvenir à une modification de cette énergie interne ce qui a permis d'introduire le premier principe et deux types de transferts énergétiques, le travail et le transfert thermique. Enfin, les élèves ont été sensibilisés à la notion d'irréversibilité en abordant le phénomène de diffusion thermique.

Après avoir mis l'accent sur le passage fondamental d'une réalité microscopique à des grandeurs mesurables macroscopiques, cette partie propose, en s'appuyant sur des exemples concrets, de poursuivre la description et l'étude de la matière à l'échelle macroscopique, l'objectif étant d'aborder des applications motivantes. Les capacités identifiées doivent être introduites en s'appuyant dès que possible sur des dispositifs expérimentaux qui permettent ainsi leur acquisition progressive et authentique. Ces capacités se limitent à l'étude du corps pur subissant des transformations finies, excluant ainsi toute thermodynamique différentielle : le seul recours à une quantité élémentaire intervient lors de l'évaluation du travail algébriquement reçu par un système par intégration du travail élémentaire. En particulier, pour les bilans finis d'énergie, les expressions des fonctions d'état $U_m(T, V_m)$ et $H_m(T, P)$ seront données si le système ne relève pas du modèle gaz parfait ou du modèle de la phase condensée incompressible et indilatable. Pour les bilans finis d'entropie, l'expression de la fonction d'état entropie sera systématiquement donnée et on ne s'intéressera pas à sa construction.

S'agissant de l'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire, il s'agit d'une introduction modeste: les étudiants doivent avoir compris pourquoi l'enthalpie intervient mais l'essentiel n'est pas la démonstration (qui sera reprise en deuxième année) ; il s'agit en revanche d'orienter l'enseignement de la thermodynamique vers des applications industrielles réelles motivantes grâce à l'utilisation de diagrammes.

L'application des principes de la thermodynamique aux machines thermiques avec écoulement stationnaire est prévue en deuxième année.

On utilisera les notations suivantes : pour une grandeur extensive A , a sera la grandeur massique associée et A_m la grandeur molaire associée.

Objectifs généraux de formation

Il est essentiel de bien situer le niveau de ce cours de thermodynamique, en le considérant comme une introduction à un domaine complexe dont le traitement complet relève de la physique statistique,

inabordable à ce stade. On s'attachera néanmoins, de façon prioritaire, à la rigueur des raisonnements mis en place (définition du système, lois utilisées...).

Outre la maîtrise des capacités liées aux notions abordées, cette partie a pour vocation l'acquisition par l'étudiant des compétences transversales suivantes :

- définir un système qui permette de faire les bilans nécessaires à l'étude
- faire le lien entre un système réel et sa modélisation
- comprendre qu'il peut exister plusieurs modèles de complexité croissante pour rendre compte des observations expérimentales
- utiliser des tableaux de données ou des représentations graphiques complexes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre	
Échelles microscopique, mésoscopique, et macroscopique.	Citer l'ordre de grandeur du nombre d'Avogadro.
Système thermodynamique. Surface de contrôle.	Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression. Pression, température, volume, équation d'état. Grandeur extensive, grandeur intensive. Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.	Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique. Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique. Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température. Citer et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.
Vitesse quadratique moyenne. Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c = 3/2kT$.	Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas du gaz parfait.	Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température. Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.	Savoir que $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible et indilatable.
Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.	Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P,T). Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P,v), titre en vapeur.	Analyser un diagramme de phase expérimental (P,T). Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.

	<p>Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v).</p> <p>Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).</p> <p>Expliquer la problématique du stockage des fluides.</p>
--	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Énergie échangée par un système au cours d'une transformation	
Transformation thermodynamique subie par un système.	<p>Définir le système.</p> <p>Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.</p> <p>Utiliser le vocabulaire usuel : évolutions isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme.</p>
Travail des forces de pression. Transformations isochore, monobare. Transformations polytropiques d'un gaz parfait.	<p>Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.</p> <p>Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.</p>
Transfert thermique. Transformation adiabatique. Thermostat, transformations monotherme et isotherme.	<p>Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.</p> <p>Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.</p> <p>Proposer de manière argumentée le modèle limite le mieux adapté à une situation réelle entre une transformation adiabatique et une transformation isotherme.</p>

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Premier principe. Bilans d'énergie	
Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U + \Delta E_c = Q + W$	<p>Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail W et transfert thermique Q.</p> <p>Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.</p> <p>Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.</p> <p>Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU.</p> <p>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion...).</p>

Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.	<p>Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.</p> <p>Comprendre pourquoi l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T.</p> <p>Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.</p> <p>Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.</p>
Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.	Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Deuxième principe. Bilans d'entropie.	
Deuxième principe : fonction d'état entropie, entropie créée, entropie échangée. $\Delta S = S_{ech} + S_{créé}$ avec $S_{ech} = \sum Q_i/T_i$.	Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique. Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.
Variation d'entropie d'un système.	Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.
Loi de Laplace.	Exploiter l'extensivité de l'entropie.
Cas particulier d'une transition de phase.	Énoncer les conditions d'application de la loi de Laplace et l'utiliser.
	Connaître et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T \Delta s_{12}(T)$

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Machines thermiques	
Application du premier principe et du deuxième principe aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.	<p>Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.</p> <p>Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.</p> <p>Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.</p> <p>Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.</p>

7. Induction et forces de Laplace

Présentation

Cette partie est nouvelle pour les étudiants, puisque seule une approche descriptive du champ magnétique a fait l'objet d'une présentation en classe de première S. Cette partie s'appuie sur les nombreuses applications présentes dans notre environnement immédiat : boussole, moteur électrique, alternateur, transformateur, haut-parleur, plaques à induction, carte RFID... Il s'agit de restituer toute la richesse de ces applications dans un volume horaire modeste, ce qui limite les géométries envisagées et le formalisme utilisé. Le point de vue adopté cherche à mettre l'accent sur les phénomènes et sur la modélisation sommaire de leurs applications. L'étude sera menée à partir du flux magnétique en n'envisageant que des champs magnétiques uniformes à l'échelle de la taille des systèmes étudiés. Toute étude du champ électromoteur est exclue. L'induction et les forces de Laplace dans un circuit mobile sont introduites dans le cas d'un champ uniforme et stationnaire, soit dans le modèle des rails de Laplace, soit dans celui d'un cadre rectangulaire en rotation. Ce dernier modèle permet d'introduire la notion de dipôle magnétique et une analogie de comportement permet de l'étendre au cas de l'aiguille d'une boussole.

Le succès de cet enseignement au niveau de la classe de PTSI suppose le respect de ces limitations : cet enseignement n'est pas une étude générale des phénomènes d'induction. Corrélativement, l'enseignement de cette partie doit impérativement s'appuyer sur une démarche expérimentale authentique, qu'il s'agisse d'expériences de cours ou d'activités expérimentales.

À l'exception du bloc 6, les milieux sont considérés comme non magnétiques.

Objectifs généraux de formation

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser les notions de champ de vecteurs et de flux d'un champ de vecteurs
- évaluer les actions d'un champ magnétique extérieur sur un circuit parcouru par un courant ou par analogie sur un aimant
- utiliser la notion de moment magnétique
- connaître ou savoir évaluer des ordres de grandeur
- analyser qualitativement les systèmes où les phénomènes d'induction sont à prendre en compte
- maîtriser les règles d'orientation et leurs conséquences sur l'obtention des équations mécaniques et électriques
- effectuer des bilans énergétiques
- connaître des applications relevant du domaine de l'industrie ou de la vie courante où les phénomènes d'induction sont présents et déterminants dans le fonctionnement des dispositifs
- mettre en œuvre des expériences illustrant la manifestation des phénomènes d'induction

Le **bloc 1. « Champ magnétique »** vise à faire le lien avec le programme de la classe de première S et à permettre à l'étudiant de disposer des outils minimaux nécessaires ; l'accent est mis sur le concept de

champ vectoriel, sur l'exploitation des représentations graphiques et sur la connaissance d'ordres de grandeur. Une étude plus approfondie de la magnétostatique sera conduite en seconde année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique. Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Dans le **bloc 2. « Actions d'un champ magnétique »**, le professeur est libre d'introduire la force de Laplace avec ou sans référence à la force de Lorentz. Il s'agit ici de se doter d'expressions opérationnelles pour étudier le mouvement dans un champ uniforme et stationnaire (soit d'une barre en translation, soit d'un moment magnétique en rotation modélisé par un cadre rectangulaire).

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. Actions d'un champ magnétique	
Résultante et puissance des forces de Laplace s'exerçant sur une barre conductrice en translation rectiligne sur deux rails parallèles (rails de Laplace) dans un champ magnétique extérieur uniforme, stationnaire et orthogonal à la barre.	Connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.

Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.
--	--

Le **bloc 3. « Lois de l'induction »** repose sur la loi de Faraday $e = -\frac{d\phi}{dt}$ qui se prête parfaitement à une introduction expérimentale et qui peut constituer un bel exemple d'illustration de l'histoire des sciences. On n'omettra pas, à ce sujet, d'évoquer les différents points de vue possibles sur le même phénomène selon le référentiel dans lequel on se place.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3. Lois de l'induction	
<u>Flux d'un champ magnétique.</u> Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<u>Loi de Faraday.</u> Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit. Loi de modération de Lenz. Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday. Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés. Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbrisation.

Le **bloc 4. « Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps »** aborde le phénomène d'auto-induction puis le couplage par mutuelle inductance entre deux circuits fixes. Elle traite du modèle du transformateur parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
<u>Auto-induction.</u> Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer et connaître l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.

Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
<u>Cas de deux bobines en interaction.</u> Inductance mutuelle entre deux bobines. Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé. Transformateur de tension.	Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Établir la loi des tensions.
Étude énergétique.	Conduire un bilan de puissance et d'énergie.

