











































































































































































































































<p>Limites du modèle du cristal parfait.</p>	<p>fournie. Relier le rayon métallique, covalent, de van der Waals ou ionique, selon le cas, aux paramètres d'une maille donnée. <b>Utiliser un logiciel ou des modèles cristallins pour visualiser des mailles et des sites interstitiels et pour déterminer des paramètres géométriques.</b></p> <p>Confronter des données expérimentales aux prévisions du modèle. <b>Approche documentaire</b> : à partir de documents autour des défauts cristallins, aborder leur nature et leurs conséquences sur les propriétés du matériau.</p>
<p><b>Métaux et cristaux métalliques</b></p> <p>Description des modèles d'empilement compact de sphères identiques.</p> <p>Maille conventionnelle cubique faces centrées (CFC) et ses sites interstitiels</p> <p>Alliages de substitution et d'insertion.</p>	<p>Localiser les interstices tétraédriques et octaédriques entre les plans d'empilement.</p> <p>Localiser, dénombrer les sites tétraédriques et octaédriques d'une maille CFC et déterminer leur habitabilité.</p> <p>Relier les caractéristiques de la liaison métallique (ordre de grandeur énergétique, non directionnalité) aux propriétés macroscopiques des métaux.</p> <p>Citer des exemples d'alliage et leur intérêt par rapport à des métaux purs. Prévoir la possibilité de réaliser des alliages de substitution ou d'insertion selon les caractéristiques des atomes mis en jeu.</p>
<p><b>Solides macrocovalents et moléculaires</b></p>	<p>Identifier les liaisons covalentes, les interactions de van der Waals et les liaisons hydrogène dans un cristal de structure donnée.</p> <p>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.</p> <p>Comparer les propriétés macroscopiques du diamant et du graphite et interpréter les différences en relation avec les structures microscopiques (structures cristallines fournies)</p>
<p><b>Solides ioniques</b></p>	<p>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.</p> <p>Vérifier la tangence anion-cation et la non tangence anion-anion dans une structure cubique de type AB fournie, à partir des valeurs du paramètre de maille et des rayons ioniques.</p>

## V. 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, présence ou non de complexants, 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 dans le secondaire, 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 dans le secondaire sont réinvesties et complétées, puis les complexes sont introduits au travers de leurs réactions de formation et de dissociation. 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
<b>Oxydants et réducteurs</b>	
<p>Nombre d'oxydation. Exemples usuels : nom, nature et formule des ions thiosulfate, permanganate, dichromate, hypochlorite, du peroxyde d'hydrogène.</p> <p>Potentiel d'électrode, formule de Nernst, électrodes de référence.</p> <p>Diagrammes de prédominance ou d'existence.</p>	<p>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. Déterminer la capacité d'une pile.</p> <p>Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires.</p>
<b>Réactions d'oxydo-réduction</b>	
<p>Aspect thermodynamique. Dismutation et médiatisation.</p>	<p>Prévoir qualitativement ou quantitativement le caractère thermodynamiquement favorisé ou défavorisé d'une réaction d'oxydo-réduction.</p> <p><b>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu des réactions d'oxydo-réduction.</b></p>

## 2 – Réactions acide-base, de complexation, de précipitation

Notions et contenus	Capacités exigibles	
<b>Réactions acido-basiques</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- constante d'acidité ;</li> <li>- diagramme de prédominance ;</li> <li>- exemples usuels d'acides et bases : nom, formule et nature – faible ou forte – des acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, phosphorique, acétique, de la soude, la potasse, l'ion hydrogénocarbonate, l'ammoniac ;</li> <li>- solutions tampon.</li> </ul>	<p>Identifier la nature des réactions en solutions aqueuses. Extraire, de ressources disponibles, les données thermodynamiques pertinentes pour prévoir qualitativement l'état final d'un système en solution aqueuse ou pour interpréter des observations expérimentales. Déterminer la valeur de la constante d'équilibre pour une équation de réaction, combinaison linéaire d'équations dont les constantes thermodynamiques sont connues. 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. Utiliser les diagrammes de prédominance ou d'existence pour prévoir les espèces incompatibles ou la nature des espèces majoritaires. Prévoir l'état de saturation ou de non saturation d'une solution, en solide ou en gaz.</p>	
<b>Réactions de complexation</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- constantes de formation ou de dissociation.</li> <li>- diagramme de prédominance en fonction de pL.</li> </ul>		
<b>Réactions de dissolution ou de précipitation</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- constante de l'équation de dissolution, produit de solubilité <math>K_s</math> ;</li> <li>- solubilité et condition de précipitation ;</li> <li>- domaine d'existence ;</li> <li>- facteurs influençant la solubilité.</li> </ul>		

	<p>Exploiter des courbes d'évolution de la solubilité en fonction d'une variable.</p> <p><b>Pratiquer une démarche expérimentale illustrant les transformations en solutions aqueuses.</b>  <b>Utiliser une solution tampon de façon pertinente.</b>  <b>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu une résine échangeuse d'ions.</b></p> <p><b>Approche documentaire</b> : 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, de valeurs limites acceptables 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
<b>Diagrammes potentiel-pH</b>	
<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 médiamutation.</p> <p>Confronter les prévisions à des données expérimentales et interpréter d'éventuels écarts en termes cinétiques.</p> <p><b>Mettre en œuvre une démarche expérimentale s'appuyant sur l'utilisation d'un diagramme potentiel-pH.</b></p>

### Appendice 1 : liste de matériel

Cette liste regroupe le matériel que les étudiants doivent savoir utiliser avec, le cas échéant, 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.

