

Annexe 7

Objectifs de formation et programme de génie des procédés de la classe préparatoire scientifique ATS métiers de la chimie

Partie 1 - Formation disciplinaire

Les différentes parties de ce programme s'appuient sur des notions et des capacités travaillées par ailleurs dans les enseignements de physique et de chimie. Il est donc nécessaire d'organiser globalement la progression dans ces trois enseignements.

1. Transferts de matière et d'énergie dans un procédé

Cette partie nécessite la maîtrise des notions de thermodynamique et notamment celle du premier principe de thermodynamique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Observation d'un procédé	
- Variables fondamentales : masse, quantité de matière, grandeurs énergétiques, titre molaire, titre massique. - Bilan de matière.	Reconnaître si un système est ouvert ou fermé. Définir le taux de conversion du réactif clé et l'utiliser pour faire un bilan-matière. Établir un bilan matière global ou partiel (c'est à dire sur une seule espèce chimique) pour un procédé industriel complet.
2. Transfert de matière	
Vecteur densité de flux de particules \vec{J}_N .	Exprimer le nombre de particules traversant une surface en utilisant le vecteur \vec{J}_N .
Bilans de particules.	Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Établir une équation traduisant un bilan local de particules dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et exploiter une généralisation du bilan de particules en géométrie quelconque mettant en œuvre l'opérateur divergence dont l'expression est fournie.
Loi de Fick.	Utiliser la loi de Fick. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles.
Régimes stationnaires.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne.
Équation de diffusion en l'absence de sources internes.	Modéliser le phénomène de diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Exploiter une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien dont l'expression est fournie. Analyser un modèle de diffusion en termes d'ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.
3. Transfert thermique	
3.1 Phénomènes de transport	
Phénomènes de transport.	Distinguer les différents phénomènes de transport thermique.
Vecteur densité de flux thermique \vec{J}_Q .	Exprimer le flux thermique à travers une surface en utilisant le vecteur \vec{J}_Q .
Premier principe de la thermodynamique.	Appliquer le premier principe dans un milieu solide pour établir un modèle local dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence dont l'expression est fournie.

Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.
Équation de la diffusion thermique avec ou sans sources internes.	Établir un modèle de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Admettre et exploiter une généralisation de l'équation de diffusion en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien dont l'expression est fournie. Analyser une équation de diffusion en termes d'ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.
Interface solide-fluide.	Utiliser la relation de Newton $Q=h(T_s-T_a)dSdt$ fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.
3.2 Application à l'étude des échangeurs thermiques en régime permanent	
Résistance thermique. Coefficient global d'échange.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Calculer la résistance thermique équivalente dans le cas d'une géométrie plane ou cylindrique. Dédire de la conservation du flux thermique l'expression du coefficient global d'échange en géométrie plane ou cylindrique.
Bilan en régime permanent dans le cas d'un échangeur coaxial.	Décrire les circulations des fluides dans un échangeur coaxial à co-courant et contre-courant. Tracer l'allure de l'évolution des températures des fluides en fonction de la position dans un échangeur coaxial à co-courant et contre-courant. Réaliser un bilan énergétique global sur l'échangeur dans le cas d'un changement de température avec ou sans changement d'état d'un des deux fluides. Calculer la température moyenne logarithmique dans le cas d'un échangeur coaxial à co-courant ou contre-courant. Dimensionner un échangeur en déterminant la surface totale nécessaire à l'échange.
Technologie des échangeurs.	Définir et exploiter l'efficacité d'un échangeur. Citer différents types d'échangeurs : échangeur à plaque, échangeur passe tube et échangeur calandre. Décrire la technologie et les circulations des fluides dans ces échangeurs. Dimensionner ces échangeurs comparativement aux échangeurs coaxiaux à contre-courant grâce à l'introduction d'un facteur de correction.

2. Réaction chimique à l'échelle industrielle

Cette partie nécessite la maîtrise des notions de cinétique en système fermé et de thermochimie. L'outil informatique peut être mis à profit pour résoudre les équations différentielles impliquant les concentrations des différentes espèces chimiques et tracer l'évolution des profils de concentrations en fonction du temps.