Le **bloc 5. « Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire »** est centré sur la conversion de puissance. Des situations géométriques simples permettent de dégager les paramètres physiques pertinents afin de modéliser le principe d'un moteur à courant continu ou un dispositif de freinage, puis par adjonction d'une force de rappel un haut-parleur électrodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
<u>Conversion de puissance mécanique en puissance électrique.</u> Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique. Freinage par induction	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
<u>Conversion de puissance électrique en puissance mécanique.</u> Moteur à courant continu à entrefer plan.	Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu.

Haut-parleur électrodynamique.	Expliquer le principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique dans la configuration simplifiée des rails de Laplace. Effectuer un bilan énergétique.
--------------------------------	--

Enfin, le **bloc 6. Convertisseurs électromécaniques** se veut être une modeste approche des machines électriques réelles mettant en évidence l'utilisation raisonnée de matériaux magnétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Convertisseurs électromécaniques	
Machines à courant continu, machines synchrones, machines asynchrones.	Approche documentaire : Justifier l'utilisation d'un matériau magnétique au regard de la puissance massique désignée.

8. Architecture de la matière condensée : solides cristallins

L'existence des états cristallins et amorphes ainsi que la notion de transition allotropique, présentées au premier semestre dans la partie « Transformations de la matière », vont être réinvesties et approfondies dans cette partie.

Les éléments de description microscopique relatifs au « modèle du cristal parfait » sont introduits lors de l'étude des solides sur l'exemple de la maille cubique faces centrées (CFC), seule maille dont la connaissance est exigible. Cet ensemble d'outils descriptifs sera réinvesti pour étudier d'autres structures cristallines dont la constitution sera alors fournie à l'étudiant.

Aucune connaissance de mode de cristallisation pour une espèce donnée n'est exigible ; le professeur est libre de choisir les exemples de solides pertinents pour présenter les différents types de cristaux et montrer leur adéquation, plus ou moins bonne, avec le modèle utilisé.

En effet, l'objectif principal de l'étude des cristaux métalliques, covalents et ioniques est d'aborder une nouvelle fois la notion de modèle : les allers-retours entre le niveau macroscopique (solides de différentes natures) et la modélisation microscopique (cristal parfait) permettent de montrer les limites du modèle du cristal parfait et de confronter les prédictions faites avec ce modèle aux valeurs expérimentales mesurées sur le solide réel (rayons ioniques, masse volumique). Cette partie constitue une occasion de revenir sur les positions relatives des éléments dans la classification périodique, en lien avec la nature des interactions assurant la cohésion des édifices présentés, ainsi que sur les interactions intermoléculaires et la notion de solubilisation pour les solides ioniques et moléculaires.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être, par la suite, valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Relier la position d'un élément dans le tableau périodique et la nature des interactions des entités correspondantes dans un solide ;
- Effectuer des liens entre différents champs de connaissance ;
- Appréhender la notion de limite d'un modèle.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Modèle du cristal parfait	
Description du cristal parfait ; population, coordinence, compacité, masse volumique.	Décrire un cristal parfait comme un assemblage de mailles parallélépipédiques. Déterminer la population, la coordinence et la compacité pour une structure fournie. Déterminer la valeur de la masse volumique d'un matériau cristallisé selon une structure cristalline fournie.

Limites du modèle du cristal parfait.	Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques. Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle.
Métaux et cristaux métalliques Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques. Maille conventionnelle cubique à faces centrées (CFC).	Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux. Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité. Approche documentaire : à partir de documents, découvrir quelques alliages, leurs propriétés et leurs utilisations.
Solides covalents et moléculaires	Relier les caractéristiques des liaisons covalentes, des interactions de van der Waals et des liaisons hydrogène (directionnalité ou non, ordre de grandeur des énergies mises en jeu) et les propriétés macroscopiques des solides correspondants.
Solides ioniques	Relier les caractéristiques de l'interaction ionique dans le cadre du modèle ionique parfait (ordre de grandeur de l'énergie d'interaction, non directionnalité, charge localisée) avec les propriétés macroscopiques des solides ioniques.

9. Transformations chimiques en solution aqueuse

Les transformations chimiques en solution aqueuse jouent un rôle essentiel en chimie, en biochimie et dans les processus environnementaux.

Un nombre considérable de développements technologiques (générateurs électrochimiques, lutte contre la corrosion, traitement des eaux, méthodes d'analyse...) repose sur des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse. L'influence du milieu (pH, possibilité de formation de composés insolubles...) est primordiale dans la compréhension et la prévision des phénomènes mis en jeu.

L'objectif de cette partie est donc de présenter les différents types de réactions susceptibles d'intervenir en solution aqueuse, d'en déduire des diagrammes de prédominance ou d'existence d'espèces chimiques, notamment des diagrammes potentiel-pH et de les utiliser comme outil de prévision et d'interprétation des transformations chimiques quel que soit le milieu donné. Les conventions de tracé seront toujours précisées.

S'appuyant sur les notions de couple redox et de pile rencontrées au lycée, l'étude des phénomènes d'oxydo-réduction en solution aqueuse est complétée par l'utilisation de la relation de Nernst (admise en première année) et de la relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard.

Afin de pouvoir étudier l'influence du milieu sur les espèces oxydantes ou réductrices effectivement présentes, les connaissances sur les réactions acido-basiques en solution aqueuse acquises au lycée sont réinvesties et complétées. Compte tenu des différentes conventions existantes, l'équation de la réaction correspondante est donnée dans chaque cas. Enfin, les phénomènes de précipitation et de dissolution, ainsi que la condition de saturation d'une solution aqueuse sont présentés.

Ces différentes transformations en solution aqueuse sont abordées en montrant bien qu'elles constituent des illustrations de l'évolution des systèmes chimiques introduites au premier semestre, les étudiants étant amenés à déterminer l'état final d'un système en transformation chimique modélisée par une seule réaction chimique. On montrera qu'il est ainsi possible d'analyser et de simplifier une situation complexe pour parvenir à la décrire rigoureusement et quantitativement, en l'occurrence dans le cas des solutions aqueuses par une réaction prépondérante. Il est cependant important de noter qu'on évite tout calcul inutile de concentration, en privilégiant l'utilisation des diagrammes pour valider le choix de la réaction mise en jeu. Dans ce cadre, aucune formule de calcul de pH n'est exigible.

Enfin, les diagrammes potentiel-pH sont présentés, puis superposés pour prévoir ou interpréter des transformations chimiques.

Les choix pédagogiques relatifs au contenu des séances de travail expérimental permettront de contextualiser ces enseignements.

Les dosages par titrage sont étudiés exclusivement en travaux pratiques. L'analyse des conditions choisies ou la réflexion conduisant à une proposition de protocole expérimental pour atteindre un objectif donné constituent des mises en situation des enseignements évoqués précédemment. La compréhension des phénomènes mis en jeu dans les titrages est par ailleurs un outil pour l'écriture de la réaction prépondérante. Ces séances de travail expérimental constituent une nouvelle occasion d'aborder qualité et précision de la mesure.

À travers les contenus et les capacités exigibles, sont développées des compétences qui pourront être par la suite valorisées, consolidées ou réinvesties, parmi lesquelles :

- Modéliser ou simplifier un problème complexe ;
- Utiliser différents outils graphique, numérique, analytique ;
- Repérer les informations ou paramètres importants pour la résolution d'un problème.

1. Réactions d'oxydo-réduction

Notions et contenus	Capacités exigibles
Oxydants et réducteurs	
Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène. Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence. Diagrammes de prédominance ou d'existence.	Prévoir les nombres d'oxydation extrêmes d'un élément à partir de sa position dans le tableau périodique. Identifier l'oxydant et le réducteur d'un couple. Décrire le fonctionnement d'une pile à partir d'une mesure de tension à vide ou à partir des potentiels d'électrodes. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.
Réactions d'oxydo-réduction	
Aspect thermodynamique. Dismutation et médimutation.	Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.

2. Réactions acide-base et de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Réactions acido-basiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - constante d'acidité ; - diagramme de prédominance ; - exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac. <p>Réactions de dissolution ou de précipitation</p> <ul style="list-style-type: none"> - constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité K_s ; - solubilité et condition de précipitation ; - domaine d'existence ; - facteurs influençant la solubilité. 	<p>Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues.</p> <p>Retrouver les valeurs de constantes d'équilibre par lecture de courbes de distribution et de diagrammes de prédominance (et réciproquement). Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale, pour une transformation modélisée par une réaction chimique unique.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p> <p>Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide.</p> <p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable.</p> <p>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses.</p> <p>Approche documentaire : à partir de documents autour du traitement d'effluents, dégager par exemple les méthodes de détection d'espèces (méthodes physiques ou chimiques), d'évaluation des concentrations, ou les procédés et transformations mis en jeu pour la séparation des espèces et la dépollution.</p>

3. Diagrammes potentiel-pH

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Diagrammes potentiel-pH</p> <p>Principe de construction d'un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Lecture et utilisation des diagrammes potentiel-pH</p> <p>Limite thermodynamique du domaine d'inertie électrochimique de l'eau.</p>	<p>Attribuer les différents domaines d'un diagramme fourni à des espèces données.</p> <p>Retrouver la valeur de la pente d'une frontière dans un diagramme potentiel-pH.</p> <p>Justifier la position d'une frontière verticale.</p> <p>Prévoir le caractère thermodynamiquement favorisé ou non d'une transformation par superposition de diagrammes.</p> <p>Discuter de la stabilité des espèces dans l'eau.</p> <p>Prévoir la stabilité d'un état d'oxydation en fonction du pH du milieu.</p> <p>Prévoir une éventuelle dismutation ou médimutation.</p>

	Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques. Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.
--	---

Appendice 1 : matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec l'aide d'une notice simplifiée fournie sous forme de version papier ou numérique. Une utilisation de matériel hors de cette liste lors d'épreuves d'évaluation n'est pas exclue, mais elle doit obligatoirement s'accompagner d'une introduction guidée suffisamment détaillée.