- Verrerie classique de chimie analytique : burettes, pipettes jaugées et graduées, fioles jaugées, erlenmeyers, bechers, etc.
- Verrerie classique de chimie organique, rodée ou non rodée : ballons, ampoule de coulée (isobare

ou non), réfrigérant à eau, matériel de distillation simple, d'hydrodistillation, dispositifs de chauffage ou de refroidissement (bain-marie, bain froid, chauffe-ballon, agitateur magnétique chauffant, etc.), dispositifs d'agitation, séparateur de Dean-Stark, ampoule à décanter, matériel de filtration sous pression ordinaire et sous pression réduite.

- Évaporateur rotatif
- Matériel de chromatographie sur couche mince
- Lampe UV
- Banc de Kofler
- Réfractomètre
- Résines échangeuses d'ions
  
- Spectrophotomètre UV-visible
- pH-mètre et sondes de mesure
- Millivoltmètre et électrodes
- Conductimètre et sonde de mesure
- Polarimètre
- 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 et de la chimie fait partie des compétences exigibles à la fin de la première année de PCSI. 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. Les outils figurant dans le tableau n'ont pas tous vocation à être mis en œuvre en chimie.

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
<b>1. Équations algébriques</b>	
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
<b>2. Équations différentielles</b>	
Équations 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 $\lambda$ 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
<b>3. Fonctions</b>	
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 <u>fourni</u> 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
<b>4. Géométrie</b>	
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.  Ces capacités sont développées par le professeur de physique, sachant que les notions sous-jacentes ne sont pas abordées en mathématiques.
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. Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, 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).  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 $r = f(\theta)$ .  Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur. Identifier une ellipse à l'aide de sa représentation paramétrique ( $x = a \cdot \cos(\omega t)$ , $y = b \cdot \cos(\omega t - \varphi)$ ) et la tracer dans les cas particuliers $\varphi = 0$ , $\varphi = \pi/2$ et $\varphi = \pi$ .
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
<b>5. Trigonométrie</b>	
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 $\cos\left(\frac{\pi}{2} \pm x\right)$ , 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.

Outils mathématiques	Capacités exigibles
<b>6. Analyse vectorielle</b>	
Gradient d'un champ scalaire.	Connaître le lien entre le gradient et la différentielle. Connaître l'expression de la différentielle en fonction des dérivées partielles. Connaître l'expression du gradient en coordonnées cartésiennes ; utiliser un formulaire fourni en coordonnées cylindriques ou sphériques. Utiliser le fait que le gradient d'une fonction $f$ est perpendiculaire aux surfaces iso- $f$ et orienté dans le sens des valeurs de $f$ croissantes.  (Ces capacités sont développées par le professeur de physique ou de chimie, la notion de différentielle n'étant pas abordée en mathématiques)





# Annexe 4

## Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

**Filière : scientifique**

**Voie : Physique, chimie et sciences de l'ingénieur (PCSI) - Physique et sciences de l'ingénieur (PSI)**

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

**Première et seconde années**

# PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE PCSI - PSI

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur dans la filière PCSI-PSI 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

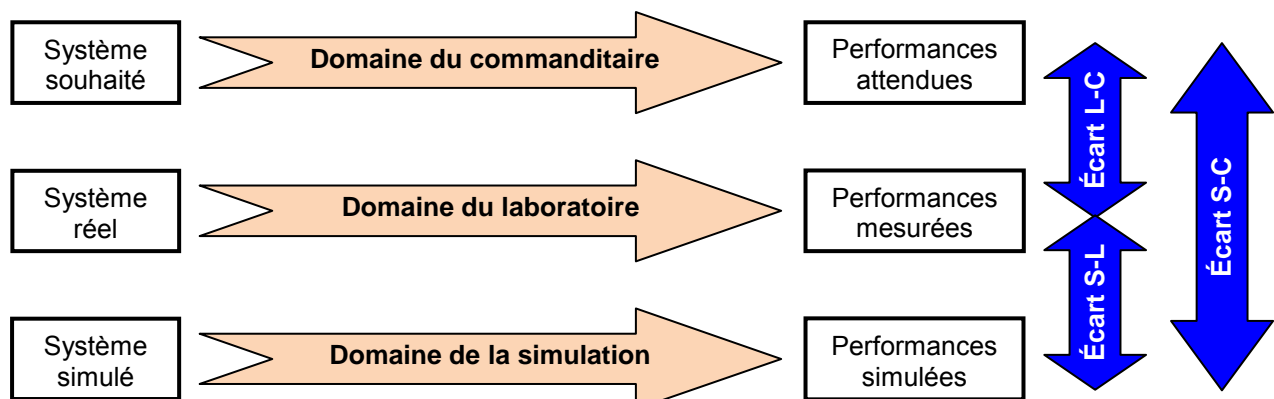
### 1.1. Finalités

La complexité des systèmes et leur développement dans un contexte économique et écologique contraint requièrent des ingénieurs et des scientifiques ayant des compétences scientifiques et technologiques de haut niveau, capables d'innover, de prévoir et maîtriser les performances de ces systèmes.

