

**MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE LA RECHERCHE ET DE LA TECHNOLOGIE**

DIRECTION DES LYCÉES ET COLLÈGES

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CHIMISTE

1997

Sous-direction des formations professionnelles, initiales et continues

GÉNIE CHIMIQUE

GÉNIE CHIMIQUE : OBJECTIFS DE FORMATION

Cet enseignement comporte trois aspects différents formant un tout : **théorie, schématisation, travail pratique sur installations à caractère industriel**. Il est donc important que le professeur enseignant la théorie, enseigne également le schéma et les travaux pratiques où tous les aspects interviennent.

OBJECTIF DE LA FORMATION

L'objectif est de former des techniciens supérieurs Chimistes capables de s'intégrer (après une classique période d'adaptation) dans une équipe de production.

Les étudiants doivent donc :

- **Comprendre** un procédé de fabrication.
- **Connaître** le matériel industriel et les appareils les plus courants (pompes, échangeurs, réacteurs, colonnes, etc...) comportant ou non des automatismes ou des régulations.
- **Savoir utiliser** ces appareils, c'est-à-dire, connaître leur principe de fonctionnement et les calculs qui s'y rapportent.
- **Savoir travailler** en équipe et tenir un tableau de marche.
- **Savoir identifier** et maîtriser les risques liés aux matériels, aux installations et aux procédés.
- **Connaître et respecter** les règles de sécurité et les contraintes environnementales.

MOYENS

Ceci ne peut se faire que si l'on dispose d'un matériel de **TYPE INDUSTRIEL** qui permet donc d'utiliser les techniques spécifiques différentes de celles d'un laboratoire de chimie (transferts des fluides par pompe ou par vide, chauffage à la vapeur, agitation, régulation, etc...).

Il est donc important de compléter les installations en verre (utilisé pour son aspect didactique) par des installations en acier (inox par exemple) ou tout autre matériau utilisé dans l'industrie, pour apprendre à cerner les phénomènes non visibles, grâce aux mesures effectuées. Il est souhaitable que les installations comportent des régulations en laissant une certaine autonomie au conducteur de l'appareil.

Il faut également prohiber au maximum les chargements de produits par seau, béciers ou autres récipients pour des quantités importantes.

MATÉRIEL

Pour pouvoir couvrir les aspects les plus importants de cet enseignement, il faudra disposer **OBLIGATOIREMENT** au moins des huit postes suivants.

- Un appareillage polyvalent comportant notamment un réacteur de 10 litres au moins, avec chargement par vide ou par pression, et systèmes de chauffage et refroidissement industriel.
- Une installation de rectification en discontinu.
- Une installation de rectification en continu.
- Un banc de dynamique des fluides permettant d'étudier une pompe, des pertes de charge, des mesures de débits.
- Un banc d'étude d'un ou plusieurs échangeurs de chaleur permettant d'établir des bilans énergétiques.
- Une extraction par solvant en continu : soit extraction liquide-liquide, soit liquide-gaz (l'existence des deux étant cependant souhaitable).
- Une installation comportant un évaporateur.
- Une installation comportant un cristalliseur.

Ces installations seront complétées par d'autres. dans le cadre du programme de génie chimique.

- Traitement de l'eau (résines, membranes).
- Filtration.
- Séchage.
- Fluidisation.
- Extraction solide-liquide.
- Ébulliométrie (pour déterminer les courbes d'équilibre liquide-vapeur).

OBJECTIFS GÉNÉRAUX DES TRAVAUX PRATIQUES DE GÉNIE CHIMIQUE

1) - Connaissances

- Identifier à l'aide de schémas et de l'installation elle-même, les différents éléments et leurs liaisons.
- Connaître le principe de fonctionnement et les caractéristiques importantes des appareils utilisés.
- Comprendre le procédé grâce à un mode opératoire.
- Intégrer l'analyse des dysfonctionnements et de leurs conséquences prévisibles.
- Savoir mettre en marche, faire fonctionner et arrêter une installation en suivant les règles de sécurité.
- Effectuer les mesures permettant de suivre le fonctionnement en prenant conscience de la précision et des limites de ces mesures.

- Réaliser les analyses de suivi du procédé.
- Effectuer les calculs demandés en relation avec les cours théoriques.

2) - Communication.

- Savoir tenir un tableau de marche.
- Savoir travailler en équipe (passages de consignes, connaissance du travail effectué par les autres membres de l'équipe).
- Savoir rédiger un compte rendu comportant les feuilles de marche, les résultats des analyses, les calculs demandés, les commentaires et conclusions ainsi que les risques principaux et les consignes de sécurité générales ou particulières.
- Savoir expliquer oralement, en cours d'opération, ce qui a été fait, ce qui se fait, ce qui reste à faire.

ÉVALUATION

Les installations étant différentes d'un centre à l'autre, pour l'examen il est **obligatoire, sauf cas exceptionnel validé par l'inspection générale**, que les étudiants ne passent leur épreuve de TP que dans l'atelier où ils ont suivi leur scolarité. On ne peut demander en effet à un candidat de découvrir une installation correspondant à une opération donnée, le jour même de l'examen (chacune a ses particularités propres, même si elles se ressemblent globalement).