1. Domaine optique

- Goniomètre
- Viseur à frontale fixe
- Lunette auto-collimatrice
- Spectromètre à fibre optique
- Laser à gaz
- Lampes spectrales
- Source de lumière blanche à condenseur

2. Domaine électrique

- Oscilloscope numérique
- Carte d'acquisition et logiciel dédié
- Générateur de signaux Basse Fréquence
- Multimètre numérique
- Émetteur et récepteur acoustique (domaine audible et domaine ultrasonore)

3. Domaines mécanique et thermodynamique

- Capteur de pression
- Accéléromètre
- Stroboscope
- Webcam avec logiciel dédié
- Appareil photo numérique ou caméra numérique avec cadence de prise de vue supérieure à 100 images par seconde
- Thermomètre, thermocouple, thermistance, capteur infra-rouge
- Calorimètre

4. Chimie

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Sonde thermométrique
- Balance de précision

Appendice 2 : outils mathématiques

L'utilisation d'outils mathématiques est indispensable en physique comme en chimie.

La capacité à mettre en œuvre de manière autonome certains de ces outils mathématiques dans le cadre des activités relevant de la physique-chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de PTSI. Le tableau ci-dessous explicite ces outils ainsi que le niveau de maîtrise attendu en fin de première année. Il sera complété dans le programme de seconde année.

Cependant les situations dont la gestion manuelle ne relèverait que de la technicité seront traitées à l'aide d'outils numériques (calculatrices, logiciels de calcul numérique ou formel).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
1. Équations algébriques	
Systèmes linéaires de n équations à p inconnues	Identifier les variables (inconnues) nécessaires à la modélisation du problème sous forme d'un système d'équations linéaires. Donner l'expression formelle des solutions dans le seul cas $n = p = 2$. Utiliser des outils numériques ou de calcul formel dans les autres cas.
Équations non linéaires	Représenter graphiquement une équation de la forme $f(x) = g(x)$. Interpréter graphiquement la ou les solutions. Dans le cas général, résoudre à l'aide d'un outil numérique ou de calcul formel.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
2. Équations différentielles	
Equations différentielles linéaires à coefficients constants	Identifier l'ordre. Mettre l'équation sous forme canonique.
Équations différentielles linéaires du premier ordre à coefficients constants : $y' + ay = f(x)$	Trouver la solution générale de l'équation sans second membre (équation homogène). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \cos(\omega x + \varphi)$ (en utilisant la notation complexe).
Équations différentielles linéaires du deuxième ordre à coefficients constants : $y'' + ay' + by = f(x)$	Utiliser l'équation caractéristique pour trouver la solution générale de l'équation sans second membre. Prévoir le caractère borné ou non de ses solutions (critère de stabilité). Trouver l'expression des solutions lorsque $f(x)$ est constante ou de la forme $A \cdot \exp(\lambda x)$ avec λ complexe. Trouver la solution de l'équation complète correspondant à des conditions initiales données. Représenter graphiquement cette solution.
Autres équations différentielles d'ordre 1 ou 2.	Intégrer numériquement avec un outil fourni. Obtenir une intégrale première d'une équation de Newton $x'' = f(x)$ et l'exploiter graphiquement. Séparer les variables d'une équation du premier ordre à variables séparables. Faire le lien entre les conditions initiales et le graphe de la solution correspondante.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
3. Fonctions	
Fonctions usuelles.	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, puissance réelle ($x \rightarrow x^a$), Cosinus hyperbolique et sinus hyperbolique (ces fonctions hyperboliques, non traitées dans le cours de mathématiques, sont introduites par le professeur de physique).
Dérivée. Notation dx/dt. Développements limités.	Utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement. Connaître et utiliser les développements limités à l'ordre 1 des fonctions $(1+x)^\alpha$, e^x et $\ln(1+x)$, et à l'ordre 2 des fonctions $\cos(x)$ et $\sin(x)$.
Primitive et intégrale. Valeur moyenne.	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales, en lien avec la méthode des rectangles en mathématiques. Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale. Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 .
Représentation graphique d'une fonction.	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation $y = f(x)$ donnée. Déterminer un comportement asymptotique ; rechercher un extremum local. Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance à une droite en échelle log-log.
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique.	Utiliser un développement en série de Fourier fourni par un formulaire (cette capacité est développée par le professeur de physique, la notion de série de Fourier n'étant pas abordée dans le cours de mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
4. Géométrie	
Vecteurs et système de coordonnées.	Exprimer les coordonnées d'un vecteur dans une base orthonormée d'un espace de dimension inférieure ou égale à 3. Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.
Projection d'un vecteur et produit scalaire.	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée. Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire.
Produit vectoriel.	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe. Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel. Faire le lien avec l'orientation des trièdres.

Transformations géométriques.	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations de l'espace. Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace. Les translations sont présentées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
Courbes planes. Courbes planes paramétrées.	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse, d'une branche d'hyperbole, d'une parabole (concernant les coniques, cette capacité est développée par le professeur de physique, l'étude des coniques n'étant pas traitée en mathématiques). Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ($x = a.\cos(\omega t)$, $y = b.\cos(\omega t - \varphi)$) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$. Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r = f(\theta)$.
Longueurs, aires et volumes classiques.	Connaître les expressions du périmètre d'un cercle, de l'aire d'un disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre.
Barycentre d'un système de points.	Connaître la définition du barycentre. Utiliser son associativité. Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène. (cette capacité sera développée par le professeur de physique, l'étude du barycentre n'étant pas traitée en mathématiques).

Outils mathématiques	Capacités exigibles
5. Trigonométrie	
Angle orienté.	Définir une convention d'orientation des angles d'un plan (euclidien) et lire des angles orientés. Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles d'un plan perpendiculaire à cet axe.
Fonctions cosinus, sinus et tangente.	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels. Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.

Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes.	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe.
---	---



Annexe 3

Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Physique, technologie et sciences de l'ingénieur (PTSI) – Physique et technologie (PT)**

Discipline : **Sciences industrielles de l'ingénieur**

Première et seconde années

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE PT-SI-PT

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur dans la filière PT-SI-PT s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

1. OBJECTIFS DE FORMATION

1.1. Finalités

Les prochaines décennies verront nos sociétés économiquement avancées contraintes de faire face à de nouveaux enjeux dans de nombreux domaines concernant les grands équilibres mondiaux. La demande d'une population mondiale en constante progression pèse sur l'accès à l'énergie, l'eau, l'alimentation, la formation, l'information, l'éducation et la santé. Par ailleurs, la mondialisation des échanges qui a un fort effet diffusant des savoirs-faire et des technologies, impose un effort de compétitivité qui permette au monde de la production et des services de rechercher sans cesse de nouvelles réalisations. Il en résulte la constante nécessité d'innover avec des cycles de développement de plus en plus courts et donc, de s'appuyer sur toutes les forces créatrices en sciences et technologies. Tel est notamment le défi imposé à notre pays, dont la matière première dans ce contexte est celle de l'intelligence, de la créativité et de la capacité d'innovation de ses ingénieurs et de ses chercheurs.

Tous ces défis sont d'autant plus cruciaux qu'ils devront être relevés dans un contexte de développement durable préservant les ressources naturelles non renouvelables et privilégiant un développement équilibré des ressources naturelles renouvelables.

Dans ce contexte, la formation des ingénieurs et des chercheurs devient un enjeu crucial de compétitivité pour notre pays. La filière PT-SI / PT, maillon du continuum de formation Classes Préparatoires aux Grandes Écoles / Grandes Écoles, s'adresse aux étudiants désireux d'acquérir une solide formation scientifique et humaine pour devenir, en cinq ans des ingénieurs et des chercheurs créatifs, pragmatiques et polyvalents capables de piloter des projets innovants au service des enjeux sociétaux.

Au cœur de la filière PT-SI / PT et associées aux disciplines scientifiques et humanistes, les sciences industrielles de l'ingénieur permettent aux étudiants d'acquérir et développer les compétences requises pour s'intégrer dans ce continuum de formation où le haut niveau scientifique et technique est au service de l'apprentissage d'un « vouloir et savoir entreprendre » pour maîtriser la conception et la réalisation d'objets technologiques et services complexes. Les étudiants doivent mobiliser toutes ces compétences en respectant les étapes de raisonnement de l'ingénieur reposant sur les démarches d'investigation, de résolution de problèmes et de projet.

Les études de systèmes industriels traitées relèvent des grands domaines comme l'énergie, l'agroalimentaire, la santé, les bâtiments et travaux publics, l'information et la communication, la production de biens et de services ou les transports.

1.2. Objectifs généraux

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur, dans la filière PTSI / PT, a pour objectif d'aborder et consolider l'apprentissage des démarches de création, d'innovation, d'anticipation, de conception, de réalisation et d'intégration qui permettent, de maîtriser une partie du cycle de vie du produit allant du cahier des charges (performances souhaitées par le commanditaire) jusqu'à la matérialisation du produit sous forme de maquette ou de prototype.

La conception et la modélisation des solutions, permettant de simuler tout ou partie du fonctionnement du produit et la réalisation d'un prototype permettant de mesurer expérimentalement les performances du produit constituent deux phases intermédiaires majeures du cycle de vie, nécessaires pour valider les choix d'architecture technique.

L'apprentissage de ces démarches amène l'étudiant à :

- prévoir les performances attendues de systèmes ou sous-systèmes à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances simulées et les performances attendues imposées par le cahier des charges ;
- vérifier les performances attendues de systèmes ou sous-systèmes, par l'évaluation de l'écart entre le cahier des charges et les réponses expérimentales ;
- proposer des modélisations de systèmes ou sous-systèmes à partir d'essais d'identification et de modèles de comportement ou de connaissance, et valider ces modèles par l'évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances simulées ;
- concevoir tout ou une partie d'un système en intégrant le champ de contraintes induit par la gestion du cycle de vie du produit dans le cadre du développement durable. L'innovation et la créativité sont également des marqueurs forts de la démarche de conception ;
- intégrer les procédés de réalisation dans la démarche globale de création d'un produit.