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur s'inscrit dans la préparation des élèves à l'adaptabilité, la créativité et la communication nécessaires dans les métiers d'ingénieurs, de chercheurs et d'enseignants.

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur a pour objectif d'aborder la démarche de l'ingénieur qui permet, en particulier :

- de conduire l'analyse fonctionnelle, structurelle et comportementale d'un système pluritechnologique ;
- de vérifier les performances attendues d'un système, par l'évaluation de l'écart entre un cahier des charges et des réponses expérimentales ;
- de proposer et de valider des modèles d'un système à partir d'essais, par l'évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances calculées ou simulées ;
- de prévoir les performances d'un système à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances calculées ou simulées et les performances attendues au cahier des charges ;
- d'analyser ces écarts et de proposer des solutions en vue d'une amélioration des performances.



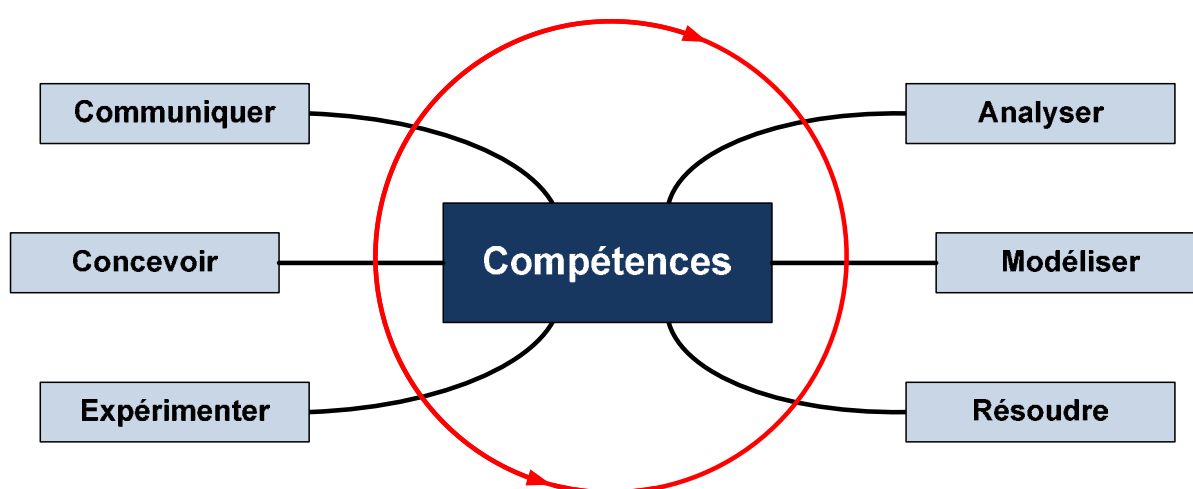
L'identification et l'analyse des écarts présentés mobilisent des compétences transversales qui sont développées en sciences industrielles de l'ingénieur, mais aussi en mathématiques et en sciences physiques. Les sciences industrielles de l'ingénieur constituent donc un vecteur de coopération interdisciplinaire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

Les systèmes complexes pluritechnologiques étudiés relèvent de grands secteurs technologiques : transport, énergie, production, bâtiment, santé, communication, environnement. Cette liste n'est pas exhaustive et les enseignants ont la possibilité de s'appuyer sur d'autres domaines qu'ils jugent pertinents. En effet, les compétences développées dans le programme sont transposables à l'ensemble des secteurs industriels.

Les technologies de l'information et de la communication sont systématiquement mises en œuvre dans l'enseignement. Elles accompagnent toutes les activités proposées et s'inscrivent naturellement dans le contexte collaboratif d'un environnement numérique de travail (ENT).

## 1.2. Objectifs généraux

À partir de systèmes industriels placés dans leur environnement technico-économique, la carte heuristique ci-dessous présente l'organisation du programme qui est décliné en compétences associées à des connaissances et savoir-faire :



Les compétences développées en sciences industrielles de l'ingénieur forment un tout cohérent, en relation directe avec la réalité industrielle qui entoure l'élève. Couplées à la démarche de l'ingénieur, elles le sensibilisent aux travaux de recherche, de développement et d'innovation.

*Analyser* permet des études fonctionnelles, structurelles et comportementales des systèmes conduisant à la compréhension de leur fonctionnement et à une justification de leur architecture. Via les activités expérimentales, elles permettent d'acquérir une culture des solutions industrielles qui facilitent l'appropriation de tout système nouveau. Cette approche permet de fédérer et assimiler les connaissances présentées dans l'ensemble des disciplines scientifiques de classes préparatoires aux grandes écoles.

