

Chimia 53 (1999) 242–245
© Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
ISSN 0009–4293

Travaux de diplôme à l'EIG: formation et recherche

Jacques Painot*

Les travaux de diplôme constituent l'aboutissement des études d'ingénieur. Dans la section de génie chimique, nous proposons aux étudiants des sujets provenant de divers milieux professionnels. Les travaux se font ainsi en relation avec des experts travaillant en dehors de l'école ce qui permet à l'élève de sortir du cadre scolaire. Dans un grand nombre de cas, les candidats peuvent effectuer leur diplôme directement en milieu externe. Le travail en milieu industriel est enrichissant pour le futur ingénieur, il lui permet d'acquérir de nouvelles compétences et de développer des qualités relationnelles nécessaires au travail en équipe. Il l'oblige à faire preuve d'initiative personnelle et de créativité.

Les sujets proposés provenant de l'industrie reflètent la variété et la pluridisciplinarité de la formation de l'ingénieur en génie chimique. Nous donnerons ci-dessous un tableau très résumé des 55 différents travaux effectués depuis 1995.

Génie des procédés: développement d'un papier d'emballage transparent absorbant les UV, étude d'un mélangeur statique SMXL dans un réacteur tubulaire, optimisation d'une installation de cristal-

lisation, récupération de la chaleur des eaux de condensation d'une usine de production, étude de la fabrication d'un biocarburant, planification d'une unité pilote de transfert de chaleur, modélisation des coefficients de transfert de chaleur dans un réacteur haute pression.

Techniques environnementales: modélisation des émissions gazeuses d'une unité de production, traitement des eaux mercurielles, désulfuration du biogaz par perméation, réduction du volume de boues métalliques dans une station de détoxification, mesure des performances de masses filtrantes, régulation du soutirage des boues dans une STEP, traitement électrochimique d'effluents contenant du zinc, évaluation et mesure de la contamination d'un site de stockage, purification d'air par perméation transmembranaire, étude d'un aéro-décanteur pour le traitement des eaux usées, étude de l'efficacité de filtres à sable d'une station de pompage.

Chimie des procédés: catalyse de la cyclisation d'un heptadiène, purification d'un sous-produit d'estérification, analyse de la perméabilité aux gaz de films plastiques multicouches, réactivité d'un catalyseur pour une réaction d'hydrogénation.

Synthèses: étude de la synthèse d'un époxyde, étude de la cyclisation en continu des pseudo-ionones, étude de la solubilisation de protéines, étude de la transformation d'un ester en aldéhyde, étude de la synthèse d'une cétone.

Automatique: logique floue pour l'optimisation d'une colonne de distillation, automatisation par *Labview* d'un réacteur pilote, automatisation d'un banc de test de pompes.

Sécurité: analyse de risque d'une installation de stockage.

A titre d'exemple, nous présenterons plus en détail deux travaux:

- 1) Etude d'un nouveau type d'oxygénateur comme appareil respiratoire: sujet présenté par M. *Xavier Riom* en collaboration avec le centre antituberculeux de l'Hôpital de Genève.
- 2) Incorporation d'agent absorbant UV dans des films d'emballage transparents: sujet présenté par M. *Alexander Scherl* en collaboration avec la société Isco.

1. Oxygénateur à perméation gazeuse

Introduction: de nos jours un nombre croissant de personnes souffrent d'insuffisance respiratoire. L'inhalation d'air sur-oxygéné est un des traitements palliatifs permettant d'allonger significativement l'espérance de vie de ces malades. Les appareils d'enrichissement d'air en oxygène utilisés en médecine ambulatoire pour le traitement des maladies chroniques sont lourds, onéreux et relativement bruyants. Ils sont basés sur des techniques d'adsorption préférentielle de l'azote de l'air sur des tamis moléculaires. Par ailleurs, l'utilisation de cartouches d'oxygène pressu-

*Correspondance: Prof. Dr. J. Painot
Section de Génie Chimique
Ecole d'Ingénieurs de Genève
4 rue de la Prairie
CH-1202 Genève
E-Mail: painot@eig.unige.ch

