

13. Commande en couple d'une machine à courant continu alimentée par un hacheur. Réglage de la boucle de courant.

14. Machine synchrone couplée au réseau : caractéristiques et diagrammes de fonctionnement, réversibilité.

15. Identification des paramètres électriques et mécaniques d'une machine synchrone non saturée. Prédétermination d'un point de fonctionnement en moteur. Oscillations.

16. Machine synchrone autopilotée alimentée par onduleur de tension. Influence du calage angulaire.

17. Bilan de puissance d'une machine asynchrone triphasée à cage. Modes de fonctionnement.

18. Machine asynchrone triphasée à cage alimentée par onduleur de tension : mise en évidence des caractéristiques à fréquence variable. Autopilotage.

19. Moteur asynchrone triphasé alimenté en monophasé. Démarrage. Caractéristiques. Influence du condensateur. Déclassement.

20. Moteur pas à pas. Illustration du principe, différents modes de fonctionnement.

21. Régulation de température sur un système physique simple : identification, détermination et mise en œuvre d'un correcteur.

22. Régulation de niveau sur un système physique simple : identification, détermination et mise en œuvre d'un correcteur.

23. Régulation de débit sur un système physique simple : identification, détermination et mise en œuvre d'un correcteur.

24. Régulation de pH sur un système physico-chimique simple : identification, détermination et mise en œuvre d'un correcteur.

25. Mesures de rendement d'un système d'éclairage. Comparaison lampe à décharge (de type fluocompact), lampe à incandescence, suivant le mode d'alimentation.

### **Sciences physiques, option procédés physico-chimiques**

On retrouvera parfois les mêmes rubriques dans des épreuves relevant de disciplines différentes. Les candidats doivent savoir concilier unicité des bases théoriques et diversité des points de vue.

### **A - Épreuves écrites d'admissibilité**

Les titres ci-dessous renvoient à des éléments de programme donnés en annexe. Sauf spécification particulière, le niveau des épreuves écrites est celui du deuxième cycle universitaire.

#### **1) Composition de physique (A-1)**

- Physique
- États de la matière, thermodynamique et cinétique chimique
- Mécanique des fluides et phénomènes de transport

#### **2) Composition de modélisation et commande de procédés (A-2)**

- Opérations unitaires
- Réacteurs chimiques
- Contrôle, régulation et automatique
- Modélisation, simulation et optimisation

#### **3) Problème de chimie, génie chimique et de procédés physico-chimiques (A-3)**

- Chimie
- États de la matière, thermodynamique et cinétique chimique
- Mécanique des fluides et phénomènes de transport
- Opérations unitaires
- Réacteurs chimiques

### **B - Épreuves orales et pratiques d'admission**

Sauf spécification particulière, le niveau des leçons est celui du premier cycle universitaire ou des classes post-baccalauréat. Des leçons au niveau des classes de lycée (seconde, première, terminale) peuvent aussi être demandées. Lorsque le sujet d'une leçon s'y prêtera, le candidat présentera une illustration expérimentale.

#### **1) Leçon de génie chimique et de procédés physico-chimiques, de modélisation et de commande (B-1)**

- Opérations unitaires
- Réacteurs chimiques
- Contrôle, régulation et automatique
- Modélisation, simulation et optimisation
- Chimie
- États de la matière, thermodynamique et cinétique chimique
- Mécanique des fluides et phénomènes de transport

#### **2) Leçon de physique (B-2)**

- Physique

- États de la matière, thermodynamique et cinétique chimique

- Mécanique des fluides et phénomènes de transport

### 3) Montage de génie chimique et de procédés physico-chimiques, de modélisation et de commande (B-3)

Lors de cette épreuve le candidat devra démontrer son aptitude à utiliser une unité pilote de génie des procédés aussi bien pour analyser son fonctionnement (étude d'un mécanisme d'engorgement ou d'un transfert de chaleur, par exemple) que pour en automatiser la conduite. L'unité pilote qui sera proposée appartient à la liste suivante : réacteur agité polyvalent, colonne d'absorption, colonne de rectification discontinue, colonne de rectification continue, colonne d'extraction liquide-liquide ou batterie de mélangeurs-décanteurs, banc de dynamique des fluides, banc d'échange thermique, pompe à chaleur à compression, ou tout dispositif constitué par assemblage de sous-ensembles appartenant aux unités précédemment nommées. Le candidat aura la possibilité de mettre en œuvre des petits montages pour illustrer un aspect du fonctionnement de son installation (détermination d'un équilibre liquide-liquide, par exemple). L'unité pilote pourra être remplacée par un petit montage pour illustrer certains problèmes de commande.