*Modéliser* permet d'appréhender le réel et d'en proposer, après la formulation d'hypothèses, une représentation graphique, symbolique ou équationnelle pour comprendre son fonctionnement, sa structure et son comportement. Le modèle retenu permet des simulations afin d'analyser, de vérifier, de prévoir et d'améliorer les performances d'un système.

*Résoudre* permet de donner la démarche pour atteindre de manière optimale un résultat. La résolution peut être analytique ou numérique. L'outil de simulation numérique permet de prévoir les performances de systèmes complexes en s'affranchissant de la maîtrise d'outils mathématiques spécifiques.

*Expérimenter* permet d'appréhender le comportement des systèmes, de mesurer, d'évaluer et de modifier les performances. Les activités expérimentales sont au cœur de la formation et s'organisent autour de produits industriels instrumentés ou de systèmes didactisés utilisant des

solutions innovantes. Elles permettent de se confronter à la complexité de la réalité industrielle, d'acquérir une culture des solutions technologiques, de formuler des hypothèses pour modéliser le réel, d'en apprécier leurs limites de validité, de développer le sens de l'observation, le goût du concret et la prise d'initiative.

*Concevoir* permet de modifier l'architecture des systèmes pour satisfaire un cahier des charges. Elle permet également de faire évoluer le comportement des systèmes. Elle développe l'esprit d'initiative et la créativité des élèves.

*Communiquer* permet de décrire, avec les outils de la communication technique et l'expression scientifique et technologique adéquate, le fonctionnement, la structure et le comportement des systèmes.

### 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 des élèves en évitant le dogmatisme ; l'acquisition de connaissances et de savoir-faire est d'autant plus efficace que les étudiants sont 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, 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 recontextualiser son enseignement pour rendre la démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

## 2. PROGRAMME

Pour assurer la cohérence du programme, la totalité de l'enseignement est assurée par un même professeur sur chaque année de formation.

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur introduit des compétences fondamentales pour l'ingénieur et le scientifique. Celles-ci forment un tout que l'enseignant organise en fonction des connaissances et savoir-faire exigibles.

Le programme est élaboré en s'inspirant de l'approche projet, sans pour autant prétendre former les élèves à la conduite de projets.

La diversité des outils existants pour décrire les systèmes pluritechnologiques rend difficile la communication et la compréhension au sein d'une équipe regroupant des spécialistes de plusieurs disciplines. Il est indispensable d'utiliser des outils compréhensibles par tous et compatibles avec les spécificités de chacun.

Le langage de modélisation SysML (System Modeling Language) s'appuie sur une description graphique des systèmes et permet d'en représenter les constituants, les programmes, les flux d'information et d'énergie.

L'adoption de ce langage en classes préparatoires, situées en amont des grandes écoles, permet de répondre au besoin de modélisation à travers un langage unique. Il intègre la double approche structurelle et comportementale des systèmes représentatifs du triptyque matière - énergie - information.

Le langage SysML permet de décrire les systèmes selon différents points de vue cohérents afin d'en permettre la compréhension et l'analyse. Les diagrammes SysML remplacent les outils de description fonctionnelle et comportementale auparavant utilisés.

Les diagrammes SysML sont présentés uniquement à la lecture. La connaissance de la syntaxe du langage SysML n'est pas exigible.

Le programme est organisé selon la structure ci-dessous. Le séquençage proposé n'a pas pour objet d'imposer une chronologie dans l'étude du programme. Celui-ci est découpé en quatre 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.

- **Analyser**
  - Identifier le besoin et les exigences
  - Définir les frontières de l'analyse
  - Appréhender les analyses fonctionnelle et structurelle
  - Caractériser des écarts
  - Apprécier la pertinence et la validité des résultats
- **Modéliser**
  - Identifier et caractériser les grandeurs physiques
  - Proposer un modèle de connaissance et de comportement
  - Valider un modèle
- **Résoudre**
  - Proposer une démarche de résolution
  - Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution analytique
  - Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution numérique
- **Expérimenter**
  - S'appropriier le fonctionnement d'un système pluritechnologique
  - Proposer et justifier un protocole expérimental
  - Mettre en œuvre un protocole expérimental
- **Concevoir**
- **Communiquer**
  - Rechercher et traiter des informations
  - Mettre en œuvre une communication

Lorsqu'une connaissance 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 ont pu être introduits au cours des semestres précédents ;
- qu'ils peuvent être utilisés aux semestres suivants.

## A – Analyser

### A1 Identifier le besoin et les exigences

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Cahier des charges : - diagramme des exigences - diagramme des cas d'utilisation	Décrire le besoin Traduire un besoin fonctionnel en exigences Présenter la fonction globale Définir les domaines d'application, les critères technico-économiques Identifier les contraintes Identifier et caractériser les fonctions Qualifier et quantifier les exigences (critère, niveau)	S1	
<i>Commentaires</i> Les diagrammes SysML sont présentés uniquement à la lecture. La connaissance de la syntaxe du langage SysML n'est pas exigible.			
Impact environnemental	Évaluer l'impact environnemental (matériaux, énergies, nuisances)	S1	
<i>Commentaires</i> Il s'agit de sensibiliser les élèves au développement durable.			