1. Modèle des réacteurs idéaux	
Réacteur fermé (RF) à volume constant. Temps de séjour.	Exprimer la vitesse de réaction dans le cas de stœchiométries simples et multiples. Établir un bilan de matière. Déterminer un temps de séjour dans le cas des réactions avec ordre simple (1, 2), et ordre global 2. Dimensionner un réacteur.
- Réacteur parfaitement agité continu à volume constant (RPAC). Temps de passage. - Association série de RPAC à volume constant.	Établir un bilan de matière. Déterminer un temps de passage (cas des réactions avec ordre simple (1, 2), et ordre global 2). Dimensionner un réacteur. Exprimer et déterminer les valeurs des concentrations en sortie de chaque réacteur. Déterminer le temps de passage dans la cascade.
Réacteur piston à volume constant (RP). Temps de passage.	Établir un bilan de matière. Calculer un temps de passage (cas des réactions avec ordre simple (1, 2), et ordre global 2). Dimensionner un réacteur.
Comparaison de réacteurs ouverts : choix en fonction du volume, temps de passage et/ou en fonction des contraintes (température, pression, produits à former).	Comparer les temps de passage pour différents réacteurs.
2. Maîtrise thermodynamique d'un réacteur	
Étude énergétique des RPAC en fonctionnement. Importance du contrôle de température sur un réacteur chimique.	Appliquer le premier principe de la thermodynamique en régime permanent dans un réacteur chimique. Déterminer la température du réacteur à l'issue de la réaction, dans le cas d'un réacteur adiabatique. Déterminer le flux thermique échangé par le réacteur dans le cas d'un réacteur isotherme. Choisir la plage de température de fonctionnement d'un réacteur en fonction des contraintes cinétiques et thermodynamiques.

3. Procédés de séparation

Cette partie nécessite la maîtrise des notions d'équilibre liquide-vapeur isobare.

L'outil informatique peut être mis à profit pour déterminer le nombre de plateaux nécessaire d'une colonne de rectification continue dans le cas d'un reflux total (relation de Fenske)

1. Procédés d'extraction	
<p>1.1 Absorption et désorption Équilibre liquide-gaz. Loi de Henry, influence de P et de T, courbe de partage, isothermes.</p> <p>Absorption à contre-courant non réactive.</p> <p>Colonne d'absorption.</p> <p>2.2 Extraction Liquide-Liquide Équilibre liquide-liquide. Miscibilité totale, partielle ou nulle.</p> <p>Extraction liquide-liquide à contre-courant.</p> <p>Colonne d'extraction.</p>	<p>Exploiter la courbe d'équilibre reliant le titre vapeur y et le titre liquide x.</p> <p>Effectuer un bilan de matière global et partiel. Déterminer la droite opératoire dans le cas général et dans le cas des solutions diluées (titre molaire). Déterminer le nombre d'étages théoriques par la méthode de Mac Cabe et Thiele.</p> <p>Dimensionner une colonne d'absorption. Déterminer le débit de solvant minimum.</p> <p>Définir le coefficient de partage.</p> <p>Effectuer un bilan de matière global et partiel. Déterminer la droite opératoire dans le cas général et dans le cas des solutions diluées (titre massique). Déterminer le nombre d'étages théoriques par la méthode de Mac Cabe et Thiele.</p> <p>Dimensionner une colonne d'extraction. Déterminer le débit de solvant minimum.</p>
2. Procédés de rectification	
<p>Procédés de distillation.</p> <p>Procédés de rectification. Taux de reflux.</p> <p>Colonne à reflux total.</p> <p>Construction de Mac Cabe et Thiele : hypothèses, limitation.</p>	<p>Citer différentes technologies et applications de la distillation à l'échelle industrielle.</p> <p>Citer les éléments constitutifs d'une colonne.</p> <p>Établir les bilans de matière partiel et total et l'équation de la droite opératoire.</p> <p>Déterminer le nombre de plateaux théoriques à partir de la construction de Mac Cabe et Thiele.</p> <p>Évaluer la hauteur équivalente à un plateau théorique.</p> <p>Évaluer le nombre de plateaux réels ou la hauteur de garnissage.</p>