De façon à harmoniser et homogénéiser les notations, il est souhaitable de ne pas se limiter à noter les résultats obtenus (la difficulté n'étant pas la même pour une fabrication que pour une manipulation à caractère répétitif), mais de tenir compte également de :

- * la façon de travailler : propreté, sécurité individuelle et collective, participation au travail d'équipe, organisation ;
- * le dynamisme, l'esprit d'initiative, l'autonomie ;
- * la façon de manipuler, la qualité des mesures ou des résultats obtenus ;
- * la participation au compte-rendu et au tableau de marche.

GÉNIE CHIMIQUE : LA SÉCURITÉ.

L'enseignement du génie chimique est particulièrement propice à la sensibilisation aux problèmes de sécurité, l'apprentissage des règles élémentaires, la mise en pratique de consignes générales ou particulières.

En effet, le professeur enseignant cette discipline (que ce soit en classes de 1^{ère}, terminale STL-CLPI ou BTS), est amené en général, à dispenser à la fois les cours et travaux dirigés théoriques, le schéma d'installation (lecture et conception) et les travaux pratiques en atelier type demi-grand ou pilote.

Cet atelier doit comporter normalement des installations qui devraient donner un aperçu de la réalité industrielle (nature du matériel et des matériaux, quantités ou débits, fluides de service, techniques utilisées notamment pour le transfert des fluides, travail en équipe sur procédés continus ou discontinus, présence d'automatismes).

Les trois aspects de cet enseignement peuvent permettre des approches différentes des problèmes de sécurité, du point de vue de la sécurité de l'opérateur devant son poste, que de la protection de l'environnement et de la protection des appareils

Les COURS, les TD et la SÉCURITÉ.

On ne peut guère qu'y donner des règles générales quitte à renvoyer à des exemples pratiques qui seront vus en TP.

Par exemple.

- “Traduction” en termes de risques et donc de sécurité, de certaines propriétés physiques des corps : volatilité, tension de vapeur, chaleur de vaporisation, limites d'explosivité, solubilité dans l'eau, etc...
- Risques chimiques dus à la toxicité, à la réactivité de certains corps avec les fluides courants tels que l'eau ou l'air ou avec d'autres réactifs particuliers (réactions particulièrement rapides et exothermiques).
Mise en évidence des problèmes d'inertage ou de protection de l'environnement (fuites, traitement des effluents).
- Risques au point de vue thermique : exothermicité, emballement (importance du système de refroidissement et de sa fiabilité).
- Risques à caractères généraux :
 - protection contre le feu (matériel antidéflagrant dit ADF, ventilations normales et de secours, protection individuelle, rôle de l'électricité statique dans le transfert des fluides inflammables et surtout des poudres combustibles divisées);
 - mises à la terre, protection des machines tournantes, équilibrages des machines tournant à grandes vitesses.

Le SCHÉMA et la SÉCURITÉ.

Le schéma permet l'étude d'un procédé d'après un descriptif. Un bon schéma est celui qui décrit une installation sensée fonctionner correctement.

Il permet d'une part de se pencher sur des problèmes plus précis de sécurité au niveau du procédé (choix du réacteur, choix de la méthode de séparation, problèmes de dilution, d'exothermicité, d'emballement, de création de produits parasites nocifs ou gênants).

D'autre part, lors de la schématisation de l'installation, vont intervenir certains problèmes liés à la pratique (relations entre les différents appareils, robinetterie, boucles de régulations, respirations, traitements des effluents).

Les TRAVAUX PRATIQUES et la SÉCURITÉ.

Les installations sont souvent modulaires et n'ont pas la complexité d'installations de production réelles, cependant ceci a l'avantage, par l'intermédiaire d'une progression pédagogique faisant d'abord intervenir des manipulations à caractère répétitif (comportant souvent beaucoup de mesures), de faire apparaître des problèmes de plus en plus complexes y compris au niveau de la sécurité.

C'est à cette occasion que les étudiants vont être confrontés à la réalité (par l'intermédiaire d'un mode opératoire précis sur une installation réelle ou par l'intermédiaire des erreurs qu'ils pourraient commettre !). Ils auront à suivre des consignes au point de vue de la protection individuelle (la présence de fiches toxicologiques, par exemple, disponibles dans l'atelier leur permettra de connaître les risques présentés par les produits qu'ils auront à manipuler et il est indispensable que le compte rendu comporte au moins un résumé des caractéristiques importantes de ces produits).

Ils auront des consignes à suivre lors des transferts des fluides ou des solides, des problèmes de chauffage ou refroidissement, des vérifications de l'appareillage (mise en respiration ou sous une pression donnée par exemple).

Ils auront à travailler en équipe ce qui doit se traduire par l'apprentissage du travail en équipe, de la tenue d'un tableau de marche, du passage de consignes, du respect de l'environnement de travail et du personnel (soin et propreté, organisation du poste de travail).

Un travail au laboratoire d'analyse et de contrôle permet une autre approche notamment par l'intermédiaire des quantités de produits mis en œuvre.

GÉNIE CHIMIQUE : PLAN GÉNÉRAL.