### A2 Définir les frontières de l'analyse

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Frontière de l'étude Milieu extérieur	Isoler un système et justifier l'isolement Définir les éléments influents du milieu extérieur	S2	
Flux échangés	Identifier la nature des flux échangés (matière, énergie, information) traversant la frontière d'étude	S2	

### A3 Appréhender les analyses fonctionnelle et structurelle

Au premier semestre, les analyses fonctionnelles et structurelles seront limitées à la lecture. Elles permettent à l'élève d'appréhender la complexité du système étudié et de décrire les choix technologiques effectués par le constructeur. Au terme du second semestre, l'élève devra être capable de proposer un outil de description du système étudié.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Architectures fonctionnelle et structurelle : - diagrammes de définition de blocs - chaîne directe - système asservi - commande	Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle Identifier les fonctions des différents constituants Repérer les constituants dédiés aux fonctions d'un système Identifier la structure d'un système asservi : chaîne directe, capteur, commande, consigne, comparateur, correcteur Identifier et positionner les perturbations Différencier régulation et poursuite	S1	
	Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système		S4
<i>Commentaires</i> Il faut insister sur la justification de l'asservissement par la présence de perturbations.			
Chaîne d'information et d'énergie : - diagramme de blocs internes	Identifier et décrire la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du système Identifier les liens entre la chaîne d'énergie et la	S1	

- diagramme paramétrique	chaîne d'information Identifier les constituants de la chaîne d'information réalisant les fonctions acquérir, coder, communiquer, mémoriser, restituer, traiter Identifier les constituants de la chaîne d'énergie réalisant les fonctions agir, alimenter, convertir, moduler, transmettre, stocker		
	Vérifier l'homogénéité et la compatibilité des flux entre les différents constituants Identifier la nature et les caractéristiques des flux échangés Identifier et interpréter les modèles des constituants du système		S4
<i>Commentaires</i> Les descriptions des chaînes d'énergie et d'information permettent de construire une culture de solutions industrielles.			
Systèmes à événements discrets : - diagramme de séquences - diagramme d'états	Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système	S2	
Réversibilité de la chaîne d'énergie : - source - modulateur - actionneur - chaîne de transmission	Analyser la réversibilité d'un constituant dans une chaîne d'énergie		S3
<i>Commentaires</i> L'étude de la réversibilité de la chaîne d'énergie porte sur la structure, sans aborder la technologie interne du constituant.			

#### A4 Caractériser des écarts

La caractérisation des écarts est essentielle et commence dès le premier semestre.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Identification des écarts	Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes Traiter des données de mesures et en extraire les caractéristiques statistiques Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation		S4
<i>Commentaires</i> Il faut insister sur la pertinence du choix des grandeurs à évaluer.			
Quantification des écarts	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation		S4
Interprétation des écarts obtenus	Vérifier la cohérence des résultats d'expérimentation avec les valeurs souhaitées du cahier des charges Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les valeurs souhaitées du cahier des charges Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés		S4

## A5 Apprécier la pertinence et la validité des résultats

L'évaluation de la pertinence des résultats commence dès le premier semestre.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Grandeurs utilisées : - unités du système international - homogénéité des grandeurs	Utiliser des symboles et des unités adéquates Vérifier l'homogénéité des résultats	S1	
Ordres de grandeur	Prévoir l'ordre de grandeur et l'évolution de la mesure ou de la simulation Critiquer les résultats issus d'une mesure ou d'une simulation Identifier des valeurs erronées Valider ou proposer une hypothèse		S4

## B – Modéliser

### B1 Identifier et caractériser les grandeurs physiques

En fonction de la complexité des grandeurs physiques utilisées, celles-ci seront données au semestre 1 et exigées au semestre 2.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Caractéristiques des grandeurs physiques : - nature physique - caractéristiques fréquentielles - caractéristiques temporelles	Qualifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé Identifier la nature (grandeur effort, grandeur flux) Décrire l'évolution des grandeurs	S2	
<i>Commentaires</i> <i>Le point de vue de l'étude conditionne le choix de la grandeur d'effort ou de la grandeur de flux à utiliser.</i> <i>La dualité temps-fréquence est mise en évidence.</i>			
Flux de matière Flux d'information	Qualifier la nature des matières, quantifier les volumes et les masses Identifier la nature de l'information et la nature du signal	S2	
Énergie Puissance Rendement	Associer les grandeurs physiques aux échanges d'énergie et à la transmission de puissance Identifier les pertes d'énergie Évaluer le rendement d'une chaîne d'énergie en régime permanent Déterminer la puissance des actions mécaniques extérieures à un solide ou à un ensemble de solides, dans son mouvement rapport à un autre solide Déterminer la puissance des actions mécaniques intérieures à un ensemble de solides		S3
<i>Commentaires</i> <i>La puissance est toujours égale au produit d'une grandeur « effort » (force, couple, pression, tension électrique, température) par une grandeur « flux » (vitesse, vitesse angulaire, débit volumique, intensité du courant, flux d'entropie).</i>			