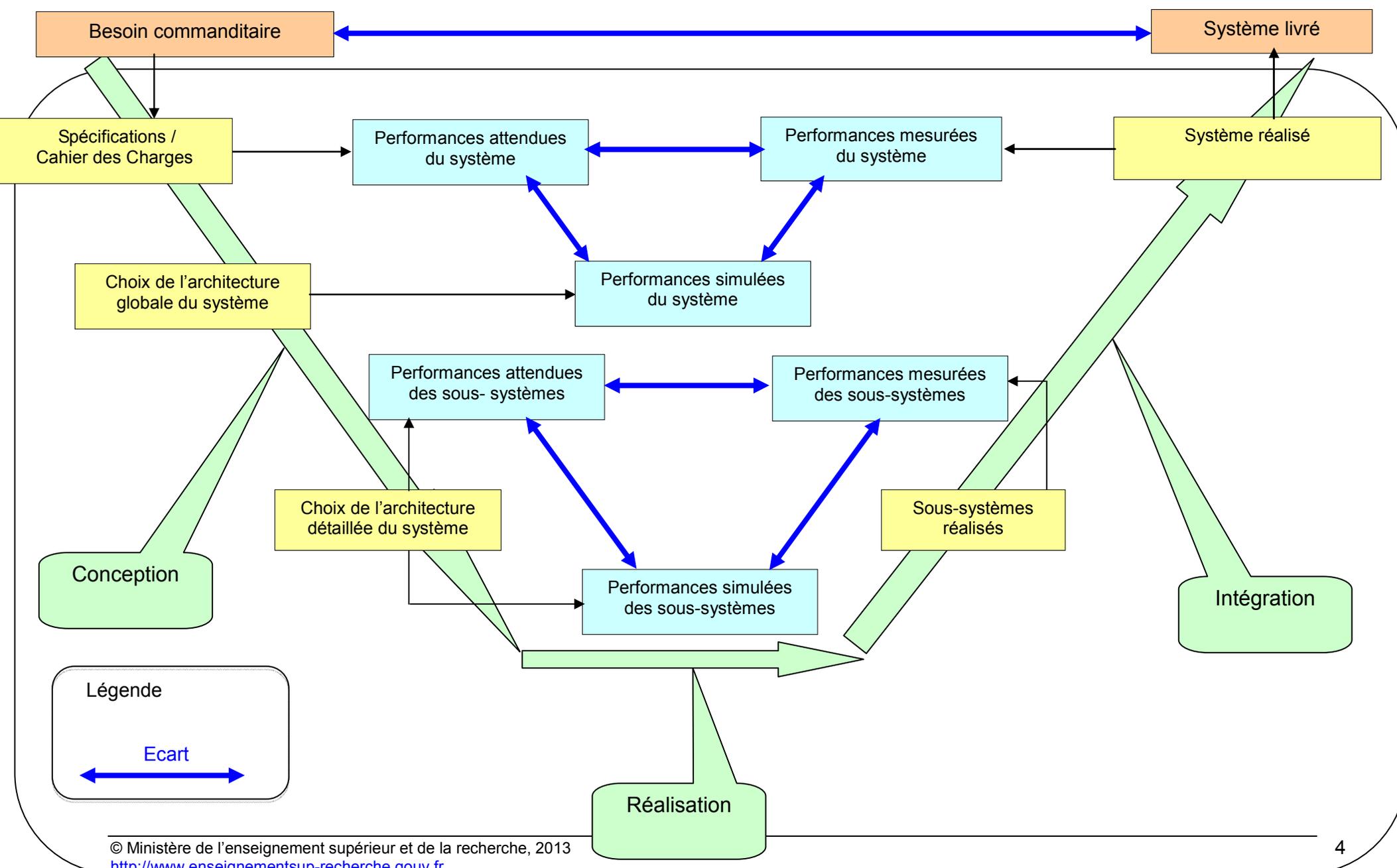
L'observation, la caractérisation et la quantification de ces écarts confrontent les étudiants de la filière PTSI / PT à une approche multi-échelles indispensable à la maîtrise de la démarche de conception / expérimentation / validation de produits industriels et services industriels pluri-technologiques. L'étudiant de la filière PTSI / PT doit d'abord s'appuyer sur le système réel pour appréhender le modèle selon l'échelle d'analyse choisie et ceci dans le but indispensable de rétroagir sur le réel.

L'identification et l'analyse des écarts présentés mobilisent des compétences transversales, qui sont développées en particulier en mathématiques et en sciences physiques. Les sciences industrielles de l'ingénieur constituent ainsi un vecteur de coopération interdisciplinaire et participent à la poursuite d'études dans l'enseignement supérieur.

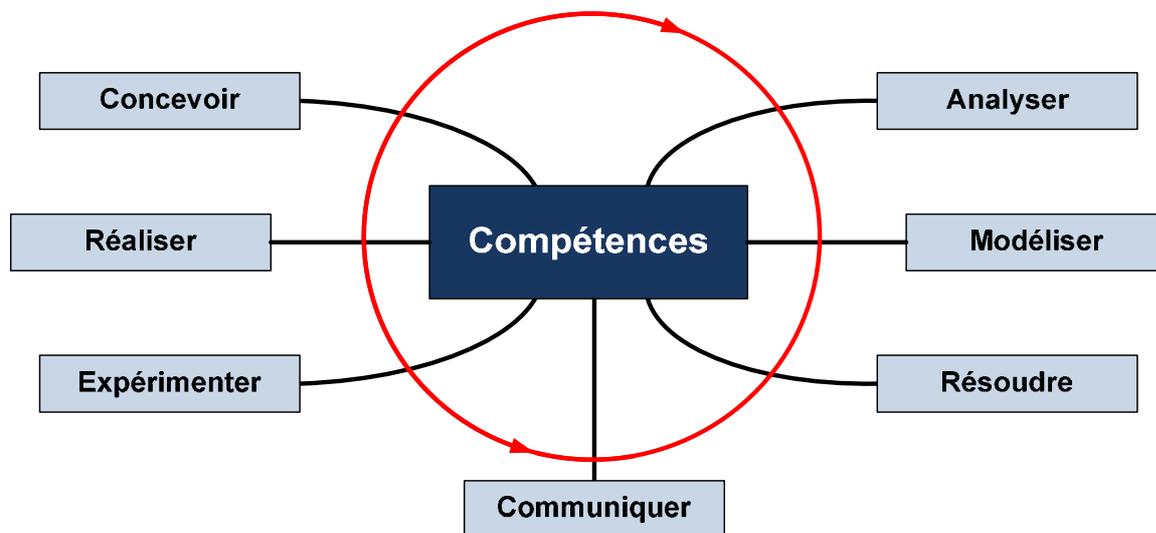
Les sciences industrielles de l'ingénieur développent des démarches pour analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes pluri-technologiques. Les compétences acquises sont ainsi transposables à l'ensemble des domaines scientifiques et technologiques, et permettent d'appréhender des situations inédites.

Les technologies de l'information et de la communication sont systématiquement mises en œuvre dans l'enseignement. Elles accompagnent toutes les activités proposées.

Toutes ces activités, individuelles et en équipe, s'inscrivent naturellement dans le contexte collaboratif d'un environnement numérique de travail (ENT).



L'enseignement des Sciences Industrielles de l'Ingénieur a pour objectif de développer les compétences présentées ci-dessous :



1.3. Usage de la liberté pédagogique

Les finalités et objectifs généraux de la formation en sciences industrielles de l'ingénieur laissent à l'enseignant une latitude certaine dans le choix de l'organisation de son enseignement, de ses méthodes, de sa progression globale, mais aussi dans la sélection de ses problématiques ou ses relations avec ses élèves, qui met fondamentalement en exergue sa liberté pédagogique, suffisamment essentielle pour lui être reconnue par la loi. La liberté pédagogique de l'enseignant peut être considérée comme le pendant de la liberté d'investigation de l'ingénieur et du scientifique.

Globalement dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur peut organiser son enseignement en respectant deux principes :

- pédagogue, il doit privilégier la mise en activités d'étudiants en évitant le dogmatisme ; l'acquisition de connaissances et de savoir-faire sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La détermination des problématiques et des systèmes, alliée à un temps approprié d'échanges, favorise cette mise en activité ;
- didacticien, il doit recourir à la mise en contexte des connaissances, des savoir-faire et des systèmes étudiés : les sciences industrielles de l'ingénieur et les problématiques qu'elles induisent se prêtent de façon privilégiée à une mise en perspective de leur enseignement avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées ; l'enseignant de sciences industrielles de l'ingénieur est ainsi conduit naturellement à mettre son enseignement « en culture » pour rendre la démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

2. PROGRAMME

L'organisation et les attendus du programme sont directement inspirés de la démarche de projet de l'ingénieur. Le séquençage, proposé ci-après, n'a en aucune manière pour objet d'imposer une chronologie dans l'étude du programme. Celui-ci est réparti en 4 semestres. Il sera fait appel, chaque fois que nécessaire, à une étude documentaire destinée à analyser et à traiter l'information relative à la problématique choisie.

A – Analyser

- A1 - Identifier le besoin et définir les exigences du système
- A2 - Définir les frontières de l'analyse
- A3 - Conduire l'analyse

B – Modéliser

- B1 - Justifier ou choisir les grandeurs nécessaires à la modélisation
- B2 - Proposer un modèle
- B3 - Valider un modèle

C – Résoudre

D – Expérimenter

- D1 - Découvrir le fonctionnement d'un système complexe
- D2 - Justifier et/ou proposer un protocole expérimental
- D3 - Mettre en œuvre un protocole expérimental et vérifier sa validité

E – Concevoir

- E1 - Imaginer des architectures et des solutions technologiques
- E2 - Choisir une solution technique
- E3 - Dimensionner une solution technique

F – Réaliser

G – Communiquer

- G1 - Élaborer, rechercher et traiter des informations
- G2 - Mettre en œuvre une communication

Lorsque les connaissances et le(s) savoir-faire associé(s) sont positionnés au semestre Si, cela signifie :

- qu'ils doivent être acquis en fin de semestre Si ;
- qu'ils peuvent être utilisés aux semestres suivants ;
- qu'ils ont pu être introduits au cours des semestres précédents.