- 1 - SCHEMA DE PROCÉDÉ ET RÉGULATION
- 2 - MÉTHODE DES BILANS - RÉACTEURS
- 3 - CIRCULATION DES FLUIDES
- 4 - TRANSFERT DE CHALEUR - PRODUCTION DE CHALEUR ET DE FROID
- 5 - ÉVAPORATION - CRISTALLISATION - SÉCHAGE
- 6 - DISTILLATION
- 7 - EXTRACTION :
 - EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE
 - EXTRACTION SOLIDE-LIQUIDE
 - ABSORPTION-DESORPTION
- 8 - SÉDIMENTATION - FILTRATION
- 9 - TECHNIQUES ET SÉPARATIONS DIVERSES

1^{ère} PARTIE : SCHÉMA DE PROCÉDÉ ET RÉGULATION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
1 - 1 - APPROCHE DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS, ET DU GÉNIE DES PROCÉDÉS.		
<p>Définitions du génie des procédés et du génie chimique. Opérations continues et discontinues. Notions d'opérations unitaires.</p> <p>Schéma de principe et plan de circulation des fluides. Schéma de procédé.</p>		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Réaliser, à partir d'une description écrite (et éventuellement d'un schéma de principe), le schéma de procédé comportant : <ul style="list-style-type: none"> – les tuyauteries et ses accessoires ; – les appareils de déplacement des fluides les pompes, compresseurs etc...); – les appareillages principaux en coupe simplifiée ; – les appareils de mesure, contrôle et régulation ; – les organes de sécurité. ◆ Analyser la sécurité du procédé : <ul style="list-style-type: none"> – savoir lire et utiliser un schéma de fabrication d'une installation réelle et prévoir les conséquences de certains dysfonctionnements ; – savoir lire, interpréter et utiliser un schéma de fabrication en terme de production et de sécurité.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>1 - 2 - CONTRÔLES ET RÉGULATION.</p> <p>RÔLE des différents éléments d'une boucle de régulation</p> <ul style="list-style-type: none"> - capteurs : - transmetteurs ; - actionneur. <p>On introduira la notion de sécurité positive (position normalement ouverte ou normalement fermée d'une vanne de régulation) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - signaux standards (analogique, pression-intensité et numérique). <p>PRINCIPE DES RÉGULATIONS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tout ou rien. - Proportionnelle. - Proportionnelle intégrale. - Proportionnelle intégrale dérivée. - Régulation de rapport. - Régulation en cascade. 	<ul style="list-style-type: none"> - En utilisation de boucles de régulation sur installations de fabrication ou de séparation. - Banc d'étude des boucles de régulation. 	<p>L'objectif est triple :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ justifier la nécessité (ou non) de placer une régulation en un point d'une installation. ◆ connaître le vocabulaire de base d'une boucle de régulation, de façon à permettre le dialogue avec le personnel d'instrumentation ; <ul style="list-style-type: none"> - grandeur réglée, - grandeur réglante, - grandeur perturbatrice. ◆ indiquer les limites et les dysfonctionnements possibles (influence du temps mort, de l'inertie du système...). <p>Aucun calcul ne peut être demandé à l'examen.</p> <p>La régulation de rapport ou en cascade sera traitée uniquement à l'occasion de schéma ou de TP.</p>

2^{ème} PARTIE : MÉTHODE DES BILANS - RÉACTEURS.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>2 - 1 - DIVERSES EXPRESSIONS DE LA COMPOSITION D'UN MÉLANGE.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définition des titres massique, molaire et volumique. - Conversion mutuelle des concentrations (mol/L ou g/L) en titres. - Définition du rapport massique, du rapport molaire. 		
<p>2 - 2 - BILAN MATIÈRE - RÉACTIONS CHIMIQUES.</p>		
<p>Représenter une vue synoptique du problème (schéma de principe)</p> <p>2-2-1 - Cas des opérations unitaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilan global - bilan partiel en chacun des constituants. - Calculs des quantités de matière à l'entrée et à la sortie d'une opération unitaire : <ul style="list-style-type: none"> - opérations discontinues, - opérations continues. 	<p>Ces notions peuvent être exploitées à l'occasion des TP de fabrication ou de séparation.</p>	<p>Après une initiation élémentaire à la méthode des bilans, cet enseignement donnera lieu à des applications au cours des deux années dans le cadre des TD et des TP de génie chimique.</p> <p>On utilisera des notations "parlantes" ; usuelles (R comme reflux, L comme liquide, C comme cristaux etc...) plutôt que des notations générales (ex : F_i, x_i, ...), car on traite souvent de mélanges binaires. Les notations générales pourront être vues en conclusions (méthodologie générale).</p> <p>LA PRATIQUE DE L'ÉQUILIBRAGE DES RÉACTIONS CHIMIQUES EST SUPPOSÉE ACQUISE.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>2-2-2 - Cas des réacteurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Étude de réactions chimiques, discontinues ou continues en régime permanent. - Calcul des quantités de réactifs à introduire et des produits formés. - Bilan matière - calculs avec recyclage et purge ; * définition du TAUX DE CONVERSION τ d'un réactif. - Étude de synthèse avec formation de sous produit ; * définition de la SÉLECTIVITÉ σ d'une réaction. - Etude d'un procédé de fabrication avec recyclage des réactifs n'ayant pas réagi ; * calcul du RENDEMENT η ; • au niveau du réacteur, • sur l'ensemble du procédé de fabrication. - Notion de temps de passage des produits dans le réacteur. 		<p>Réactions simples ou deux réactions consécutives ou concurrentes.</p> <p>La présentation des différents types de réacteurs sera faite à l'occasion des schémas de procédés et des études particulières de bilans lors de réactions chimiques, (choisir des exemples diversifiés de réacteurs en phase liquide, en phase gaz, avec catalyseur).</p> <p>Les risques des différents types de réacteurs seront précisés (chargement, étanchéité, agitation).</p> $\tau = \frac{\text{nombre de moles transformées du réactif}}{\text{nombre de moles de réactif introduit}}$ $\sigma = \frac{\text{nombre de moles transformées en produit principal}}{\text{nombre de moles transformées total}}$ $\eta = \frac{\text{nombre de moles transformées en produit principal}}{\text{nombre de moles transformées du réactif introduit}}$ <p>L'étude des réacteurs exclut tous calculs fondés sur la cinétique de la réaction ainsi que sur le dimensionnement des appareils.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>2 - 3 - BILAN ÉNERGÉTIQUE</p> <p>2-3-1 - Cas des opérations unitaires. Calcul des quantités d'énergie à fournir ou à éliminer pour les opérations discontinues ; calculs des flux énergétiques pour les procédés continus.</p> <p>2-3-2 - Cas des réacteurs. Calcul de l'énergie (ou du flux énergétique) à fournir ou à éliminer pour maintenir un réacteur à température constante dans le cas d'une réaction endothermique ou exothermique dont la variation d'enthalpie est fournie.</p>		<p>Lors de l'établissement des bilans énergétiques, on utilisera la capacité thermique massique ou molaire moyenne, dans l'intervalle de température considéré. Les chaleurs latentes de changement d'état seront fournies, ainsi qu'éventuellement les enthalpies (molaires, massiques).</p> <p>On analysera l'influence de ces différents paramètres sur la sécurité du procédé (emballement, maintien d'une température optimale, ...).</p>