## B2 Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Chaîne d'énergie et d'information	Choisir un modèle adapté à l'objectif		S4
	Construire un modèle multiphysique simple Définir les paramètres du modèle	S2	
	Associer un modèle à une source d'énergie Associer un modèle aux composants d'une chaîne d'énergie Associer un modèle aux composants d'une chaîne d'information		S3
<i>Commentaires</i> <i>Un logiciel de modélisation acausale sera privilégié pour la modélisation des systèmes multiphysiques.</i>			
Systèmes linéaires continus et invariants : - modélisation par équations différentielles - calcul symbolique - fonction de transfert ; gain, ordre, classe, pôles et zéros	Déterminer les fonctions de transfert à partir d'équations physiques (modèle de connaissance)	S1	
<i>Commentaires</i> <i>L'utilisation de la transformée de Laplace ne nécessite aucun prérequis. Sa présentation se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires à ce cours. Les théorèmes de la valeur finale, de la valeur initiale et du retard sont donnés sans démonstration.</i>			
Signaux canoniques d'entrée : - impulsion - échelon - rampe - signaux sinusoïdaux	Caractériser les signaux canoniques d'entrée	S1	
Schéma-bloc : - fonction de transfert en chaîne directe - fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée	Analyser ou établir le schéma-bloc du système Déterminer les fonctions de transfert	S1	
Linéarisation des systèmes non linéaires	Linéariser le modèle autour d'un point de fonctionnement		S3
Modèles de comportement	Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain, retard)	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Un modèle de comportement est associé à l'observation de la réponse expérimentale d'un constituant.</i>			
Solide indéformable : - définition - référentiel, repère - équivalence solide/référentiel - degrés de liberté - vecteur-vitesse angulaire de deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre	Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable Associer un repère à un solide Identifier les degrés de liberté d'un solide par rapport à un autre solide	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Le paramétrage avec les angles d'Euler ou les angles de roulis, de tangage et de lacet est présenté, mais la maîtrise de ces angles n'est pas exigible.</i>			

Modélisation plane	Préciser et justifier les conditions et les limites de la modélisation plane	S2	
Torseur cinématique	Déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide	S2	
<i>Commentaires</i> Seuls les éléments essentiels de la théorie des torseurs – opérations, invariants, axe central, couple et glisseur – sont présentés.			
Centre d'inertie Opérateur d'inertie Matrice d'inertie Torseur cinétique Torseur dynamique Énergie cinétique	Déterminer le torseur dynamique d'un solide, ou d'un ensemble de solides, par rapport à un autre solide Déterminer l'énergie cinétique d'un solide, ou d'un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport à un autre solide		S3
<i>Commentaires</i> Les calculs des éléments d'inertie (matrice d'inertie, centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation. La relation entre la forme de la matrice d'inertie et la géométrie de la pièce est exigible.			
Actions mécaniques : - modélisation locale, actions à distance et de contact - modélisation globale, torseur associé - lois de Coulomb - adhérence et glissement - résistance au roulement et au pivotement	Associer un modèle à une action mécanique Déterminer la relation entre le modèle local et le modèle global	S2	
Liaisons : - géométrie des contacts entre deux solides - définition du contact ponctuel entre deux solides : roulement, pivotement, glissement, condition cinématique de maintien du contact - définition d'une liaison - liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés - torseur cinématique des liaisons normalisées - torseur des actions mécaniques transmissibles dans les liaisons normalisées - associations de liaisons en série et en parallèle - liaisons cinématiquement équivalentes	Proposer une modélisation des liaisons avec une définition précise de leurs caractéristiques géométriques Associer le paramétrage au modèle retenu Associer à chaque liaison son torseur cinématique Associer à chaque liaison son torseur d'actions mécaniques transmissibles	S2	
<i>Commentaires</i> L'analyse des surfaces de contact entre deux solides et de leur paramétrage associé permet de mettre en évidence les degrés de libertés entre ces solides. Les normes associées aux liaisons usuelles seront fournies. Les conditions et les limites de la modélisation plane sont précisées et justifiées.			

Chaînes de solides : - degré de mobilité du modèle - degré d'hyperstatisme du modèle	Déterminer les conditions géométriques associées à l'hyperstatisme		S4
Systèmes logiques : - codage de l'information - binaire naturel, binaire réfléchi - représentation hexadécimale - table de vérité - opérateurs logiques fondamentaux (ET, OU, NON)	Coder une information Exprimer un fonctionnement par des équations logiques	S2	
<i>Commentaires</i> La table de vérité est réservée à la représentation de systèmes logiques, mais elle ne sera pas utilisée pour la simplification des équations logiques.			
Systèmes à événements discrets Chronogramme	Représenter tout ou partie de l'évolution temporelle	S2	
Structures algorithmiques : - variables - boucles, conditions, transitions conditionnelles	Décrire et compléter un algorithme représenté sous forme graphique	S2	
<i>Commentaires</i> La présentation graphique permet de s'affranchir d'un langage de programmation spécifique.			