A – Analyser

A1 - Identifier le besoin et définir les exigences du système

À partir d'un système et/ou de sa documentation technique, l'étudiant doit être capable de décrire le besoin et les exigences auxquels le système doit répondre.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Définitions normalisées <ul style="list-style-type: none"> Besoin, système, services attendus du système, cahier des charges fonctionnel, spécifications fonctionnelles, analyse du cycle de vie, acteurs, interactions, solution technique. 	<ul style="list-style-type: none"> Décomposer une exigence en plusieurs exigences unitaires ; Identifier des exigences de niveaux différents. 	S1	
<p><i>Commentaires</i> On ne demande pas à l'étudiant de faire une analyse fonctionnelle à partir du besoin commanditaire mais d'être capable de lire les différents documents issus d'une analyse fonctionnelle. Le diagramme des exigences de SysML qui permet de représenter graphiquement les spécifications dans le modèle est particulièrement adapté dans ce cas.</p>			

A2 - Définir les frontières de l'analyse

À partir d'un système et/ou de sa documentation technique, l'étudiant doit être capable de définir la frontière du système et ses interactions avec les acteurs.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Description générale du système <ul style="list-style-type: none"> Frontière d'étude, fonction globale et performance, cas d'utilisation, acteurs (humain ou systèmes connectés), interactions fonctionnelles, relations entre cas d'utilisation ; Diagramme des cas d'utilisation de sysML ; Diagramme de séquence de sysML. 	<ul style="list-style-type: none"> Définir la frontière d'étude ; Identifier les interactions entre les acteurs et le système étudié. 	S1	
<p><i>Commentaires</i> On privilégiera l'utilisation des diagrammes sysML en lecture. La connaissance de la syntaxe du langage sysML ne peut être exigée. Pour montrer les interactions entre les acteurs et le système étudié, le diagramme des cas d'utilisation est particulièrement adapté. On utilisera le diagramme de séquence pour modéliser la chronologie des interactions entre les éléments du système ou entre le système et l'extérieur.</p>			

A3 - Conduire l'analyse

À partir d'un système et/ou de sa documentation technique, l'étudiant doit être capable de :

- définir la structure d'un système ;
- qualifier le comportement.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Architecture générale d'un produit <ul style="list-style-type: none"> • Analyse structurelle et comportementale ; • Chaîne d'information, chaîne d'énergie. 	Analyser un système d'un point de vue structurel et comportemental.	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Les chaînes d'information et d'énergie peuvent être décrites par des diagrammes sysML.</i>			
Analyse d'architecture et de comportement <ul style="list-style-type: none"> • Élément structurel, décomposition d'un ensemble en systèmes, sous systèmes, composants, logique de connexion, interaction entre deux parties ; • Comportement du système : machine d'état, transition, états, actions, activité, évènement, conditions, état initial, état final ; • Flux de données, contrôle entre les actions. 	<ul style="list-style-type: none"> - Situer le système dans son environnement en phase d'usage ; - Définir les phases principales de vie du système ; - Décomposer un système en sous systèmes, composants ; - Décrire la structure interne du système en termes de parties, ports et connecteurs ; - Identifier les fonctions; - Identifier les composants associés. 	S2	
<i>Commentaires</i> <i>L'outil sysML est privilégié pour la décomposition structurelle en sous-ensembles fonctionnels et l'analyse du comportement du système.</i>			
Association de pré actionneurs et d'actionneurs <ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques ; • Domaines d'application. 	Analyser une association de pré actionneurs et d'actionneurs.		S3
<i>Commentaires</i> <i>À étudier par exemple pour les solutions techniques d'association machines + convertisseurs et distributeur + vérin/moteur.</i>			
Transmetteurs de puissance <ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques ; • Domaines d'application. 	Analyser une solution de transmission de puissance	S2	
<i>Commentaires</i> <i>À étudier principalement pour les mécanismes de transformation et/ou transmission de mouvement.</i>			

Commandes programmables <ul style="list-style-type: none"> • Fonctions ; • Composants programmables. 	Identifier les caractéristiques de la commande, E/S analogiques, numériques.		S3
Description fonctionnelle des systèmes de traitement de l'information Architecture générale de la chaîne d'information.	Identifier et décrire les composants associés au traitement de l'information.		S3
Information <ul style="list-style-type: none"> • Définition et nature, information et support d'information ; • Information discrète (TOR et numérique), codage ; • Information analogique. 	Identifier la nature et le support d'information.		S3
Capteurs <ul style="list-style-type: none"> • Fonctions ; • Nature des grandeurs physiques d'entrées et de sorties ; • Nature du signal, support de l'information. 	Caractériser un capteur (grandeur physique observée et utilisable, transducteur).		S3
Commentaires À étudier pour une ou plusieurs solutions techniques relatives aux : <ul style="list-style-type: none"> - position, déplacement, vitesse et accélération ; - efforts et pressions ; - débits et températures. 			

<p>Structure des systèmes asservis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Définition et structure d'un système asservi : chaîne directe (ou chaîne d'action), chaîne de retour (ou chaîne d'acquisition), comparateur et écart ; • Consigne, perturbation ; • Régulation, poursuite ; • Définition des performances : rapidité, précision et stabilité. 	<p>Justifier la nécessité d'un asservissement (analyse du couple performances / perturbations).</p>	<p>S2</p>	
<p>Matériaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Classes des matériaux, domaines généraux d'application ; • Propriétés physiques (métallurgique, magnétique, électrique, mécanique, thermique, acoustique). 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux ; - Justifier le choix d'un matériau en fonction de ses caractéristiques. 	<p>S3</p>	
<p><i>Commentaires</i> <i>Pour les propriétés électriques des matériaux on se reportera au cours de physique.</i> <i>Pour les propriétés mécaniques (issues des essais de traction, dureté, résilience, fatigue), on se limitera aux propriétés :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - liées au procédé (usinabilité, moulabilité, soudabilité, ductilité) ; - tribologiques : coefficient de frottement et propriétés de comportement des contacts entre couples de matériaux ; <p><i>La connaissance des désignations normalisées ne peut-être exigée qu'à partir de ressources fournies.</i></p>			
<p>Spécifications géométriques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les principes, les exigences (enveloppe et maxi matière) ; • Spécifications géométriques des produits ; • Tolérancement dimensionnel et géométrique ; • Références spécifiés et système de références. 	<ul style="list-style-type: none"> - Décoder les spécifications géométriques ; - Justifier le caractère fonctionnel de la spécification. 	<p>S2</p>	
<p><i>Commentaires</i> <i>Les définitions sont décrites par les normes ISO en vigueur.</i> <i>La démarche sera celle du GPS.</i></p>			

B – Modéliser

B1 - Justifier ou choisir les grandeurs nécessaires à la modélisation

Un système étant fourni, et les exigences définies, l'étudiant doit être capable de :

- définir la frontière de tout ou partie d'un système et répertorier les interactions ;
- identifier et choisir les grandeurs et les paramètres influents en vue de modéliser.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Isolement d'un solide ou d'un système de solides <ul style="list-style-type: none">• Approche mécanique ;• Approche énergétique.	<ul style="list-style-type: none">- Identifier les paramètres cinématiques d'entrée et de sortie d'une chaîne cinématique de transformation de mouvement ;- Réaliser l'inventaire des actions mécaniques agissant sur un solide ou un système de solides ;- Identifier les puissances extérieures à un solide ou à un système de solides ;- Identifier les puissances intérieures à un système de solides.	S2	
<i>Commentaire</i> <i>Pour l'approche énergétique, l'objectif se limite à identifier la qualité (interne ou externe) et la nature des énergies échangées ou converties.</i>			

B2 - Proposer un modèle

Un système étant fourni, et les exigences définies, l'étudiant doit être capable de :

- définir les hypothèses retenues pour la proposition d'un modèle ;
- proposer un modèle de connaissance du système ou partie du système à partir des lois physiques ;
- proposer un modèle de comportement du système ou partie du système à partir des résultats expérimentaux.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Systèmes linéaires continus et invariants <ul style="list-style-type: none"> • Modélisation par équations différentielles ; • Représentation par fonction de transfert (formalisme de Laplace) ; • Modèles canoniques 1^{er} et 2^{ème} ordre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier le comportement d'un système pour l'assimiler à un modèle canonique, à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle ; - Établir un modèle de comportement à partir de relevés expérimentaux. 	S1	
<i>Commentaire</i> <i>On pourra étudier les systèmes du premier ordre présentant un retard pur.</i>			
Systèmes linéaires discrets <ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation des signaux à temps discret ; • Modélisation par équations aux différences ; • Modélisation de l'intégrateur par une somme discrète. 	Déterminer la période d'échantillonnage.		S3
<i>Commentaires</i> <i>On s'attachera à mettre en évidence les limites du modèle linéaire continu vis-à-vis de l'augmentation de la période de l'échantillonnage.</i> <i>La transformée en z n'est pas au programme.</i>			
Systèmes linéaires continus invariants asservis <ul style="list-style-type: none"> • Représentation par schéma-bloc ; • Fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée ; • Classe d'un système. 	<ul style="list-style-type: none"> - Établir le schéma-bloc du système ; - Déterminer les fonctions de transfert du système en boucle ouverte et en boucle fermée. 	S1	
Systèmes à événements discrets <ul style="list-style-type: none"> • Modélisation des systèmes à événements discrets (fonctions logiques, tables de vérité, algorigrammes, graphe d'état); • Modèles algorithmiques : structures algorithmiques élémentaires (boucles, conditions, transitions conditionnelles) ; • Variables. 	Traduire le comportement d'un système à événement discret.	S2	
<i>Commentaires</i> <i>On utilisera le diagramme d'états et le diagramme de séquences de SysML.</i> <i>La mise en œuvre de systèmes n'exclut pas l'utilisation de descripteurs spécifiques imposés par leur environnement.</i> <i>La simplification des équations logiques n'est pas au programme.</i>			