3^{ème} PARTIE : CIRCULATION DES FLUIDES.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>3 - 1 - GÉNÉRALITÉS.</p> <p>3-1-1 - Notions de pression (absolue, effective, dépression) - unités.</p> <p>3-1-2 - Statique des fluides et applications (mesures de pressions - décantation continue dans un décanteur florentin - colonne barométrique).</p> <p>3-1-3 - Poussée d'Archimède et applications (niveau à flotteur - densimètres).</p> <p>3-1-4 - Notions de débits (volumique, massique, molaire) - unités pratiques.</p>	<p>L'utilisation des appareils de mesures de pression et de densité ne fera pas systématiquement l'objet d'une séance de manipulations mais pourra être utilement «dispersée» dans d'autres manipulations.</p>	<p>Tant sur le plan théorique que sur le plan pratique ces notions générales sont a priori :</p> <ul style="list-style-type: none"> - presque totalement inconnues des élèves titulaires du Bac S, - théoriquement bien connues de ceux qui sont originaires de la section STL - option CLPI. <p>Cette partie du programme devra donc être essentiellement traitée en séances de travaux dirigés.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
3 - 2 - DYNAMIQUE DES FLUIDES PARFAITS INCOMPRESSIBLES.		
<p>3-2-1 - Théorème de Bernoulli.</p> <p>3-2-2 - Application à la mesure des débits à l'aide de débitmètres déprimogènes.</p> <p>3-2-3 - Notions de mise en circulation de liquides dans des installations ne comportant pas de pompe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - écoulement par gravité, - déplacement par pression d'air ou de gaz inerte, - chargement par action du vide. 	<p>L'étude expérimentale du fonctionnement des débitmètres peut-être faite à l'occasion de travaux pratiques si l'établissement est équipé de l'installation adaptée.</p> <p>L'étude de ces méthodes de mise en circulation ne fera pas l'objet d'une manipulation exclusivement consacrée à ce sujet, mais elles seront largement intégrées aux travaux pratiques de fabrications et de séparations au cours desquelles le transvasement manuel par seau et entonnoir devrait être exclu.</p>	<p>On insistera sur les risques liés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - au stockage (fuites, surpressions, ...) ; - à la circulation des fluides, fuites, projections, électricité statique (polarité des fluides, mise à la terre).
3 - 3 - DYNAMIQUE DES FLUIDES RÉELS.		
<p>3-3-1 - Notion de viscosité. Fluides newtoniens. Rhéologie.</p> <p>3-3-2 - Régimes d'écoulement : nombre de Reynolds.</p> <p>3-3-3 - Ecoulement d'un fluide réel incompressible :</p> <ul style="list-style-type: none"> - notions de pertes de charge, - pertes de charge régulières, - rugosité, - coefficients de frottement (utilisation du diagramme de Moody), - pertes de charges singulières - accessoires de canalisation, - coefficients de pertes de charge et longueurs droites équivalentes, - lectures d'abaques. 	<p>L'étude expérimentale des pertes de charge par frottement et par traversée «d'accidents» est indispensable.</p> <p>Application à l'agitation.</p>	<p>Tenir compte de ce que savent déjà les titulaires du Bac STL - option CLPI.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
3-3-4 - Théorème de Bernoulli appliqué à un fluide réel.		