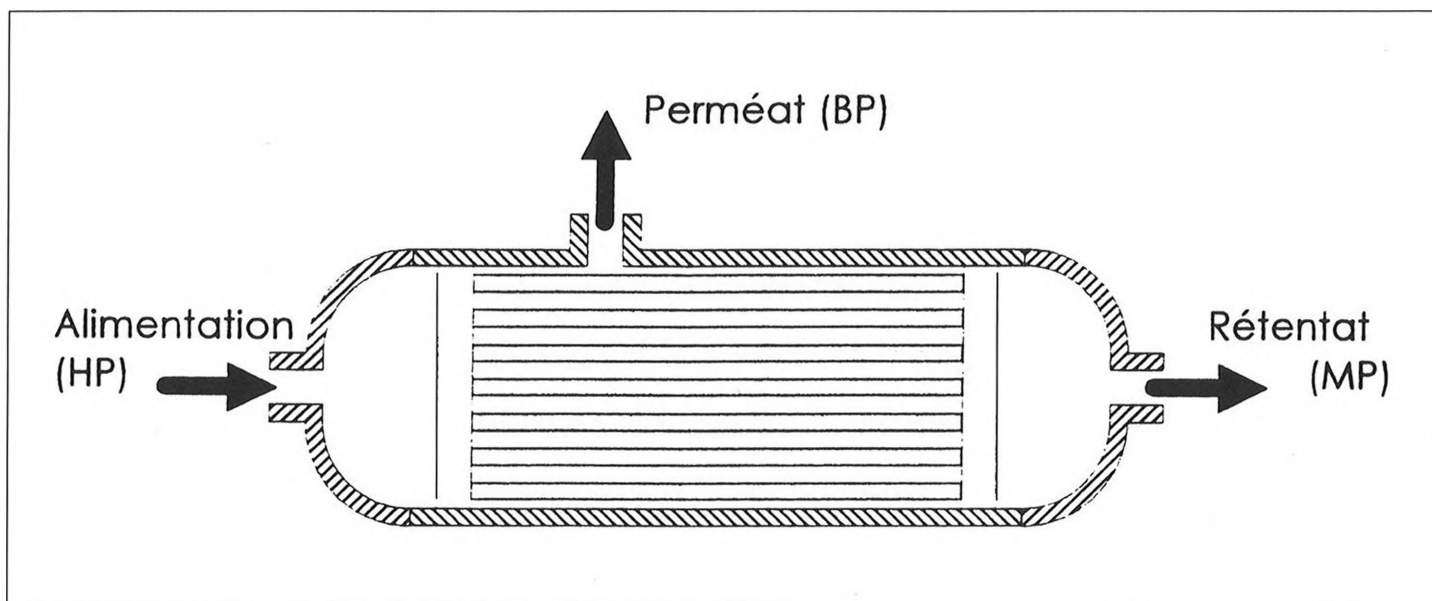


Fig. 1. Représentation schématique d'un perméateur en phase gazeuse: débit d'alimentation d'air à haute pression (HP), débit de perméat à basse pression riche en oxygène (BP), débit de rétentat à moyenne pression riche en azote (MP)

risé n'est, pour l'instant, pas autorisée en Suisse en traitement ambulatoire pour des questions de sécurité.

But du travail: il s'agit d'étudier la possibilité de mettre en œuvre la technique de perméation gazeuse afin d'enrichir l'air en oxygène et de dimensionner un appareil respiratoire permettant l'inhalation d'air suroxygéné en soins ambulatoires en tenant compte du confort d'utilisation, des besoins physiologiques du patient et du coût du système.

Principe de la perméation gazeuse: la fig. 1 illustre le principe général de la séparation transmembranaire de différents constituants d'un mélange gazeux. Celle-ci a pour force motrice un gradient de pression de part et d'autre de la membrane. L'écoulement est tangentiel à la membrane.

Le mélange à traiter (air dans notre cas) entre dans le module. Il constitue le flux haute pression (HP) et se divise au voisinage de la membrane en:

- un flux perméé à basse pression (BP), riche en oxygène, traversant la membrane
- un flux retenu à pression moyenne (MP), riche en azote, évacué dans notre cas.