Au cours de cette épreuve, le candidat pourra être amené à aborder les problèmes de sécurité et de respect de l'environnement associés à la mise en œuvre du pilote.

**Annexes** relatives aux connaissances mises en œuvre dans les différentes parties du programme de l'option :

#### • Physique

Programmes de physique des classes de seconde, première, terminale et classes préparatoires aux grandes écoles dans la liste ci-après. Les programmes sont ceux appliqués à la rentrée de l'année où est ouvert le concours et les limitations imposées par les commentaires des programmes ne s'appliquent pas au concours de l'agrégation.

- seconde y compris les enseignements de

détermination "physique chimie de laboratoire (PCL)" et "mesures physiques et informatique (MPI)",

- première S,

- terminales S, y compris l'enseignement de spécialité "Physique-Chimie",

- cycle terminal de la série STL, options CLPI et PLPI

- classes préparatoires aux grandes écoles :

. classes de première année :

. Physique, Chimie et Sciences de l'Ingénieur (PCSI options PC et PSI),

. Biologie, Chimie, Physique et Sciences de la Terre (BCPST).

. classes de deuxième année : Physique et Chimie (PC),

. Physique et Sciences de l'Ingénieur (PSI),

. Biologie, Chimie, Physique et Sciences de la Terre (BCPST).

• États de la matière, thermodynamique et cinétique chimique

1 - Notions générales

- Systèmes : systèmes fermés, systèmes ouverts, grandeurs intensives, grandeurs extensives, règle des phases, variance, transformations d'un système.

- Principes de la thermodynamique : travail, chaleur, énergie interne, enthalpie, entropie, potentiels thermodynamiques, coefficients calorimétriques et thermoélastiques.

- Interprétation statistique de l'entropie, distribution de Boltzmann.

- Mouvement brownien, origine microscopique de la diffusion et du transport, diffusion en régime concentré.

- Équations d'état, gaz parfait, gaz réels.

- Étude thermodynamique des machines thermiques (cycle de Carnot, cycle de Rankine, cycles réels).

- Tension superficielle : aspects mécaniques et thermodynamiques, loi de Laplace.

2 - Équilibres multiphasés et multicomposants ; états d'équilibre des systèmes avec ou sans réactions chimiques

- Conditions d'équilibre d'un système à plusieurs constituants dans plusieurs phases : potentiel chimique, activité, variance, gran-

deurs standards de transformations physiques et/ou chimiques.

- Corps purs sous plusieurs phases.
- Systèmes monophasés de compositions variables (comportement idéal, comportement réel, cas des électrolytes, état standard).
- Mélanges multicomposants (diagramme de phases, pression osmotique).
- Affinité chimique, loi d'action de masse, déplacement d'équilibre.

3 - États de la matière : milieux complexes et organisation moléculaire et supramoléculaire

- Solide (cristal, verre), liquide, état supercritique, gaz.

- Colloïdes : nature, interactions en solution, stabilité, agrégation irréversible.

- Macromolécules : nature (systèmes synthétiques et biologiques), états fondu / vitreux / cristallin, différents régimes de concentration, structure et dynamique en solution (diffusion, reptation), macromolécules chargées (poly-électrolytes), polymères aux interfaces (rôle floculant, défloculant), gels polymères et caoutchoucs (rhéologie, viscoélasticité).

- Tensioactifs et émulsions : nature (y compris lipides et polymères), propriétés interfaciales, notions sur le polymorphisme des solutions, mousses, applications aux transports et aux réactions chimiques (polymérisation en émulsion).

- Méthodes d'investigation : diffusion et diffusion fractionnée, microscopies (électronique, AFM, champ proche...), rhéologie, chromatographie et électrophorèse.

- Notions sur les modèles théoriques des systèmes dispersés : modèle du milieu effectif, transition de percolation, modèles d'agrégation, notion de fractal.

● Mécanique des fluides et phénomènes de transport

1 - Notions générales

- Fluides au repos : modèle continu, fluides compressibles et incompressibles, statique des fluides, transport par diffusion thermique et massique (lois macroscopiques, origine microscopique).

