



THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Kamar Ouazzani

Spécialité : Génie des Procédés, Sciences des Matériaux

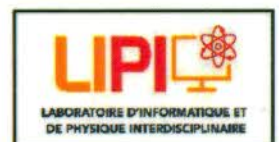
Sujet de la thèse : Procédés de séparation membranaire : Bioréacteur à membrane argileuse, Bio-colmatage,
Méthode de détachement hydrodynamique

Thèse présentée et soutenue le 28 mai 2016 devant le jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
M. Driss CHENOUNI	P.E.S.	Ecole Normale Supérieure, Fès	Président
M. Elhoussin AFFAD	P.E.S.	Faculté des Sciences et Techniques, Mohammedia	Rapporteur
M. Najib TIJANI	P.E.S.	Faculté des Sciences, Meknès	Rapporteur
M. Abdelhadi LHASSANI	P.E.S.	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	Rapporteur
M. Fouad KHALIL	P.E.S.	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	Examineur
M. Said SAADEDDINE	P.E.S.	Faculté des Sciences et Techniques, Mohammedia	Examineur
M. Bentama Jilali	P.E.S.	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	Directeur de thèse

Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Informatique et de Physique Interdisciplinaire

Etablissement : Ecole Normale Supérieure, Fès





Résumé de la thèse

Ce travail s'inscrit dans le cadre des recherches qui s'intéressent aux procédés de séparation membranaire, notamment, la filtration tangentielle par membranes argileuses et son application en biotechnologie.

L'étude a porté, dans une première partie, sur l'intégration de la membrane en argile dans un bioréacteur pour la réalisation du couplage fermentation-filtration tangentielle. Les résultats obtenus ont permis de montrer l'habilité de ces membranes pour cet usage. Mais le colmatage biologique qui s'en suit nécessite le recours au lavage chimique, et celui adopté pour ce processus s'est avéré nocif pour ce type de membranes ; ce qui leur confère une durée de vie estimée inférieure à celle des membranes actuellement commercialisées. Donc leur utilisation potentielle reste tributaire de l'utilisation d'une autre méthode de décolmatage.

Par conséquent, la deuxième partie de ce travail s'intéresse à ce colmatage biologique qui pourrait constituer une limitation de l'usage de ces membranes, et au développement d'une autre méthode de lavage s'inspirant de la technique d'arrachement hydrodynamique déjà utilisée par d'autres auteurs. Ainsi, nous avons considéré tous les mécanismes qui entrent en jeu dans le processus d'adhésion des particules sur les surfaces solides tout en étudiant les caractéristiques physico-chimiques des micro-organismes modèles choisis et leur impact sur le phénomène d'adhésion. Nous avons, ensuite, étudié l'adhésion et le détachement de microorganismes modèles par rapport à une surface plane en utilisant une chambre hydrodynamique à écoulement cisailé. Les résultats des expériences menées permettent de préconiser une méthode de lavage par l'action d'une force de cisaillement.

La troisième partie concerne l'étude d'une technique de mesure de l'épaisseur du gâteau pendant la filtration, toujours dans le but de prévoir et de contrôler la formation du biofilm. Il s'agit d'une méthode optique non destructive basée sur le principe de la réflexion de la lumière et utilisant un photo-interrupteur et dont l'objectif est de suivre les variations temporelles et spatiales de l'épaisseur de la couche de gâteau à la surface de la membrane lors d'une filtration tangentielle.

Mots clés : filtration tangentielle, bioréacteur à membrane, colmatage, hydrodynamique, photo-interrupteur