Les membranes utilisées sont de structure complexe et constituées essentiellement d'une couche fine (env. 0.1μ) assurant la sélectivité et d'une couche plus épaisse, poreuse, assurant la résistance mécanique. Les deux critères principaux qualifiant une membrane sont la perméa-

Tableau 1. Pourcentage de saturation de l'hémoglobine (SaO_2) en fonction de la teneur en oxygène de l'air inspiré

O_2 [% vol]	60	50	38	40	43
SaO_2 [% mol]	92.5	91.5	91	90	89

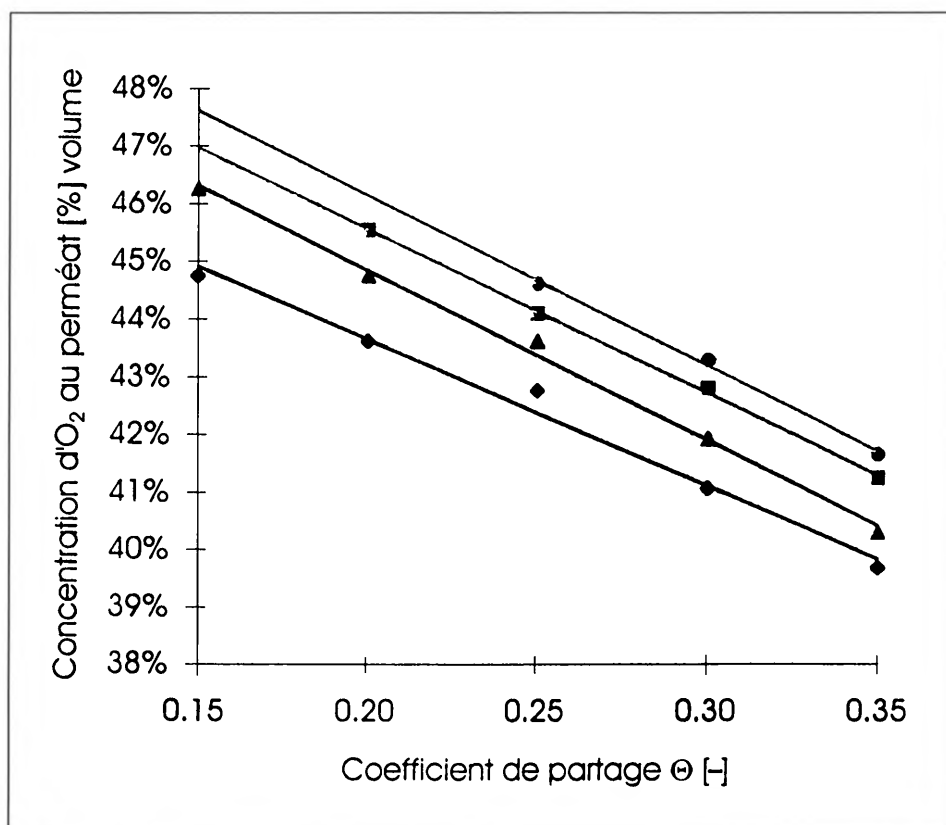


Fig. 2. Variation de la teneur en oxygène dans le perméat en fonction du coefficient de partage pour différents débits perméés et différentes pressions de services: ● 8 [l/min] et 7.5 [bar], ■ 7 [l/min] et 7 [bar], ▲ 6 [l/min] et 6 [bar] ◆ 5 [l/min] et 5 [bar]

bilité et la sélectivité. Ce travail est effectué sur des modules disponibles dans notre laboratoire.

Besoins physiologiques des patients: pour le calcul d'un oxygénateur, il est indispensable de connaître avant tout les besoins du patient. Actuellement, les unités disponibles fournissent de l'oxygène pur qui se mélange en partie à l'air ambiant à chaque inspiration du malade. Dans le cas d'un perméateur, la teneur en oxygène fournie est nettement plus faible. Toutefois, l'assimilation de l'oxygène par le sang est un phénomène complexe qui dépend de nombreux facteurs et il est possible qu'une teneur supérieure à 40 ou 50% soit suffisante pour saturer l'hémoglobine du sang dans de nombreux cas. Il est donc important de connaître l'effet obtenu par de l'air à différentes teneurs en oxygène sur des patients souffrant d'insuffisance respiratoire. Dans le domaine médical, le critère usuellement contrôlé est le pourcentage de saturation de l'hémoglobine (SaO_2). Il s'agit du rapport molaire entre l'hémoglobine oxydée et l'hémoglobine totale. N'ayant pas trouvé de données cliniques du SaO_2 en fonction de la teneur en oxygène de l'air inhalé, nous avons mis au point un test permettant de le déterminer. Les résultats avec un patient sont donnés dans le *tableau 1*. Le SaO_2 jugé acceptable par les médecins

pour des malades est de l'ordre de 90%. On voit que ce seuil est déjà atteint avec des teneurs de l'air en oxygène de 40%.