<p>Modélisation des sources et des circuits électriques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modèle des sources parfaites continues et alternatives (générateur de tension ou de courant) ; • Modèles de sources réelles par association de dipôles parfaits ; • Modélisation des circuits électriques par les lois de l'électrocinétique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser les modèles élémentaires pour modéliser les sources réelles ; - Choisir le modèle de source approprié aux conditions de variation des grandeurs physiques. 	S2	
<p>Modélisation des convertisseurs statiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Règles d'association des sources électriques ; • Modèles des interrupteurs ; • Association des interrupteurs : cellule élémentaire de commutation ; • Caractéristiques des convertisseurs : <ul style="list-style-type: none"> - nature des grandeurs d'entrée-sortie, - réversibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Associer des sources directement ou par des cellules de commutation ; - Choisir la nature des interrupteurs de la cellule de commutation. 	S2	
<p><i>Commentaires</i> On se limitera à l'étude :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>fonctionnelle des interrupteurs deux ou trois segments ;</i> - <i>structurelle des convertisseurs à deux ou trois cellules de commutation (hacheurs et onduleurs).</i> 			

<p>Modélisation d'une chaîne de conversion électromécanique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modèle de connaissance électromécanique de la machine à courant continu ; • Modèle de comportement de la machine à courant continu (premier ordre électrique et premier ordre mécanique) ; • Modèle statique de la machine synchrone : schéma monophasé (FEM induite, réactance synchrone et résistance) ; • Modèle statique de la machine asynchrone : schéma monophasé équivalent (inductance magnétisante en parallèle avec la résistance et l'inductance de fuite du rotor) ; • Variation de vitesse des machines en couple ou en vitesse ; • Intégration du convertisseur, de la machine associée et de sa charge dans un système linéaire bouclé ; • Bilan des puissances de la chaîne de transformation de l'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caractériser le comportement de l'association convertisseur, machine et charge associée en vue de caractériser la réversibilité de la chaîne d'énergie ; - Identifier les quadrants de fonctionnement d'une chaîne d'énergie. 		S3
<p><i>Commentaires</i> On ne traitera pas de la physique de la machine. Les modèles des machines alternatives seront fournis. Le comportement des machines alternatives sera étudié en alimentation en fréquence fixe (ou lentement variable) utilisant les modèles linéaires continus statiques. Seule la commande scalaire sera étudiée (commande en « U/f » et en courant).</p>			
<p>Transmission de données</p> <ul style="list-style-type: none"> • Approche fonctionnelle des réseaux de communication, cas du TCP/IP ; • Paramètres de configuration d'un réseau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caractériser un réseau (débit, robustesse, dimension, topologie) ; - Choisir un type de réseau à partir des exigences ; - Paramétrer la liaison d'un équipement raccordé à un réseau. 	S2	
<p><i>Commentaires</i> L'étude des réseaux est appliquée à des exemples simples et réels, I²C, CAN, Ethernet.</p>			

Modèles de solide <ul style="list-style-type: none"> • Modèle de solide indéformable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Associer le modèle du solide indéformable au comportement cinématique d'un solide ; - Réaliser la maquette numérique d'un solide à l'aide d'un modèleur volumique 3D. 	S1	
<ul style="list-style-type: none"> • Modèle tolérancé. 	Définir les éléments de cotation permettant de qualifier un solide du point de vue dimensionnel et géométrique par rapport à une fonction définie.	S2	
Commentaires <i>On se limite au tolérancement dimensionnel et géométrique en rapport avec une fonction d'assemblage.</i> <i>On ne chiffre pas la valeur du tolérancement.</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques d'inertie d'un solide indéformable (masse, opérateur d'inertie). 	<ul style="list-style-type: none"> - Connaître la forme de la matrice d'inertie d'un solide et ses particularités et simplifications en fonction de la forme d'un solide ; - Utiliser un modèleur volumique 3D pour déterminer la masse et les termes de la matrice d'inertie d'un solide ; - Interpréter la signification des termes de la matrice d'inertie ; 	S3	
<i>Le calcul des termes non nuls sera limité aux cas simples.</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • Solide déformable localement en surface. 	<ul style="list-style-type: none"> - Associer le modèle du solide déformable localement en surface au comportement de solides en contact ; - Utiliser le modèle de Hertz (fourni) pour déterminer les déplacements et les pressions dans les contacts linéiques ou ponctuels ; 	S3	
<ul style="list-style-type: none"> • Solide déformable globalement en petites déformations (modèle poutre droite) : <ul style="list-style-type: none"> - Hypothèses de comportement (isotropie, homogénéité) ; - Loi de déformation élastique linéaire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Associer le modèle poutre du solide déformable globalement en petites déformations à la géométrie et au comportement d'un solide ; - Connaître la signification et des ordres de grandeur du module d'Young, coefficient de Poisson des matériaux courants. 	S3	

<p>Modélisation géométrique et cinématique des mouvements entre solides indéformables</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des points d'un solide : repère lié à un solide, paramètres géométriques linéaires et angulaires définissant la position d'un solide par rapport à un autre, déplacements et petits déplacements d'un solide, torseur des petits déplacements. 	<ul style="list-style-type: none"> - Associer un repère à un solide ; - Identifier les degrés de liberté d'un solide en mouvement par rapport à un repère ; - Réaliser le paramétrage d'un mécanisme simple ; - Prendre en compte les symétries ou les restrictions de mouvement pour simplifier les modèles. 	S1	
<ul style="list-style-type: none"> • Champ des vecteurs vitesses des points d'un solide ; • Torseur cinématique caractérisant le mouvement d'un solide ; • Composition des vitesses ; • Champ des vecteurs accélérations des points d'un solide ; • Composition des accélérations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer la trajectoire d'un point d'un solide ; - Écrire le vecteur position, vitesse d'un point d'un solide, dans les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques, sphériques ; - Écrire le torseur cinématique caractérisant le mouvement d'un solide ; - Écrire le vecteur accélération d'un point d'un solide. 	S1	
<p><i>On étudiera les mouvements particuliers suivants : rotation autour d'un axe fixe, translation, hélicoïdal, mouvement plan sur plan.</i></p>			
<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation cinématique des liaisons entre solides : <ul style="list-style-type: none"> - liaisons parfaites normalisées, - degré de liberté, - liaisons réelles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier la nature du contact entre deux solides ; - Identifier, dans le cas du contact ponctuel, le vecteur vitesse de glissement ainsi que les vecteurs rotation de roulement et de pivotement ; - Associer un modèle de liaison au comportement cinématique d'une liaison réelle. 	S1	
<p>Modélisation géométrique du déplacement des points d'un solide déformable</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hypothèse de Navier Bernoulli ; • Hypothèse des petits déplacements : torseur des petits déplacements d'une section droite ; • Torseur des déformations. 	<p>Écrire le torseur des petits déplacements et le torseur des déformations au centre d'inertie d'une section droite.</p>	S3	
<p><i>Commentaires</i> <i>On utilisera le modèle poutre.</i></p>			

<p>Modèle cinématique d'un mécanisme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liaison cinématiquement équivalente ; • Mobilité d'une chaîne ouverte ; • Hyperstatisme et mobilité d'une chaîne fermée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Élaborer un graphe de liaisons ; - Élaborer un schéma cinématique plan ou 3D d'un mécanisme (réel, maquette numérique, plan d'ensemble, etc.) ; - Déterminer la liaison cinématiquement équivalente à une association de liaisons ; - Déterminer les mobilités d'un mécanisme ; - Déterminer le degré d'hyperstaticité d'un mécanisme ; - Identifier les conséquences géométriques de l'hyperstaticité. 	S2	
<p>Modélisation des actions mécaniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modèle local (densité surfacique, linéique et volumique d'effort) : <ul style="list-style-type: none"> - contact parfait ; - modélisation du frottement sec - Lois de Coulomb ; - modélisation de résistance au roulement ; - modélisation de résistance au pivotement ; • Modèle global (torseur d'action mécanique) ; • Modèle global du frottement visqueux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Associer un modèle à une action mécanique ; - Écrire la relation entre le modèle local et le modèle global associé aux actions mécaniques dans les cas suivants : action d'un fluide, action entre solides (liaisons avec et sans frottement) ; - Écrire le modèle global de l'action de la pesanteur, du frottement fluide, de la résistance au roulement et du pivotement ; - Associer un modèle global d'effort au comportement d'une liaison réelle ; 	S2	
<ul style="list-style-type: none"> • Principe fondamental de la statique. 	<p>Appliquer le principe fondamental de la statique à un solide ou un système de solides.</p>	S2	
<p><i>Commentaires</i> Le PFS peut être présenté comme un cas particulier du PFD.</p>			