- Cinématique : descriptions eulérienne et

lagrangienne, champs de vitesse, lignes et tubes de courant, tenseur des déformations et vorticité, conservation de la masse.

- Équations du mouvement : tenseur des contraintes, équation d'Euler, viscosité, équation de Navier-Stokes, applications aux cas de géométries simples (écoulements quasiparallèles, lubrification).

- Bilans de quantité de mouvement et d'énergie, relation de Bernoulli. Perte de charge dans une conduite.

- Analyse dimensionnelle : nombres sans dimension, analyse en ordre de grandeur, similitudes.

- Écoulements laminaires et turbulents : nombre de Reynolds, couche limite laminaire, loi de Stokes et écoulement à  $Re \ll 1$  autour d'un obstacle, sillage, zones de stagnation, écoulements turbulents en conduite et près d'une paroi (loi logarithmique), équation de Reynolds, transport de quantité de mouvement, notion de turbulence homogène (ces sujets seront abordés en privilégiant l'approche physique plutôt que le formalisme mathématique).

- Instabilités hydrodynamiques et chaos : mécanismes d'instabilité, diagramme de stabilité, seuil, amplitude, exemples (instabilité Rayleigh-Bénard, instabilité de Taylor-Couette), notion de transition vers le chaos.

- Dispersion hydrodynamique : nombre de Péclet, dispersion de Taylor, dispersion turbulente.

- Notions sur le mélange.

- Application aux appareils : conduites, vannes, pompes.

- Méthodes de caractérisation des écoulements et méthodes de mesure des pertes de charge

2 - Milieux dispersés

- Suspensions et émulsions (diluées et concentrées) : sédimentation, crémage, viscosité, lits fluidisés, filtration.

- Milieux granulaires : empilements, statique (angle au repos, effet Janssen), écoulement en trémie.

- Régimes d'écoulement liquide/liquide et gaz/liquide en conduite (notions qualitatives).

- Milieux poreux : loi de Darcy, perméabilité,

échanges aux parois, écoulements diphasiques en milieux poreux, dispersion hydrodynamique, applications à la chromatographie.

- Écoulements de films liquides.

3 - Rhéologie et écoulement de fluides complexes

- Viscosité, fluide Newtonien, fluide réel.

- Méthodes de caractérisation, principe de fonctionnement des rhéomètres.

- Liquides non newtoniens au comportement indépendant du temps : différents types de comportement (rhéofluidifiant, rhéoépaississant, fluides à seuil), origine microscopique, écoulements laminaires simples (cellule de Couette, conduites).

- Fluides viscoélastiques : viscoélasticité linéaire, origine microscopique, modèles analogiques (fluide de Maxwell, solide de Kelvin-Voigt), notion de contraintes normales et de viscosité élongationnelle, nombres sans dimension caractéristiques.

- Agitation dans les réacteurs chimiques

4 - Transferts d'énergie et de masse

- Différents types de transferts : diffusion, convection naturelle et forcée, transfert radiatif, migration (espèces chargées) ; nombres sans dimension caractéristiques.

- Couches limites thermiques et solutales : cas laminaire et turbulent, applications à des géométries simples, corrélations.

- Échangeurs de chaleur, principes de fabrication et dimensionnement

● Opérations unitaires

Les opérations unitaires sont considérées sous trois points de vue : conception d'une nouvelle installation, analyse des performances d'une installation existante et conduite d'une installation. On insistera sur les analogies existant entre les opérations unitaires en s'appuyant sur le petit nombre de mécanismes élémentaires qu'elles mettent en jeu : circulation des phases, transferts de matière et de chaleur, et transformations chimiques. On s'appuiera aussi sur le fait qu'un même appareil, par exemple la colonne à garnissage, est utilisé dans plusieurs opérations. Les réacteurs chimiques n'apparaissent pas ici : ils sont présents dans le paragraphe "Réacteurs chimiques".

I - Principes de fonctionnement des appareils du génie des procédés

Bacs agités, bacs en cascade, faisceaux tubulaires, colonnes, contacteurs diphasiques, lits fixes, lits fluidisés, lits mobiles...

II - Notions de base

Description des écoulements, transferts entre phases, distribution des temps de séjour, bilans de masse et d'énergie, étages théoriques.