Résultats obtenus avec un module à fibres creuses: un module à fibres creuses possédant une surface spécifique de l'ordre de $10000 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ a été testé dans sa configuration simple (1 entrée HP et sortie directe MP et BP). Les paramètres suivants ont été déterminés: débit d'alimentation, débit perméé, coefficient de partage θ (= débit perméé/débit d'alimentation), pression réduite (= pression du perméat/pression d'alimentation), concentration du perméat.

Des exemples des relations obtenues pour ce module sont montrés dans les *figs. 2 et 3*. On peut se rendre compte que la teneur en oxygène dans le perméat évolue favorablement avec le débit perméé et la pression et défavorablement avec le coefficient de partage. La connaissance de ces relations permet de faire le choix des conditions de fonctionnement de l'oxygénateur et de déterminer les différents composants du système, notamment le compresseur.

Caractéristiques de l'oxygénateur projeté: les résultats des différentes mesures ont permis d'élaborer un prototype virtuel dont les principales caractéristiques sont les suivantes: débit d'air aspiré: 20 [NI/

min]; débit enrichi: 4 [NI/min]; concentration d' O_2 : 42.5 [% vol.]; pression de service: 4 [bar]; puissance: 150 [W]; niveau sonore: 45 [dB]; prix de revient: env. 3000 CHF.

Conclusions: ces premiers résultats montrent que le procédé par perméation pourrait être rentable pour autant que la teneur en oxygène nécessaire ne soit pas trop élevée. Une amélioration sensible de cette caractéristique peut être obtenue avec deux perméateurs en série et un compresseur à deux étages. Toutefois, l'augmentation de la puissance nécessaire renchérit le système et augmente le niveau sonore. Les avantages principaux du système sont: le fonctionnement en continu, l'humidité de l'air enrichi, la réduction du niveau sonore. Dans l'optique de la réalisation d'un prototype, il est indispensable de mesurer l'apport d' O_2 nécessaire sur un nombre plus grand de patients afin de valider les conditions de travail du module de perméation. Une recherche systématique sur d'autres modules disponibles devra être entreprise.

2. Augmentation de l'absorbance UV d'un film d'emballage

Introduction: Les films plastiques transparents utilisés pour l'emballage des denrées périssables sont relativement perméables aux UV. Ces rayons (100–400 nm) sont responsables en partie du rancissement des graisses. Le stockage à la lumière (étalages des magasins) est donc relativement court et pour le prolonger, les fabricants ont souvent recouru à des papiers teintés ou aluminisés qui ne permettent pas de voir le produit emballé, ce qui est défavorable sur le plan commercial.

But du travail: les films d'emballage modernes sont souvent de structures multicouches pour répondre à différents critères: résistance à l'humidité, facilité d'accrochage pour les encres d'imprimerie, résistance mécanique, résistance aux techniques de stérilisation *etc.*

Il s'agit d'étudier la possibilité d'incorporer différents agents chimiques absorbant fortement les UV dans des laques nitrocellulosiques. Ces laques, qui servent de couche de protection après impression des logos et autres informations sur l'emballage, seront ensuite appliquées sur des films transparents de polypropylène (OPP) et de polyester (PETP) puis testées avec un spectromètre UV/visible monofaisceau avec détecteur à diodes.