<p>Modélisation des actions intérieures à un solide (torseur de cohésion) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Équations d'équilibre global et local ; • Modélisation du champ de contraintes locales ; • Champ des contraintes dans une section droite ; • Hypothèse de Barré-de Venant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer le torseur de cohésion dans un solide ; - Identifier les sollicitations (traction, compression, flexion, torsion, cisaillement) ; - Identifier la nature des contraintes (normale et tangentielle) en un point de la section droite. 		S3
<p>Modélisation dynamique des solides</p> <ul style="list-style-type: none"> • Torseur cinétique et torseur dynamique d'un système de solides en mouvement par rapport à un repère ; • Énergie cinétique d'un système de solides par rapport à un repère ; • Puissance des actions mécaniques extérieures à un système de solides en mouvement par rapport à un repère ; • Puissance des actions mécaniques intérieures à un système de solides. 	<ul style="list-style-type: none"> - Écrire les torseurs cinétique et dynamique d'un système de solides en mouvement par rapport à un repère ; - Exprimer l'énergie cinétique d'un système de solides dans un repère; - Exprimer la puissance des actions mécaniques extérieures à un système de solides par rapport à un repère ; - Exprimer la puissance des actions mécaniques intérieures à un système de solides. 		S3
<ul style="list-style-type: none"> • Principe fondamental de la dynamique dans un référentiel galiléen ; • Théorème de l'énergie-puissance dans un référentiel galiléen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Appliquer le principe fondamental de la dynamique à un système de solides ; - Appliquer le théorème de l'énergie-puissance à un système de solides. 		S3
<p>Représentation causale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable d'état ; • Relation de transformation (équations différentielles) ; • Accumulateur d'énergie cinétique, accumulateur d'énergie potentielle ; • Dissipateur d'énergie ; • Modulateur, gyrateur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les flux d'énergie qui transitent dans un système ; - Écrire un schéma bloc du système. 		S3
<p><i>Commentaires</i> <i>Cette démarche a pour but d'écrire un schéma bloc et d'illustrer le transfert d'énergie. Par exemple, on pourra s'appuyer sur un graphe informationnel causal pour identifier les flux d'énergie qui transitent dans un système.</i></p>			

<p>Systèmes non linéaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modèle de non linéarité (hystérésis, saturation, seuil, retard) ; • Linéarisation du comportement des systèmes non linéaires continus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les non linéarités ; - Identifier le point de fonctionnement pour la linéarisation du modèle du système non linéaire. 		S3
<p><i>Commentaires</i> On cherchera à montrer les limites du modèle linéaire.</p>			
<p>Modélisation des systèmes asservis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stabilité : <ul style="list-style-type: none"> - définition, nature de l'instabilité (apériodique, oscillatoire), - contraintes technologiques engendrées, - interprétation dans le plan des pôles, - critère du revers, - marges de stabilité, - dépassement. 	<p>Caractériser la stabilité (marges de stabilité).</p>		S4
<p><i>Commentaires</i> L'étude des fonctions de transfert en boucle ouverte à pôles à partie réelle strictement positive est exclue du programme.</p>			
<ul style="list-style-type: none"> • Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle ; • Performances et réglages ; • Précision d'un système asservi en régime permanent pour une entrée en échelon, une entrée en rampe, une entrée en accélération ; • Rapidité d'un système asservi : <ul style="list-style-type: none"> - temps de réponse, - bande passante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justifier une simplification du modèle ; - Déterminer l'influence du gain et de la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte sur la précision et la rapidité ; 		S4
<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des performances d'un système asservi ; <ul style="list-style-type: none"> - critères graphiques de stabilité dans les plans de Black, Bode, marges de stabilité ; - influence et réglage d'une correction proportionnelle, intégrale, dérivée ; - prise en compte d'une perturbation constante, créneau ou sinusoïdale. 	<p>Mener une démarche de réglage d'un correcteur pour obtenir les performances attendues.</p>		S4
<p><i>Commentaires</i> Le réglage complet d'une correction P.I.D. ne peut être exigé.</p>			

On pourra décrire les correcteurs à avance et à retard de phase.

B3 – Valider un modèle

Définir le domaine de validité d'un modèle

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Systemes asservis <ul style="list-style-type: none"> Point de fonctionnement ; Non-linéarités (hystérésis, saturation, seuil...). 	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les résultats d'expérimentation ou/et de simulation.		S3
<i>Commentaires</i> Les approximations faites, leur cohérence et le domaine de validité sont précisés par rapport aux objectifs.			
<ul style="list-style-type: none"> Grandeurs influentes d'un modèle. 	Déterminer les grandeurs influentes, modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats simulés et les réponses mesurées.		S4

C - Résoudre

À partir des modèles retenus :

- choisir une méthode de résolution analytique, graphique, numérique ;
- mettre en œuvre une méthode de résolution.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Loi entrée sortie géométrique et cinématique <ul style="list-style-type: none"> Fermeture géométrique ; Fermeture cinématique. 	<ul style="list-style-type: none"> Choisir un modèle et une méthode de résolution ; Déterminer graphiquement le champ des vecteurs vitesses des points d'un solide dans le cas de mouvements plan sur plan ; Déterminer une loi entrée sortie. 	S1	
Actions mécaniques dans les liaisons, équations de mouvement <ul style="list-style-type: none"> Théorème des actions réciproques ; Hyperstatisme. 	<ul style="list-style-type: none"> Choisir un modèle et une méthode de résolution (choix des isollements et théorèmes appliqués) ; Déterminer les actions mécaniques désirées ; Écrire l'équation différentielle du mouvement ; 		S3
<i>Commentaires</i> On étudiera les cas particuliers suivants : <ul style="list-style-type: none"> - solide soumis à deux glisseurs et à trois glisseurs (résolution graphique) ; - condition d'arc-boutement, disposition de deux contacts autobloquants ; - méthodes de résolution des problèmes (graphique, analytique avec ou sans outil informatique). 			

<i>L'ordre des systèmes hyperstatiques est limité à 1.</i>			
Contraintes			
<ul style="list-style-type: none"> Relations entre contraintes et composantes du tenseur de cohésion. 	Déterminer les contraintes dans une section droite à partir des composantes du tenseur de cohésion.		S3
<ul style="list-style-type: none"> Déplacements des points de la ligne moyenne d'une poutre : <ul style="list-style-type: none"> - Théorème de superposition, - Lois de comportement. 	Déterminer les déplacements le long de la ligne moyenne à partir des déformations.		S3
<i>Contraintes</i> <i>L'étude des déformées est limitée aux cas simples : traction simple, torsion des poutres cylindriques à section circulaire, flexion plane d'une poutre comportant au maximum deux tronçons.</i>			
Grandeurs électriques dans un circuit			
<ul style="list-style-type: none"> Loi des nœuds, loi des mailles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir une méthode de résolution pour déterminer les grandeurs électriques ; - Déterminer les grandeurs choisies. 	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Cette partie peut être traitée en lien avec le cours de physique.</i>			
Performances d'un système asservi			
<ul style="list-style-type: none"> Simplification d'un schéma bloc : déplacement d'un sommateur, déplacement d'un point de prélèvement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer à partir d'un schéma bloc ou d'une fonction de transfert les grandeurs caractérisant les performances du modèle ; - Tracer une réponse temporelle ou fréquentielle. 	S2	
Utilisation d'un solveur ou d'un logiciel multi physique			
<ul style="list-style-type: none"> Paramètres de résolution numérique ; Durée de calcul ; Pas de calcul. 	Choisir les valeurs des paramètres de la résolution numérique ;	S2	
<ul style="list-style-type: none"> Grandeurs simulées. 	Choisir les grandeurs physiques tracées ;	S2	
<i>Commentaires</i> <i>Le choix des grandeurs analysées doit être en lien avec les performances à vérifier.</i>			
<ul style="list-style-type: none"> Variabilité des paramètres du modèle de simulation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir les paramètres de simulation ; - Faire varier un paramètre et comparer les courbes obtenues ; 		S4
<ul style="list-style-type: none"> Ordres de grandeurs des résultats attendus ; Modèles de comportement et de connaissances des systèmes expérimentés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les résultats obtenus aux grandeurs physiques réelles mesurées ou attendues ; - Interpréter les écarts. 		S4

D - Expérimenter

D1 – Découvrir le fonctionnement d'un système complexe

Mettre en œuvre un système fourni ou d'un prototype en vue de recueillir des données expérimentales en toute sécurité.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Chaîne d'énergie et d'information <ul style="list-style-type: none"> Connaissances liées aux composants de la chaîne d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> Mettre en œuvre un système ; Extraire et organiser les données des constructeurs ; Repérer les constituants d'une chaîne d'énergie et d'informations ; Identifier les grandeurs physiques d'effort et de flux. 		S4

D2 - Justifier et/ou proposer un protocole expérimental

À partir d'un système fourni et d'un cahier des charges associé :

- identifier les capteurs utilisés et les grandeurs associées ;
- choisir une chaîne de mesure adaptée ;
- modifier un système en agissant sur un programme de commande ou un constituant matériel en vue d'évaluer l'influence de la modification sur le comportement du système.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Chaîne d'acquisition <ul style="list-style-type: none"> Bande passante ; Qualités caractéristiques des capteurs (sensibilité, fidélité, linéarité, précision ; Perturbation produite par un capteur sur la grandeur mesurée. 	<ul style="list-style-type: none"> Identifier les grandeurs à mesurer ; Associer un principe physique à l'acquisition de la grandeur mesurée (en lien avec le cours de physique) ; Choisir les réglages et les configurations matérielles sur le système ou la chaîne d'acquisition ; Qualifier les caractéristiques d'entrée-sortie d'un capteur ; Justifier le choix et les caractéristiques d'un capteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer ; Proposer ou justifier l'implantation de la prise de mesure. 		S4

D3 - Mettre en œuvre un protocole expérimental et vérifier sa validité

Un protocole expérimental étant défini :

- conduire les essais en respectant les consignes de sécurité ;
- évaluer la pertinence et apprécier la validité des résultats expérimentaux.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
<p>Résultats expérimentaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ordres de grandeurs des résultats attendus ; • Modèles de comportement et de connaissances des systèmes expérimentés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un environnement recréé (par exemple : expérimentation assisté par ordinateur) ; - Identifier les erreurs de mesure ; - Identifier les erreurs de méthode ; - Évaluer et commenter les écarts entre les résultats expérimentaux avec l'ordre de grandeurs des résultats attendus (simulés ou définis au cahier des charges). 		S4
<p>Ordres de grandeurs des résultats attendus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modèles de comportement et de connaissances des systèmes expérimentés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparer les résultats obtenus aux grandeurs physiques simulées ou attendues ; - Interpréter les écarts. 		S4