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
3 - 4 - PERTES DE CHARGES AU COURS DE LA TRAVERSÉE D'UN SOLIDE POREUX.		
Applications à la fluidisation, aux colonnes à garnissage, à la filtration.	Ces phénomènes peuvent être étudiés à l'occasion de travaux pratiques .	Tous les établissements n'étant pas équipés pour réaliser ces manipulations, cette rubrique ne saurait donner lieu à un exercice au cours de l'épreuve écrite.
3 - 5 - MISE EN MOUVEMENT DES LIQUIDES A L'AIDE DE POMPES.		
<p>3-5-1 - Application du théorème de Bernoulli :</p> <ul style="list-style-type: none"> - hauteur à fournir dans le circuit ; - courbe de réseau ; - calcul de la puissance à fournir au fluide. <p>3-5-2 - Calcul de la pression à l'aspiration de la pompe. Problèmes de cavitation. NPSH disponible.</p> <p>3-5-3 - Appareillage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pompes volumétriques, - pompes alternatives, - pompes rotatives, - pompes doseuses, - pompes centrifugeuses, <ul style="list-style-type: none"> - accessoires (garnitures d'étanchéité - soupape de sécurité - pots anti-bélier). 		<p>On étudiera le fonctionnement d'un modèle de chaque type de pompe ; on analysera les problèmes d'utilisation posés et on en déduira les solutions apportées, les limites et le domaine d'utilisation de chaque modèle.</p> <p>Sécurité liée aux machines tournantes.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>3-5-4 - Caractéristiques d'une pompe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - courbes caractéristiques : hauteur manométrique - puissance - rendement - NPSH requis ; - loi de similitude - influence de la vitesse de rotation. <p>3-5-5 - Calcul du point de fonctionnement.</p>	<p>Cette rubrique fera l'objet d'au moins une séance de travaux pratiques</p>	<p>Cette rubrique a déjà été étudiée par les élèves titulaires du Bac STL - option CLPI.</p> <p>L'établissement d'une courbe de réseau ne pourra pas être demandé à l'examen.</p> <p>Détermination graphique.</p>
3-6 - CIRCULATION DES FLUIDES COMPRESSIBLES.		
<p>3-6-1 - Production du vide industriel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - éjecteurs à vapeur - montage en série, - étude du fonctionnement de pompes à vide industrielles, - circuit de vide - réglage et régulation du vide. <p>3-6-2 - Compression et mise en circulation des gaz :</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition du taux de compression, - mise en évidence de la nécessité d'un refroidissement, - principe de fonctionnement et domaine d'utilisation des compresseurs, soufflantes et ventilateurs. 	<p>Utilisation du vide au cours de chargements de réactifs, filtrations et distillations.</p> <p>On n'étudiera qu'un seul exemple de chaque type d'appareil tant pour la production du vide que pour la compression et la mise en circulation des gaz.</p>	<p>A l'examen on n'exigera aucun calcul sur la dynamique des fluides compressibles.</p> <p>Problèmes liés à la pression.</p>

4^{ème} PARTIE : PRODUCTION ET TRANSFERT DE LA CHALEUR.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>4 - 1 - PRODUCTION DE LA CHALEUR.</p> <p>4-1-1 - Les combustibles : définition des pouvoirs calorifiques, fumigènes, comburivores.</p> <p>4-1-2 - Les chaudières : à tubes de fumée, à tubes d'eau, électriques.</p> <p>4-1-3 - Sécurité des appareils sous pression, réglementation.</p>		<p>Le calcul du pouvoir calorifique d'un combustible ne saurait être demandé à l'examen.</p>
<p>4 - 2 - FLUIDES CALOPORTEURS.</p> <p>4-2-1 - Vapeur d'eau et circuits de chauffage à la vapeur - rôle du purgeur.</p> <p>4-2-2 - Fluides thermiques et circuits permettant leur utilisation.</p> <p>4-2-3 - Risques liés aux défaillances de circuits de chauffage et de refroidissement.</p>	<p>Utilisation du chauffage à la vapeur ou par thermofluide au cours des travaux pratiques de fabrications et distillations</p>	<p>A l'occasion de l'étude des chaudières on pourra utiliser les diagrammes enthalpie - température.</p>
<p>4 - 3 - MODES DE TRANSFERT DE LA CHALEUR.</p> <p>4-3-1 - Conduction - loi de Fourier.</p> <p>4-3-2 - Conduction : – loi de Newton, – exploitation des relations permettant de calculer les coefficients de transfert par convection en fonction des nombres de Reynolds, Nusselt et Prandtl.</p>		<p>Elle sera donnée sous sa forme différentielle originale mais ne sera utilisée que sous forme intégrée en régime permanent, pour des surfaces planes et cylindriques.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
4-3-3 - Notion sommaire sur le rayonnement - loi de Stefan.		Les lois relatives au rayonnement ne sauraient faire l'objet de questions à l'examen.
<p>4-4 - APPLICATIONS.</p> <p>4-4-1 - Association de conductions et convections (cas de surfaces planes et cylindriques).</p> <p>4-4-2 - Cas du coefficient global d'échange - résistance thermique.</p> <p>4-4-3 - Modes d'échange : - contre-courant, - courants parallèles.</p> <p>4-4-4 - Calculs simples sur les échangeurs.</p> <p>4-4-5 - Calorifugeage.</p>	<p>Une manipulation ou moins sera consacrée à l'étude expérimentale des transferts de chaleur.</p>	<p>Calculs simples ne nécessitant pas de calculs mathématiques itératifs. Calculs faisant intervenir ces coefficients globaux rapportés à des surfaces différentes (cf calorifugeage).</p>
<p>4 - 5 - APPAREILLAGE ET CONDITIONS D'UTILISATION.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faisceaux tubulaires de différents types. - Double enveloppe. - Serpentin. - Echangeurs à plaques. 		<p>Pour chaque appareil on donnera les conditions d'utilisation, et le détail de ces appareils pourra être vu en schéma.</p>
<p>4 - 6 - PRODUCTION ET UTILISATION DU FROID.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fluides frigorigènes. - Appareils à compression, appareils à absorption. - Production de glace et d'air liquide. 	<p>Si l'établissement dispose de l'installation, l'étude expérimentale d'un groupe frigorifique sera effectuée.</p>	<p>Aucun calcul ne sera exigé à l'épreuve écrite de l'examen au sujet de cette rubrique.</p>