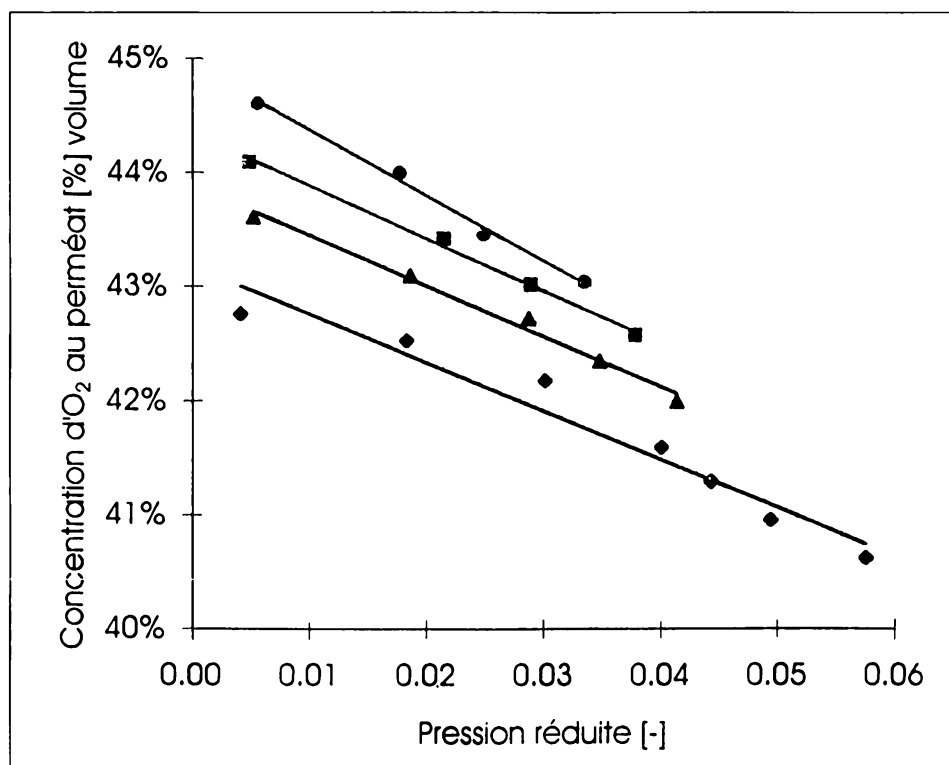


Fig. 3. Variation de la teneur en oxygène dans le perméat en fonction de la pression réduite pour différents débits perméés et un coefficient de partage de 0.25: ● 8 [l/min], ■ 7 [l/min], ▲ 6 [l/min], ◆ 5 [l/min].