E - Concevoir

E1 - Imaginer des architectures et des solutions technologiques

À partir d'un cahier des charges fonctionnel, proposer et justifier des architectures (fonctionnelles, structurelles) de tout ou partie d'un système.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
<p>Conception de systèmes pluri technologiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Architecture fonctionnelle de systèmes ; • Architecture structurelle de systèmes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proposer une architecture fonctionnelle ; - Proposer une architecture structurelle. 		S4
<p><i>Commentaires</i> On pourra proposer une solution constructive en associant ou en dissociant les fonctions. On s'intéressera à la transformation de mouvements et la transformation de l'énergie.</p>			
<p>Démarche de conception appliquée aux fonctions techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation d'une fonction technique ; • Recherche de solutions techniques. 	<p>Intégrer des composants de la chaîne d'information ou de la chaîne d'énergie du système ou du sous système étudié.</p>		S4
<p>Les fonctions techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation de la fonction technique ; • Familles de solutions associées ; • Technologie des composants ; • Critères de choix. <p>Pour les fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la fonction assemblage ; - la fonction guidage en rotation ; - la fonction guidage en translation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proposer des solutions ; - Choisir et justifier une solution parmi plusieurs. 		S4
<p><i>Commentaires</i> La culture des solutions technologiques sera basée sur les solutions par contact. D'autres solutions technologiques pourront être étudiées à partir de documents ressources fournis.</p>			

- Typologie (ou classification) des procédés et leurs caractéristiques ;
 - Typologie des matériaux et leurs caractéristiques ;
 - Interactions fonction – matériau – procédé ;
 - Méthode de choix des matériaux et des procédés (fonction, objectif, contraintes) ;
 - Indicateur de performance. Diagramme de choix des matériaux ;
 - Influence du procédé sur la géométrie des pièces ;
 - Ordre de grandeurs des classes de tolérances dimensionnelles des familles de procédés.
- Élaborer des indicateurs de performance relatifs aux fonctions auxquelles participe la pièce ;
 - Choisir des couples matériaux/procédés à partir de documents ou de bases de données.

Commentaires
 Les critères économiques de sélection seront évoqués.
 Seule une connaissance des procédés figurant dans la partie F (réaliser) peut être demandée.
 D'autres procédés pourront être étudiés à partir de documents ressources fournis.

E2 – Choisir une solution technique

À partir d'un cahier des charges fonctionnel, d'une documentation technique et d'une architecture système donnée, l'étudiant doit être capable de choisir les solutions techniques.

Connaissances	Savoir-faire	1^{re} année	2^e année
<p>Méthodes de conception</p> <ul style="list-style-type: none"> • Critères de choix de la solution technique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proposer et hiérarchiser des critères de choix ; - Choisir et justifier la solution technique. 		S4

Commentaires
 En relation avec le cahier des charges du système, on s'intéressera en particulier aux critères suivants :

- *précision, rapidité ;*
- *autonomie ;*
- *réversibilité ;*
- *rendement ;*
- *durée de vie ;*
- *rigidité, déformation ;*
- *impact environnemental ;*
- *encombrement.*

Cette liste est non exhaustive.

E3 - Dimensionner une solution technique

À partir d'une solution technique choisie, dimensionner les composants.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
<p>Méthodes de dimensionnement des solutions techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puissance dissipée ; • Grandeurs maximales admissibles. <p>Critères de dimensionnement retenus :</p> <ul style="list-style-type: none"> - couple thermique équivalent pour un actionneur électrique ; - durée de vie L90 pour les roulements ; - critères p, V et p·V pour les contacts directs ; - limites élastiques, rigidité et déformation pour les pièces ; - jeu fonctionnel pour un assemblage, chaîne de cotes unidirectionnelles. 	<p>Dimensionner une solution technique.</p>		<p>S3</p>
<p><i>Commentaires</i> <i>Seuls les cinq critères de dimensionnement proposés doivent être connus. Le dimensionnement d'autres solutions techniques pourra être étudié à partir de documents ressources fournis.</i></p>			

F – Réaliser

<p>Les solutions techniques étant définies :</p> <ul style="list-style-type: none"> - définir et choisir les procédés de réalisation ; - réaliser tout ou partie d'un prototype.
--

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
<p>Procédés d'obtention des pièces brutes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incidence des principaux modes d'obtention des pièces brutes sur la conception des pièces : procédés de fonderie, injection plastique, procédés par déformation, métallurgie des poudres, soudage. Domaines respectifs d'application. <p>Procédés d'obtention des surfaces par enlèvement de matière</p> <ul style="list-style-type: none"> • Techniques principales d'obtention des surfaces des pièces usinées (principe de génération et cinématique). Domaines respectifs d'application. 	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer la capacité des procédés cités à réaliser une pièce (fonderie, injection, pliage, soudage) ; - Lire et justifier les étapes de réalisation d'une pièce brute à la pièce finie ; - Choisir ou justifier une cinématique de machine pour la réalisation d'un groupe de surfaces. 	S2	
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>On se limitera à une description des procédés et des matériaux associés en s'appuyant sur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - les phénomènes physiques associés aux procédés ; - les contraintes technologiques et économiques ; - l'influence du procédé sur la géométrie des pièces. <p><i>On se limitera aux procédés de mise en forme des matériaux métalliques et plastiques.</i></p> <p><i>On se limitera aux procédés d'usinage et de rectification.</i></p> <p><i>Pour les moyens d'usinage, on mettra en évidence la classification des machines à commande numérique : tours 2 et 3 axes, centre d'usinage 3, 4 et 5 axes.</i></p>			
<p>Mise en place d'un processus de fabrication</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identification des différents états de transformation d'une pièce mécanique ; • Ordonnancement des différentes étapes de transformations (les différentes phases), en fonction de l'interaction entre la pièce, le matériau, les procédés et les moyens de production utilisés. 	<p>Définir l'ordonnancement des différentes phases.</p>		S3
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La définition détaillée des phases de fabrication n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Les procédés étudiés se limitent aux procédés détaillés dans le programme.</i></p>			

<p>Traitements thermiques des aciers</p> <ul style="list-style-type: none"> Principes physiques, matériaux associés et caractéristiques mécaniques modifiées par les traitements volumiques (trempe, revenu, recuit) et surfaciques (trempe, cémentation, nitruration). 	<ul style="list-style-type: none"> À partir de documents ressources, proposer un traitement thermique en fonction d'un cahier des charges de pièce ; Justifier le positionnement d'un traitement thermique dans un processus de réalisation de pièce. 		S4
<p><i>Commentaires</i> <i>L'étude des phénomènes métallurgiques est exclue.</i> <i>On se limitera à l'aspect fonctionnel des traitements thermiques des aciers.</i></p>			
<p>Mesure et contrôle dimensionnels et géométriques des pièces</p> <ul style="list-style-type: none"> Nuages de points ; Méthodes d'association ; Traitement des résultats. 	<p>À partir du dessin de définition d'une pièce, vérifier une spécification dimensionnelle ou géométrique.</p>		S4
<p><i>Commentaires</i> <i>Le traitement des mesures est développé à l'aide d'un solveur ou d'un logiciel spécifique.</i> <i>La métrologie tridimensionnelle se limite aux géométries suivantes : plan, cercle et droite, cylindre de révolution.</i></p>			
<p>Réalisation d'un prototype</p>	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser tout ou partie d'un prototype ; Valider l'architecture fonctionnelle et structurelle ; Valider les choix des composants vis-à-vis des performances attendues. 		S4
<p><i>Commentaires</i> <i>On utilisera les moyens de réalisation de l'établissement (par exemple les machines à commande numérique) en appui sur la chaîne numérique.</i> <i>L'acquisition de savoir-faire professionnels est exclue.</i> <i>On se limitera à :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>réaliser une pièce prototype ;</i> <i>implanter (alimenter, paramétrer) une carte de commande dans son environnement matériel ;</i> <i>programmer à partir d'outils graphiques.</i> <p><i>Les langages de programmation ne donnent pas lieu à évaluation.</i></p>			

G – Communiquer

G1 - Élaborer, rechercher et traiter des informations

Élaborer, rechercher, choisir et synthétiser les éléments nécessaires à une communication.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Différents descripteurs introduits dans le programme	<ul style="list-style-type: none"> - Produire des documents techniques adaptés à une communication (interne et externe) ; - Décoder une représentation normalisée 2D ; - Élaborer et utiliser des outils de représentation (dessin et schéma 2D et 3D). 	S2	
<p><i>Commentaires</i> Les représentations effectuées « à la main », devront traduire, sans ambiguïté, les intentions de conception sans se focaliser sur les détails de tracé. La représentation normalisée des éléments standard ne peut être exigée.</p>			
Schémas cinématique, d'architecture, technologique, électrique, hydraulique et pneumatique	<ul style="list-style-type: none"> - Extraire les informations utiles d'un dossier technique ; - Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique ; - Vérifier la nature des informations ; - Trier les informations selon des critères ; - Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages ; - Lire et décoder un schéma. 		S4
<p><i>Commentaires</i> Les normes de représentation des schémas sont fournies.</p>			
Représentation fonctionnelle et structurelle des systèmes multi-physiques	Représenter une solution pour visualiser les conditions fonctionnelles.		S3

G2 - Mettre en œuvre une communication

Présenter et expliquer :

- les enjeux techniques et culturels d'un produit ;
- une situation de contradiction technique à résoudre ou résolue ;
- la démarche de conception-réalisation d'un système ;
- des protocoles d'expérimentation et de validation associés.

Connaissances	Savoir-faire	1^{re} année	2^e année
Outils de communication	<ul style="list-style-type: none">- Choisir les outils de communication adaptés à l'interlocuteur ;- Présenter les étapes de son travail ;- Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats.	S2	
Langage technique	<ul style="list-style-type: none">- Choisir l'outil de description adapté à l'objectif de la communication ;- Décrire le fonctionnement du système en utilisant un vocabulaire adéquat.		S4