III - Opérations gaz-liquide

Absorption-désorption, rectification continue et discontinue, distillation, séparation

IV - Opérations gaz-solide

Adsorption-désorption, chromatographie, séchage, atomisation, fluidisation, séparation, filtration, sédimentation

V - Opérations liquide-liquide

Extraction, mélange, dispersion, décantation, séparation

VI - Opérations liquide-solide

Adsorption-désorption, extraction, chromatographie, dissolution, cristallisation, précipitation, fluidisation, séparation

VII - Opérations sur les solides

Broyage, tamisage, enrobage, granulation, compactage, transport pneumatique

VIII - Séparations sur membrane

IX - Échangeurs de chaleurs

Échangeurs à contact direct ou à travers une paroi, avec ou sans changement de phase.

X - "Opérations unitaires" naturelles et écosystèmes : mécanismes de transport dans les écosystèmes.

● Réacteurs chimiques

Les transformations chimiques ne sont pas l'apanage des seuls réacteurs de production. On en trouve aussi dans des opérations de séparation (complexation, précipitation, mise en solution,...). Ceci est une raison supplémentaire pour traiter les réacteurs chimiques en continuité avec les autres opérations unitaires. Les notions de stabilité et d'emballement d'un réacteur seront présentées dans les cas les plus simples. La sécurité des réacteurs chimiques sera également abordée.

I - Transformations chimiques

Vitesse d'une réaction chimique. Loi de vitesse. Ordre par rapport à un constituant. Effet de la

température. Bilans de masse et d'énergie.

## II - Réacteurs monophasiques

Réacteurs agités discontinus. Réacteurs agités continus. Réacteurs agités multi-étagés. Réacteurs tubulaires. Comparaison des différents types. Stabilité et emballement, sécurité. Distribution des temps de séjour.

## III - Réacteurs à deux phases fluides

Réactions dans les milieux diphasiques fluide-fluide. Coopération entre transport et transformation chimique. Principaux réacteurs gaz-liquide et liquide-liquide.

## IV - Réacteurs catalytiques hétérogènes

Couplage réaction-diffusion dans un grain ou un lit de catalyseur. Principaux réacteurs : lit fixe, lit transporté, lit fluidisé et lit triphasique.

V - Réacteurs avec une phase solide réactive  
Particule réactive. Transformation d'un ensemble de particules. Divers réacteurs utilisés.

### ● Contrôle, régulation et automatique

#### I - Dynamiques des systèmes

On étudie la dynamique des systèmes continus à paramètres localisés, en recherchant des applications parmi les opérations unitaires les plus simples. On étend ensuite les résultats aux systèmes échantillonnés et aux systèmes à paramètres distribués.

Notions d'état, de commande, de perturbation et de sortie. Systèmes linéaires et non linéaires, linéarisation. Dynamique et stabilité des systèmes linéaires. Dynamique et stabilité des systèmes non-linéaires. Simulation numérique des comportements dynamiques. Notion de fonction de transfert. Échantillonnage. Dynamique des systèmes échantillonnés. Éléments de dynamique des systèmes à paramètres distribués. Modélisation et identification paramétrique.

#### II - Commande d'une installation

Principaux problèmes de commande : sécurité, régulation, conduite, démarrage et arrêt. Stratégie de commande en relation avec les objectifs de production (qualité et sécurité). Choix de la structure et des composants d'un système de commande.

Organes d'un système de commande :

- capteurs classiques des procédés physico-chimiques

- actionneurs de l'industrie chimique (vannes, pompes, moteurs)

- signaux, convertisseurs, transmetteurs et réseaux

- calculateurs, automates programmables, systèmes numériques de contrôle-commande.

#### III - Commande logique

Logique booléenne : algèbre, opérateurs, fonctions, simplification. Logique séquentielle : automate à états discrets, modèle GRAFCET. Notions de fonctionnement d'un automate programmable.

#### IV - Commande continue

Boucle de contre-réaction. Le régulateur PID. Correction anticipée des perturbations. Réglage des paramètres d'un PID. Filtrage des perturbations. Notions de commande d'un système multivariable : découplage des commandes et matrice de contre-réaction.

V - Approches plus avancées de la commande  
Commande optimale, commande prédictive, commande par modèle interne. Commande optimale d'un procédé de type "batch" : trajectoire optimale et corrections de trajectoire. Utilisation de la logique floue et des réseaux de neurones.