Rectification continue d'un mélange binaire idéal. Tronçon d'épuisement, d'enrichissement. Tronçon d'alimentation. Taux de vaporisation.	Établir les bilans de matière sur la colonne et calculer le rendement de la rectification. Établir les droites opératoires pour un taux de reflux fixé. Établir la droite opératoire par un bilan énergétique. Déterminer le nombre de plateaux théoriques à partir de la construction de Mac Cabe et Thiele. Montrer qu'il existe un taux de reflux minimum à partir duquel on calcule le taux optimal. Établir le bilan énergétique sur le condenseur, sur le bouilleur et sur l'ensemble de la colonne.
Rectification discontinue. Fonctionnement à reflux constant. Fonctionnement à qualité de distillat constante.	Établir les bilans de matière partiel et total et l'équation de la droite opératoire à un instant donné. Déterminer graphiquement l'évolution de la composition du distillat. Établir graphiquement la loi d'évolution du taux de reflux.

Partie 2 - Capacités expérimentales

L'ensemble des capacités expérimentales que les étudiants doivent avoir acquises, durant leur parcours antérieur constitue quatre domaines en génie des procédés :

1. Prévention du risque en hall de génie des procédés

Les étudiants ont pris conscience du risque lié à la manipulation et au rejet des produits chimiques. Le respect des règles de sécurité leur permet de prévenir et de minimiser ce risque. Ils ont été sensibilisés au respect de la législation et à l'impact de leur activité sur l'environnement.

2. Synthèses

Les étudiants maîtrisent expérimentalement les différentes techniques à mettre en œuvre dans les synthèses : réalisation des montages et utilisation des appareillages.

Ils connaissent les fondements théoriques de ces techniques, en lien avec les propriétés physico-chimiques concernées.

Ils sont capables de proposer des stratégies de transformation des réactifs en produits recherchés en fonction des contraintes à l'échelle industrielle (gestion des mélanges, évacuations des déchets...).

3. Procédés de séparation et de purification

Les étudiants sont capables de proposer des stratégies de séparation et de purification des produits :

- cristallisation ;
- extraction liquide-liquide ;
- absorption et désorption ;
- distillation, rectification continue ou discontinue.

4. Mesures de grandeurs physiques- Analyse quantitative

Les étudiants maîtrisent les techniques de mesure de masse, de pH, de conductivité, d'absorbance, de pouvoir rotatoire, d'indice de réfraction, de température mais aussi des techniques plus sophistiquées telles que la chromatographie phase gaz (CPG), la chromatographie liquide haute performance (HPLC).

Ces techniques expérimentales étant maîtrisées, ils pourront mobiliser leurs compétences dans une **démarche de projet** qui devra montrer le degré d'autonomie acquis en génie des procédés, la capacité de l'étudiant à mener une démarche expérimentale raisonnée et à trouver les informations nécessaires à l'atteinte de l'objectif fixé. Une analyse critique de ses résultats expérimentaux et de la démarche mise en œuvre sera attendue.

La mise en œuvre expérimentale des enseignements proposés devra mettre en avant la logique industrielle des techniques employées. On privilégiera des installations différentes de celles utilisées en chimie (transferts des fluides par pompe ou par vide, chauffage à la vapeur, thermofluide, épingle thermique, agitation, régulation, etc.). Il est important de compléter l'utilisation des installations en verre (intéressantes pour leur aspect didactique) par l'utilisation d'installations en acier (inox par exemple) ou tout autre matériau utilisé dans l'industrie, afin de détecter les phénomènes non visibles grâce à des mesures. Il est souhaitable que les installations comportent des régulations laissant une certaine autonomie au conducteur de l'appareil.