### B3 Valider un modèle

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Point de fonctionnement Non-linéarités (hystérésis, saturation, seuil)	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les résultats d'expérimentation		S3
<i>Commentaires</i> L'accent est porté sur les approximations faites, leur cohérence et le domaine de validité.			
Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle : - principe - justification	Réduire l'ordre de la fonction de transfert selon l'objectif visé, à partir des pôles dominants qui déterminent la dynamique asymptotique du système		S3
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

### C1 Proposer une démarche de résolution

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Chaînes de solides : - principe fondamental de la dynamique - théorème de l'énergie cinétique	Proposer une démarche permettant la détermination de la loi de mouvement Proposer une méthode permettant la détermination d'une inconnue de liaison Choisir une méthode pour déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre		S3
<i>Commentaires</i> Le principe fondamental de la statique est proposé comme un cas particulier du principe fondamental de la dynamique.			
Correction	Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase		S3
<i>Commentaires</i> Les relations entre les paramètres de réglage sont fournies.			

### C2 Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution analytique

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Réponses temporelle et fréquentielle : - systèmes du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>e</sup> ordre - intégrateur	Déterminer la réponse temporelle Déterminer la réponse fréquentielle Tracer le diagramme asymptotique de Bode	S1	
<i>Commentaires</i> Seule la connaissance de la réponse temporelle à un échelon est exigible. Seul le diagramme de Bode est au programme.			
Stabilité des SLCI : - définition entrée bornée - sortie bornée (EB-SB) - équation caractéristique - position des pôles dans le plan complexe - marges de stabilité (de gain et de phase)	Analyser la stabilité d'un système à partir de l'équation caractéristique Déterminer les paramètres permettant d'assurer la stabilité du système Relier la stabilité aux caractéristiques fréquentielles		S3
<i>Commentaires</i> La définition de la stabilité est faite au sens : entrée bornée - sortie bornée (EB - SB) Il faut insister sur le fait qu'un système perturbé conserve la même équation caractéristique dans le cas de perturbations additives.			
Rapidité des SLCI : - temps de réponse à 5 % - bande passante	Prévoir les performances en termes de rapidité Relier la rapidité aux caractéristiques fréquentielles	S1	
Précision des SLCI : - erreur en régime permanent - influence de la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte	Déterminer l'erreur en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon ou en rampe (consigne ou perturbation) Relier la précision aux caractéristiques fréquentielles		S3
<i>Commentaires</i> Il faut insister sur la nécessité de comparer des grandeurs homogènes, par exemple la nécessité d'adapter la sortie et sa consigne. L'erreur est la différence entre la valeur de la consigne et celle de sortie.			

Loi entrée – sortie géométrique	Déterminer la loi entrée - sortie géométrique d'une chaîne cinématique	S2	
Dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un référentiel Relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels distincts Loi entrée – sortie cinématique Composition des vitesses angulaires Composition des vitesses	Déterminer les relations de fermeture de la chaîne cinématique Déterminer la loi entrée - sortie cinématique d'une chaîne cinématique Résoudre le système associé à la fermeture cinématique et en déduire le degré de mobilité et d'hyperstatisme	S2	S4
<p><i>Commentaires</i>  <i>Pour la dérivée d'un vecteur, on insiste sur la différence entre référentiel d'observation et éventuelle base d'expression du résultat.</i>  <i>La maîtrise des méthodes graphiques n'est pas exigible.</i>  <i>La recherche du degré d'hyperstatisme a pour objectif de déterminer les conditions géométriques à respecter.</i></p>			
Principe fondamental de la statique Équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides Théorème des actions réciproques Modèles avec frottement : arc-boutement	Déterminer le calcul complet des inconnues de liaison Déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre (par exemple l'arc-boutement)	S2	
<p><i>Commentaires</i>  <i>Le principe fondamental de la statique est proposé comme un cas particulier du principe fondamental de la dynamique.</i>  <i>L'étude des conditions d'équilibre pour les mécanismes qui présentent des mobilités constitue une première sensibilisation au problème de recherche des équations de mouvement étudié en seconde année.</i>  <i>Les conditions et les limites de la modélisation plane sont précisées et justifiées.</i>  <i>La maîtrise des méthodes graphiques n'est pas exigible.</i></p>			
Principe fondamental de la dynamique Conditions d'équilibrage statique et dynamique	Déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés dans le cas où le mouvement est imposé Déterminer la loi du mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus		S3
<p><i>Commentaires</i>  <i>Le modèle utilisé est isostatique.</i>  <i>La résolution de ces équations différentielles peut être conduite par des logiciels adaptés.</i></p>			
Inertie équivalente Théorème de l'énergie cinétique ou théorème de l'énergie/puissance	Déterminer la loi du mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus		S4