### ● Modélisation, simulation et optimisation

#### I - Modélisation et simulation dynamique des ateliers

Cette partie concerne les opérations unitaires et les ateliers, en liaison avec les problèmes de stabilité et de commande. Elle est présentée dans le paragraphe "Contrôle, régulation et automatique".

II - Modélisation simple des opérations unitaires  
Utilisation méthodique des bilans pour modéliser les opérations unitaires. Diverses représentations simplifiées des écoulements. Rôle des hypothèses d'équilibre. Résolution graphique et numérique des modèles.

#### III - Modélisation avancée des opérations unitaires

1°) Transferts multiconstituants, transferts à haut flux et transferts couplés.

2°) Notions sur l'utilisation de la mécanique des fluides numérique pour la modélisation et la simulation du fonctionnement d'une opération.

#### IV - Modélisation et simulation statique des ateliers

Principes de base et constitution des logiciels de simulation du fonctionnement d'un atelier. Etude d'un logiciel industriel. Recherche de l'arrangement optimal des opérations unitaires. Optimisation des conditions d'opération d'un atelier.

V - Modélisation et expérimentation : stratégie expérimentale, plans d'expériences, traitement des données, identification paramétrique d'un modèle.

#### ● Chimie

1 - Programmes de chimie des classes de seconde, première et terminale et classes préparatoires aux grandes écoles (les limitations imposées par les commentaires de ces programmes ne s'appliquent pas au programme du concours d'agrégation).

. seconde y compris les enseignements de détermination "physique chimie de laboratoire (PCL)" et "mesures physiques et informatique (MPI)",

. première S,

. terminales S, y compris l'enseignement de spécialité "Physique-Chimie",

. cycle terminal de la série STL, options CLPI et PLPI

. classes préparatoires aux grandes écoles :

- classes de première année : Physique, Chimie et Sciences de l'Ingénieur (PCSI options PC et PSI),

- classes de deuxième année : Physique et Sciences de l'Ingénieur (PSI).

Les épreuves pourront en outre comporter des questions axées sur les connaissances auxquelles il est fait appel dans les programmes de travaux pratiques des classes de PCSI, PC et PSI -

#### 2 - Chimie analytique

2.1 Étude des réactions chimiques en solution :

- Réactions acido-basiques, réactions d'oxydo-réduction, équilibres de complexation, précipitations, extraction liquide-liquide, échange d'ions sur résine.

2.2 Méthodes d'analyse spectroscopiques :

- Présentation des différents types d'interaction matière-rayonnement.

- Spectroscopies atomiques : émission, absorption

- Spectroscopies moléculaires (pour chaque technique, théorie simplifiée et exploitation de spectres) : Ultraviolet, Visible, Infrarouge, Résonance Magnétique Nucléaire (1 h, 13C), Masse, Fluorescence.

2.3 Méthodes d'analyse chromatographique et électrophorétique :

- Grandeurs fondamentales relatives à ces techniques,

- Chromatographie en phase gazeuse (étude qualitative et quantitative, programmation de température, colonnes garnies et capillaires)

- Chromatographie en phase liquide à haute performance (partage, exclusion, adsorption, ionique)

- Électrophorèse et électrophorèse capillaire.

2.4 Méthodes électrochimiques d'analyse :

- Conductimétrie,

- Courbes intensité-potential

- Polarographie et méthodes dérivées.

- Ampérométries, potentiométries, voltampérométries.

- Coulométrie.

3 - Méthodes de synthèse et procédés industriels

3.1 En chimie organique :

Oxydation et déshydrogénation, réductions et hydrogénations, halogénéation, élimination (déshydratation et déhydrohalogénéation), estérification, hydrolyse, saponification, condensation en milieu alcalin, synthèse diénique, substitutions aromatiques (sulfonation, nitration, réactions du type Friedel-Crafts, amination, diazotation, copulation, réactions biologiques, production des oléfines et des aromatiques, catalyse homogène et hétérogène, polymérisation radicalaire ; craquage, reformage, isomérisation des hydrocarbures.

3.2 En chimie inorganique :

grandes synthèses industrielles de la chimie inorganique des principaux éléments : hydrogène, alcalins, aluminium, carbone, silicium, azote, phosphore, oxygène, soufre, halogènes, fer, uranium, etc. ...