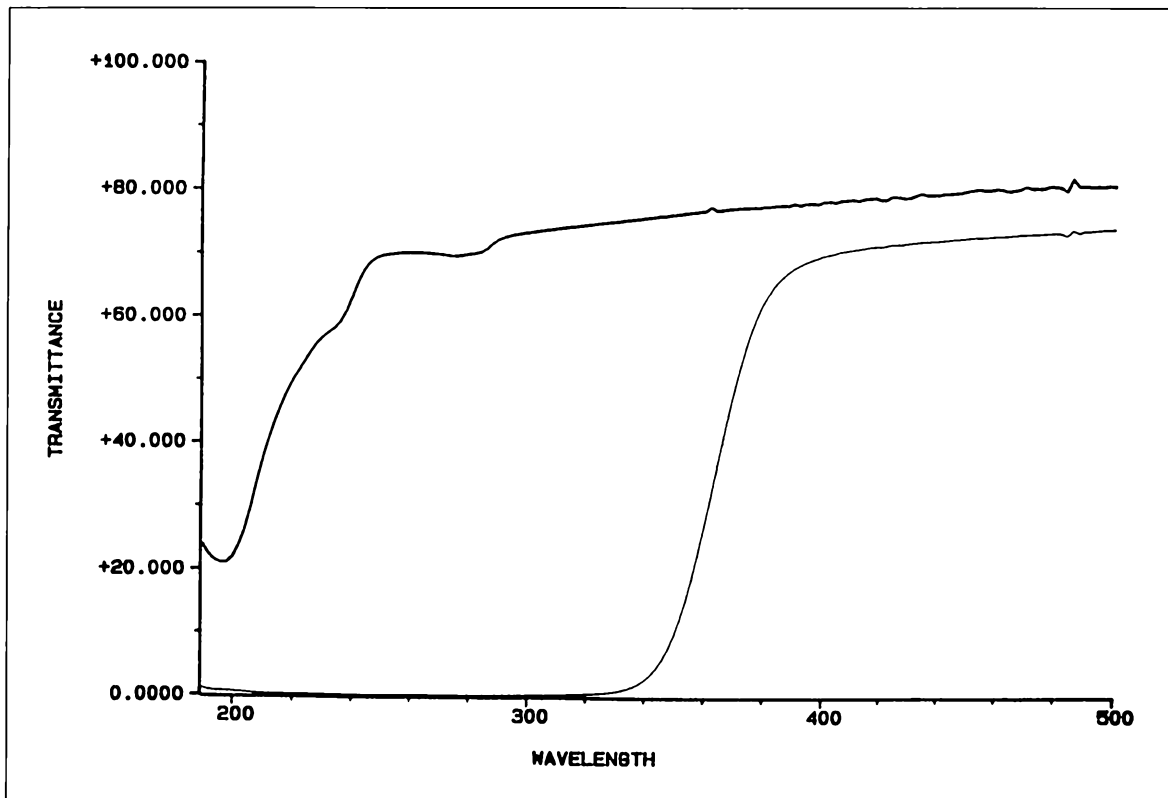


Fig. 4. Transmittance [%] en fonction de la longueur d'onde [nm] pour un film de polypropylène sans laque (—) et avec laque + absorbant UV à 6% poids (---)

Mesures effectuées: plusieurs agents absorbants disponibles ont été testés. Un premier tri s'est effectué sur les possibilités de dissolution dans la laque au moyen de solvants compatibles. Après ce premier choix, des couches ont été formées avec un hand coater de 20 [mm] sur des films des différents polymères. Ces films ont été disposés dans le spectromètre au moyen d'un dispositif *ad hoc* et la transmittance a été mesurée en faisant varier la longueur d'onde de 500 à 200 [nm] environ. Un exemple des courbes obtenues est présenté sur la *fig. 4*. On remarque le net effet de l'agent absorbant à partir de 350 [nm] incorporé ici à raison de 6 [% poids]. Pour comparer l'efficacité des films, nous avons défini le critère $\lambda_{T10\%}$, qui représente la longueur d'onde à partir de laquelle la transmittance est de 10%.

Effet de la concentration: un exemple des valeurs de $\lambda_{T10\%}$ en fonction de la teneur en agent absorbant de la laque [% poids] est donné dans le *tableau 2*. Tous les agents retenus présentent un effet de saturation à partir de 6 [% poids].

Dégradation des films: comme on peut le voir dans le *tableau 3*, on observe une dégradation relativement rapide de l'efficacité de la protection UV en fonction du temps.

Ce critère défavorable étant très important, nous avons étudié le phénomène de vieillissement plus en détail. Nous avons

Tableau 2. $\lambda_{T10\%}$ en fonction de la teneur en % (poids) en agent absorbant de la laque nitrocellulosique déposée sur un film d'OPP

Abs. [% pds]	0	2	4	6	8	10
$\lambda_{T10\%}$ [nm]	250	308	338	350	352	356

Tableau 3. $\lambda_{T10\%}$ en fonction du temps pour une couche contenant 6% d'agent absorbant sur un film de PETP

Durée [jour]	0	1	2	3	6	9	13	16	20
$\lambda_{T10\%}$ [nm]	360	360	360	358	356	352	348	342	334

attribué cette dégradation à une réaction chimique entre l'agent absorbant et les divers composants de la laque, notamment le solvant résiduel. Il semble toutefois intéressant d'étudier la dégradation des films dont la couche de laque serait appliquée avec une machine industrielle. En effet, sur une machine d'imprimerie, la quantité de solvant résiduel dans la laque sèche est quasiment nulle car le séchage se fait immédiatement et à haute température pendant un temps très court.

Conclusions: malgré l'effet du vieillissement, les résultats obtenus sont très positifs. Ils montrent un net accroissement de la résistance aux UV des films d'emballage transparents. Une étude de l'applica-

tion industrielle de la laque contenant des films UV a été effectuée. La modification d'une installation existante a été proposée. L'augmentation du prix de revient avec une quantité de filtre UV ajoutée de 0.6 [g/m²] serait de 1% pour un film de polypropylène de 20 [mm].

Reçu le 30 mars 1999