### C3 Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution numérique

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Paramètres de résolution numérique : - durée de calcul - pas de calcul	Choisir les valeurs des paramètres de la résolution numérique	S2	
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>			
Variabilité des paramètres du modèle de simulation	Choisir les paramètres de simulation Faire varier un paramètre et comparer les courbes obtenues		S4

## D – Expérimenter

### D1 S'approprier le fonctionnement d'un système pluritechnologique

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Chaîne d'énergie	Repérer les différents constituants de la chaîne d'énergie	S1	
Chaîne d'information	Repérer les différents constituants de la chaîne d'information	S1	
Paramètres influents	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système Mettre en évidence l'influence des paramètres sur les performances du système		S4
<i>Commentaires</i> <i>Les activités expérimentales permettent d'appréhender les incompatibilités entre les exigences de performances.</i>			

### D2 Proposer et justifier un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Modèles de comportement d'un système	Prévoir l'allure de la réponse attendue Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	S2	
Protocoles expérimentaux	Choisir les configurations matérielles du système en fonction de l'objectif visé Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix Choisir les entrées à imposer pour identifier un modèle de comportement		S4
Chaîne d'acquisition Filtrage Échantillonnage Quantification	Justifier la chaîne d'acquisition utilisée Prévoir la quantification nécessaire à la précision souhaitée		S4
<i>Commentaires</i> <i>Les notions sur le filtrage s'appuient sur le cours de physique.</i>			

### D3 Mettre en œuvre un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Règles de sécurité élémentaires	Mettre en œuvre un système complexe en respectant les règles de sécurité		S4
<i>Commentaires</i> <i>Les règles de sécurité sont découvertes au travers des activités expérimentales.</i>			
Chaîne d'acquisition Fréquence d'échantillonnage	Mettre en œuvre la chaîne d'acquisition Appréhender l'influence de la fréquence d'échantillonnage sur les mesures effectuées		S4
Paramètres de configuration du système	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système		S4
Réversibilité de la chaîne d'énergie Source, modulateur, actionneur, chaîne de transmission	Mesurer les grandeurs d'effort et de flux Quantifier les pertes dans les constituants d'une chaîne d'énergie		S4
Routines, procédures Systèmes logiques à événements discrets	Générer un programme et l'implanter dans le système cible Réaliser une intégration et une dérivation sous une forme numérique (somme et différence)		S4
<i>Commentaires</i> <i>L'influence de la période d'échantillonnage est illustrée.</i>			
Modèles de comportement	Extraire les grandeurs désirées et les traiter	S2	
Identification temporelle d'un modèle de comportement	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ordre ou du deuxième ordre à partir de sa réponse indicielle	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Les abaques nécessaires à l'identification sont fournis.</i>			
Identification fréquentielle d'un modèle de comportement	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement à partir de sa réponse fréquentielle Associer un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, intégrateur, gain) à partir de sa réponse fréquentielle	S1	
<i>Commentaires</i> <i>D'un point de vue fréquentiel, seul le diagramme de Bode est développé pour l'identification d'un modèle de comportement.</i>			

### E – Concevoir

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Architecture fonctionnelle et structurelle	Proposer une architecture fonctionnelle et les constituants associés		S4
<i>Commentaires</i> <i>Cette proposition se fait sous forme d'association de blocs.</i>			
Correction d'un système asservi	Choisir un type de correcteur adapté		S4
<i>Commentaires</i> <i>Cette correction ne concerne que les correcteurs à actions proportionnelle, proportionnelle intégral et à avance de phase.</i>			
Système logique Systèmes à événements discrets Structures algorithmiques	Modifier un programme pour faire évoluer le comportement du système	S2	
<i>Commentaires</i> <i>La syntaxe de l'outil utilisé pour concevoir ou modifier un programme est fournie. Les modifications portent sur les états, les transitions, les instructions conditionnelles, les instructions itératives et les appels simples de fonctions.</i>			

## F – Communiquer

### F1 Rechercher et traiter des informations

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Informations techniques	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	S2	
Schémas cinématique, électrique, hydraulique et pneumatique	Lire et décoder un schéma		S4
<i>Commentaires</i> Les normes de représentation des schémas sont fournies.			
Langage SysML	Lire et décoder un diagramme	S2	
<i>Commentaires</i> Les normes de représentation du langage SysML sont fournies et la connaissance de la syntaxe n'est pas exigible.			

### F2 Mettre en œuvre une communication

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Outils de communication	Choisir les outils de communication adaptés par rapport à l'interlocuteur Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue Présenter les étapes de son travail Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats	S2	
<i>Commentaires</i> Les outils de communication sont découverts au travers des activités expérimentales.			
Langage technique	Choisir l'outil de description adapté à l'objectif de la communication Décrire le fonctionnement du système en utilisant un vocabulaire adéquat		S4
Schémas cinématique, électrique	Réaliser un schéma cinématique Réaliser un schéma électrique	S2	
<i>Commentaires</i> Les normes de représentation sont fournies.			