5^{ème} PARTIE : ÉVAPORATION - CRISTALLISATION - SÉCHAGE.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>5 - 1 - ÉVAPORATION.</p> <p>5-1-1 - Principe.</p> <p>– Méthodes d'évaporation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • à simple effet ; • sous pression ordinaire et sous vide ; • évaporation à sec ; • atomisation. <p>– Domaines d'utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mélanges de deux liquides à forte différence de volatilité (cf distillation) ; • concentration de solutions d'un solide dissous dans un solvant. <p>5-1-2 - Calculs.</p> <p>– Bilans matière : titres massiques (on pourra également utiliser les rapports massiques).</p> <p>– Bilans thermiques : utilisation des lois de la calorimétrie et association avec les problèmes de transmission de chaleur - bilans enthalpiques.</p> <p>5-1-3 - Récupération d'énergie.</p> <p>– Recompression mécanique des vapeurs.</p> <p>– Multiples effets.</p> <p>5-1-4 - Appareillage.</p> <p>– Evaporateurs à faisceaux de tubes.</p> <p>– Evaporateurs à couche mince .</p>	<p>Soit en continu, soit plus couramment en discontinu dans des réacteurs polyvalents.</p>	<p>Les enthalpies massiques seront fournies.</p> <p>A traiter en schéma. Pas de calculs à l'examen pour la partie 5-1-3.</p> <p>Un appareil de chaque type.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>5 - 2 - CRISTALLISATION</p> <p>5-2-1 - Solubilité d'un solide dans un solvant.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expression en titres massiques et rapports massiques. - Courbes de solubilité en fonction de la température. - Application aux corps donnant des hydrates . <p>5-2-2 - Méthodes de cristallisation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sursaturation, germination, grossissement des cristaux. - Cristallisations par refroidissement, par évaporation, par évaporation adiabatique sous vide. - Paramètres influant sur la solubilité : pH, addition d'un tiers-corps, impuretés. <p>5-2-3 - Calculs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilans matière : <ul style="list-style-type: none"> • cas des sels anhydres ; • cas des sels donnant des hydrates. - Bilans thermiques : pertes thermiques ; chaleurs de cristallisation ; bilans enthalpiques. <p>5-2-4 - Appareillage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appareils discontinus. - Appareils continus fonctionnant par évaporation sous vide ou non (adiabatement ou non) et par refroidissement. - Ecailleuses pour produits fondus. 	<p>Cette opération peut être étudiée sur un appareillage spécifique, ou en discontinu sur appareil polyvalent (fabrications diverses).</p>	<p>On fera la relation avec la courbe de solubilité.</p> <p>Utilisation des titres et des rapports massiques.</p> <p>Utilisation des titres massiques (méthode générale). On précisera si la cristallisation est endothermique ou exothermique.</p> <p>Réacteur classique agité muni d'un refroidissement pour le discontinu, type " Oslo " pour les appareils continus.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>5 - 3 - SÉCHAGE.</p> <p>5-3-1 - Principe - but - définitions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Humidité des solides : humidité liée et non liée - hydratation - pression d'équilibre - différence entre séchage et déshydratation. - Humidité des gaz : pressions partielles - tensions de vapeur - pression de saturation - degré hygrométrique (humidité relative) - taux de saturation - températures sèche et humide - enthalpies - volume humide. <p>5-3-2 - Méthodes de séchage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Par conduction - utilisation du vide. - Par convection - utilisation de l'air ou d'un gaz inerte. <p>5-3-3 - Calculs.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilans matière en régime permanent : avec ou sans recyclage de gaz. - Bilans thermiques et enthalpiques : en régime permanent. <p>5-3-4 - Appareillage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Discontinu et continu. - Par conduction et par convection. - Par atomisation. 	<p>En fonction de l'équipement local.</p> <p>On insistera sur les risques liés aux séchages des solides pulvérulents : émissions de poussières et explosions.</p>	<p>Définitions et relations reliant ces différents paramètres Calculs par voie normale et par le diagramme de l'air humide comportant l'enthalpie, les humidités absolue et relative, la température sèche.</p> <p>Calculs par voie normale et par le diagramme de l'air humide.</p> <p>On décrira quelques modèles différents en fonction de l'équipement local .</p>