Table des illustrations	4
INTRODUCTION	7
CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	9
1. <i>Présentation générale de la filtration</i>	9
1.2 Généralités	9
1.1 Différents types de procédés de séparation à membranes	10
1.2 Domaines d'application des procédés membranaires	12
2. <i>Caractérisation du procédé de séparation</i>	12
2.1 Caractérisation de la membrane	12
2.2 Choix du mode de filtration	13
3. <i>Mécanismes de transfert de matière</i>	15
3.1 Limitation du transfert de matière	15
3.2 Définition du colmatage	16
3.2.1 Adsorption	17
3.2.2 Polarisation la de concentration	18
3.2.2.1 Couche de polarisation	18
3.2.2.2 Modèle du film	19
3.2.2.3 Modèle du gel	21
3.2.2.4 Modèle osmotique	22
3.2.2.5 Modèle du coefficient de transfert variable	22
3.2.3 Dépôt de particules	23
3.2.3.1 Cinétique de formation du dépôt	23
3.2.3.2 Caractéristiques du dépôt	24
3.2.3.3 Contribution des modèles hydrodynamiques à la problématique de colmatage	26
3.2.4 Blocage des pores	28
3.2.5 Contribution relative des différentes résistances hydrauliques	28
3.2.5.1 Modèle de résistance en série	28
3.2.5.2 Effet des conditions opératoires sur la modification des résistances hydrauliques	30
3.2.5.3 Conclusion	31
4. <i>Moyens de lutte contre le colmatage</i>	32
4.1 Méthodes physico-chimiques	32
4.2 Méthodes hydrodynamiques	33
4.2.1 Augmentation de la vitesse tangentielle	33
4.2.2 Modification de la géométrie du domaine d'écoulement	36
4.2.2.1 Modification du profil membranaire	36
4.2.2.2 Insertion d'obstacles fixes au sein de la veine fluide	37
4.3.2 Instabilités naturelles de l'écoulement	40
4.2.3.1 Création de vortex de Taylor	40
4.2.3.2 Création de vortex de Dean	41

CHAPITRE 2 : SEPARATION MEMBRANAIRE : APPLICATION EN BIOTECHNOLOGIE PAR LE COUPLAGE FERMENTATION/FILTRATION TANGENTIELLE	43
<i>Introduction</i>	43
1. <i>Protocole expérimental</i>	44
2. <i>Résultats et interprétations</i>	45
2.1 Influence du diamètre moyen des pores	45
2.2 Lavage chimique de la membrane	47
<i>Conclusion</i>	49
CHAPITRE 3 : LA BIOADHESION : ETUDE DES INTERACTIONS PARTICULE/PAROIE, METHODE DE DETACHEMENT HYDRODYNAMIQUE	50
1. <i>Introduction</i>	50
2. <i>Adhésion et détachement de particules adhérant à une surface plane</i>	50
2.1 Interactions particule/surface en milieux aqueux	51
2.1.1 Forces DLVO	52
2.1.1.1 Forces de Van der Waals	52
2.1.1.2 Forces de double couche	54
2.1.2 Forces structurales	55
2.1.2.1 Force de répulsion de Born	55
2.1.2.2 Forces d'hydratation et force hydrophobe	55
2.1.2.3 Forces dues à la présence de polymères ou de tensioactifs	55
2.1.3 Interactions spécifiques entre protéines	56
2.2 Forces dues à la présence d'un champ extérieur	56
2.3 Adhésion de particules non inertes (microorganismes) sur un support	57
2.4 Efforts exercés par un écoulement cisailé en régime laminaire	58
3. <i>Matériel et méthode</i>	59
3.1 Les microorganismes	59
3.2 La plaque de verre	60
3.3 La chambre à écoulement cisailé	60
3.4 Le circuit hydraulique	61
4. <i>Expérience de détachement</i>	62
5. <i>Résultats et interprétations</i>	64
5.1 Force ionique	64
5.2 Temps de contact	65
6. <i>Caractéristiques physico-chimiques des levures</i>	67
6.1 Analyse spectrophotométrique	67
6.2 Dosage des composés polysaccharidiques	69
6.3 Analyse par la méthode MATS	70
6.4 Mesure de la mobilité électrophorétique	71
7. <i>Conclusion et perspectives</i>	72
CHAPITRE 4 : DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DU GÂTEAU DE MICROFILTRATION PAR UNE METHODE OPTIQUE	73

1.	<i>Introduction</i>	73
2.	<i>Matériel et méthode</i>	74
2.1	Le photo-interrupteur	74
2.2	Dispositif expérimental	75
2.3	Procédure d'étalonnage	76
2.4	Système de filtration	78
3.	<i>Résultats et discussion</i>	78
3.1	Validation de la méthode	78
3.2	Sensibilité	78
3.3	Précision	79
3.4	Incertitude	79
3.5	Domaine de mesure	79
3.6	Effet de la couleur de la membrane	81
3.7	Effet de la concentration de la suspension	81
3.8	Effet de la lumière ambiante	82
3.9	Application à la mesure d'une épaisseur de gâteau	82
4.	<i>Conclusion</i>	82
	CONCLUSION	84
	Références bibliographiques	85