6^{ème} PARTIE : DISTILLATION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6 - 1 - ÉTUDE DES ÉQUILIBRES LIQUIDE-VAPEUR.</p> <p>6-1-1 - Cas de mélanges binaires idéaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Règle des phases. - Loi de Raoult - loi de Dalton . - Courbes isothermes. - Courbes isobares : courbes de rosée et d'ébullition et d'équilibre $y = f(x)$. <p>- Définition de la volatilité (absolue et relative).</p> <p>- Équation de la courbe $y = f(x, \alpha)$, la volatilité relative étant supposée constante.</p> <p>6-1-2 - Cas de mélanges non idéaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mélange zéotropique ; notion de coefficient d'activité. - Mélange homoazéotropique : <ul style="list-style-type: none"> • à température d'ébullition maximale, • à température d'ébullition minimale. - Mélange hétéroazéotropique : <ul style="list-style-type: none"> • à immiscibilité totale, • à immiscibilité partielle. - Etude des isothermes, des isobares et de $y = f(x)$ dans tous les cas. 		<p>Bien que l'étude du corps pur soit supposée connue (tension de vapeur saturante - évolution de la température d'ébullition selon la pression), des rappels peuvent s'avérer nécessaires.</p> <p>Etablir un diagramme en fuseau théorique, à partir des tensions de vapeur saturante.</p> <p>Utiliser un diagramme isobare fourni pour déterminer le nombre de moles dans chaque phase.</p> <p>Calculer le nombre de moles dans chaque phase à l'équilibre, le diagramme isobare étant fourni.</p> <p>Utiliser un diagramme isobare pour déterminer le nombre de phases en présence.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6-2-2-2 - Rectification discontinue.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définition du taux de reflux. - Bilan matière sur une opération de rectification discontinue. - Rendement de la rectification. - Bilan matière sur les plateaux : équation de la droite opératoire initiale. - Calcul du taux de reflux minimum en début de rectification. - Différents types de rectification : <ul style="list-style-type: none"> • à taux de reflux constant ; • à qualité de distillat constante. - Evolution de la droite opératoire au cours de la rectification. <p>6-2-2-3 - Rectification continu d'un mélange binaire idéal.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe - bilan matière sur la colonne - rendement de la rectification. - Equation des deux droites opératoires (d'enrichissement et d'épuisement). - Détermination graphique du nombre de plateaux théoriques nécessaires. - Détermination du taux de reflux minimum. <ul style="list-style-type: none"> • Bilans énergétiques : flux thermique à éliminer en tête de colonne. • Flux thermiques à apporter au bouilleur. • Bilans enthalpiques. 		<p>Aucune intégration graphique ne peut être demandée.</p> <p>On se limitera au cas d'une alimentation à la température d'ébullition.</p> <p>On utilisera les valeurs moyennes des C_p pour chaque corps.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6-2-2-4 - Rectification de mélanges difficiles à séparer :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cas de mélanges à plus de deux constituants, - cas de formation d'homoazéotrope ; <ul style="list-style-type: none"> • addition d'un tiers corps : <ul style="list-style-type: none"> * rectification azéotropique, * rectification extractive ; • changement de pression, - cas de formation d'hétéroazéotrope à immiscibilité partielle, - couplage de deux colonnes. <p>6 - 3 - APPAREILLAGE.</p> <p>6-3-1 - Bouilleurs. Rôle - différents types selon le type de rectification (discontinue ou continue).</p> <p>6-3-2 - Condenseurs. Rôle - différents types - condenseurs partiel, total.</p> <p>6-3-3 - Caractéristiques d'une colonne de rectification.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rôle d'une colonne. - Efficacité - calcul du nombre réel de plateaux. - Rétention de liquide. - Souplesse d'utilisation. - Notion sur la dynamique d'une colonne : pertes de charges - vitesse optimale de la circulation de la vapeur - engorgement - diamètre de la colonne selon la production et le reflux. 	<p>Il est INDISPENSABLE de prévoir une distillation, un entraînement, une rectification discontinue ET une rectification continue.</p>	<p>Cette partie sera traitée essentiellement dans le cadre du schéma et des bilans-matière.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>6-3-4 - Différents types de colonnes.</p> <p>6-3-4-1 - Colonnes à plateaux : description - avantages et inconvénients - efficacité.</p> <p>6-3-4-2 - Colonnes à garnissage : description - différents types de garnissage - avantages et inconvénients - hauteur équivalente à un plateau théorique (HEPT).</p> <p>6-3-5 - Appareillages annexes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - échangeurs : <ul style="list-style-type: none"> • préchauffeur sur l'alimentation, • réfrigérants sur le distillat et le résidu ; - mise sous vide, sous pression atmosphérique ou sous $P > P$ ordinaire, de la colonne ; - régulations types sur une installation de rectification ; - analyse de sécurité sur chaque partie de l'appareillage. 		<p>Sortie par gravité du distillat avec l'équilibrage des pressions. Utilisation d'un bac tampon.</p>

7^{ème} PARTIE : EXTRACTION.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>7 - 1 - GÉNÉRALITÉS.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Définitions : soluté, solvant, diluant, transfert d'un soluté entre deux phases, extrait, raffinat. – Titres massiques, rapports massiques. 		<p>Le lien sera fait avec les opérations d'extraction vues au laboratoire.</p>
<p>7 - 2 - L'EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE.</p> <p>7-2-1 - Représentations graphiques de l'équilibre entre différentes phases d'un mélange ternaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Diagramme triangulaire rectangle. – Courbe de partage ou d'équilibre. – Coefficient de partage. <p>7-2-2 - Méthodes d'extraction.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Extraction simple contact. – Extraction à étages multiples. – Extraction à contre courant : <ul style="list-style-type: none"> • bilan-matière ; • détermination du nombre d'étages théoriques par la méthode de Mac Cabe et Thiele (dans le cas de solutions diluées on utilisera les titres massiques, dans le cas général on utilisera les rapports massiques), débit de solvant minimum. 	<p>Construction d'un diagramme triangulaire - détermination des conodales.</p> <p>Extraction liquide-liquide, en continu ou en discontinu.</p>	<p>Le diagramme triangulaire ne sera pas utilisé pour les extractions à contre courant.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>7-2-3 - Appareillages.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mélangeur-décanteur ; colonnes agitées, pulsées, à garnissage, à plateaux. - Analyse de sécurité : dysfonctionnement, engorgement, ... 		
<p>7 - 3 - L'EXTRACTION SOLIDE-LIQUIDE.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Méthodes d'extraction spécifiques : description de la percolation, la macération, l'infusion, la décoction, l'enfleurage. - Bilan matière. - Appareillage. 		<p>Pas de calculs à l'examen.</p>
<p>7 - 4 - L'EXTRACTION LIQUIDE-GAZ. ABSORPTION ET DÉSORPTION</p>		
<p>7-4-1 - Notions théoriques sur l'équilibre liquide-gaz.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Loi de Henry, influence de P et de T, courbe de partage, isothermes. <p>7-4-2 - Méthodes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absorption simple contact. - Absorption à contre-courant : bilan, droite opératoire et détermination du nombre d'étages théoriques par la méthode de Mac Cabe et Thiele dans le cas de solutions diluées (titres molaires) et dans le cas général (rapports molaires). <p>7-4-3 - Appareillage : description, analyse de sécurité et applications ; applications à la protection de l'environnement.</p>	<p>Absorption ou (et) désorption.</p>	

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
– Essoreuse continue.		

9^{ème} PARTIE : TECHNIQUES DIVERSES.

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>9 - 1 - STOCKAGE ET TRANSPORT DES SOLIDES.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silos. - Trémies. - Transporteurs à vis et à bande. - Ecluse rotative. - Transport par fluide. 		A voir en schéma.
<p>9 - 2 - MISE EN CONTACT D'UN SOLIDE ET D'UN FLUIDE.</p> <p>9-2-1 - Définitions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Granulométrie. - Porosité (fraction de vide). - Surface spécifique. - Dureté. - Friabilité. - Diagrammes de répartition. <p>9-2-2 - Fluidisation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe. - Applications aux réacteurs, fours et sécheurs. <p>9-2-3 - Colonnes à garnissage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe de fonctionnement. - Points de charge et d'engorgement. - Applications aux colonnes de lavage, de neutralisation et de rectification. Utilisation d'abaques pour les pertes de charge. 	<p>Sur pilotes d'étude de ces phénomènes.</p> <p>Sur pilotes d'étude de ces phénomènes ou sur pilotes d'absorption ou de rectification.</p> <p>En fonction des possibilités.</p>	<p>En travaux pratiques et en schéma.</p>
<p>9 - 3 - FRAGMENTATION DES SOLIDES.</p> <p>9-3-1 - Définitions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Broyage - Concassage - Pulvérisation - Désintégration. 	<p>En fonction des possibilités.</p>	<p>Risques liés aux poussières.</p>

COURS	TRAVAUX PRATIQUES	COMMENTAIRES
<p>9-3-2 - Méthodes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compression. - Percussion. - Abrasion. - Cisaillement. - Arrachement. <p>9-3-3 - Appareillage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Broyeurs à marteau et à boulets. 		<p>Étude en schéma lié aux procédés de séparation</p>
9 - 4 - SÉPARATION SOLIDE-GAZ : DÉPOUSSIÉRAGE.		
<p>Par lavage - par cyclone - par filtration - par procédé électrostatique</p> <p>9 - 5 - ÉCHANGE D'IONS.</p> <p>Principe de fonctionnement des résines échangeuses d'ions. Application au traitement de l'eau.</p>	En fonction des possibilités.	<p>A l'occasion de ce chapitre, on donnera les bases de l'absorption et son application à la chromatographie.</p>
9 - 6 - PROCÉDÉS A MEMBRANE.		
<ul style="list-style-type: none"> - Différents types de membranes. - Principe de la perméation. - Principe de l'ultrafiltration. - Principe de la filtration tangentielle. - Principe de la dialyse. - Principe de l'osmose inverse. 	En fonction des possibilités.	<p>Description et principe de fonctionnement. Forces motrices mises en jeu. Limites d'utilisation. Comparaison avec d'autres méthodes classiques de séparations. Les calculs ne concerneront que les bilans-matière. Applications à la protection de l'environnement.</p>
9 - 7 - FORMULATION.		
<ul style="list-style-type: none"> - Définition. - Rôle des différents additifs (tensioactifs, charges etc...). - Phénomènes physiques mis en jeu. 		<p>Les différentes notions pourront être illustrées par un exemple, de façon à montrer les problèmes rencontrés en formulation.</p>