

THESE

présentée devant

L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

et

L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE SAINT-ETIENNE

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR

FORMATION DOCTORALE : SCIENCES ET TECHNIQUES DU DECHET

par

VALERIE LAFOREST

Technologies propres :

**Méthodes de minimisation des rejets et
de choix des procédés de valorisation des effluents.**

Application aux ateliers de traitement de surface.

Soutenue le 10 décembre 1999

Composition du jury :

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| Professeur Colette Collet-Gonnet | Rapporteur |
| Professeur Robert Hausler | Rapporteur |
| Professeur Alain Navarro | Président du jury |
| Professeur Jacques Bourgois | Examineur |
| Monsieur Bruno Debray | Examineur |
| Monsieur Didier Grange | Examineur |

Janvier 1998

Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

Directeur : J. Rochat

Professeurs

| | | |
|------|------------------------|---|
| S. | AUDISIO | PHYSICOCHIMIE INDUSTRIELLE |
| J.C. | BABOUX | GEMPPM* |
| B. | BALLAND | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| D. | BARBIER | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| G. | BAYADA | MODELISATION MATHEMATIQUE ET CALCUL SCIENTIFIQUE |
| C. | BERGER (Mlle) | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| M. | BETEMPS | AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE |
| J.M. | BLANCHARD | LAEPSI** |
| C. | BOISSON | VIBRATIONS ACOUSTIQUES |
| M. | BOIVIN | MECANIQUE DES SOLIDES |
| H. | BOTTA | EQUIPE DEVELOPPEMENT URBAIN |
| G. | BOULAYE | INFORMATIQUE |
| J. | BRAU | CENTRE DE THERMIQUE |
| M. | BRISSAUD | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| M. | BRUNET | MECANIQUE DES SOLIDES |
| J.C. | BUREAU | THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE |
| J.Y. | CAVILLE | GEMPPM* |
| J.P. | CHANTE | COMPOSANTS DE PUISSANCE ET APPLICATIONS |
| B. | CHOCAT | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| B. | CLAUDEL | LAEPSI** |
| M. | COUSIN | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| M. | DIOT | THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE |
| A. | DOUTHEAU | CHIMIE ORGANIQUE |
| R. | DUFOUR | MECANIQUE DES STRUCTURES |
| J.C. | DUPUY | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| H. | EMPTOZ | RECONNAISSANCE DES FORMES ET VISION |
| C. | ESNOUF | GEMPPM* |
| L. | EYRAUD (Prof. Emérite) | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| G. | FANTOZZI | GEMPPM* |
| M. | FAYET | MECANIQUE DES SOLIDES |
| J. | FAVREL | GROUPE DE RECHERCHE EN PRODUCTIQUE ET INFORMATIQUE DES SYSTEMES MANUFACTURIERS |
| G. | FERRARIS-BESSO | MECANIQUE DES STRUCTURES |
| Y. | FETIVEAU | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| L. | FLAMAND | MECANIQUE DES CONTACTS |
| P. | FLEISCHMANN | GEMPPM* |
| A. | FLORY | INGENIERIE DES SYSTEMES D'INFORMATION |
| R. | FOUGERES | GEMPPM* |
| F. | FOUQUET | GEMPPM* |
| L. | FRECON | INFORMATIQUE |
| R. | GAUTHIER | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| M. | GERY | CENTRE DE THERMIQUE |
| G. | GIMENEZ | CREATIS*** |
| P. | GOBIN (Prof. émérite) | GEMPPM* |
| P. | GONNARD | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| M. | GONTRAND | COMPOSANTS DE PUISSANCE ET APPLICATIONS |
| R. | GOUTTE (Prof. Emérite) | CREATIS*** |
| G. | GRANGE | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| G. | GUENIN | GEMPPM* |
| M. | GUICHARDANT | BIOCHIMIE ET PARMACOLOGIE |
| G. | GUILLOT | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| A. | GUINET | GROUPE DE RECHERCHE EN PRODUCTIQUE ET INFORMATIQUE DES SYSTEMES MANUFACTURIERS |
| J.L. | GUYADER | VIBRATIONS ACOUSTIQUES |
| J.P. | GUYOMAR | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| J.M. | JOLION | RECONNAISSANCE DES FORMES ET VISION |
| J.F. | JULLIEN | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| A. | JUTARD | AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE |
| R. | KASTNER | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| H. | KLEIMANN | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| J. | KOULOUMDJIAN | INGENIERIE DES SYSTEMES D'INFORMATION |
| M. | LAGARDE | BIOCHIMIE ET PARMACOLOGIE |
| M. | LALANNE | MECANIQUE DES STRUCTURES |
| A. | LALLEMAND | CENTRE DE THERMIQUE |
| M. | LALLEMAND (Mme) | CENTRE DE THERMIQUE |
| P. | LAREAL | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| A. | LAUGIER | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| Ch. | LAUGIER | BIOCHIMIE ET PARMACOLOGIE |
| P. | LEJEUNE | GENETIQUE MOLECULAIRE DES MICROORGANISMES |

| | | |
|-------------|----------------------------------|---|
| A. | LUBRECHT | MECANIQUE DES CONTACTS |
| Y. | MARTINEZ | INGENIERIE DES SYSTEMES D'INFORMATION |
| H. | MAZILLE | PHYSICOCHIMIE INDUSTRIELLE |
| P. | MERLE | GEMPPM* |
| J. | MERLIN | GEMPPM* |
| J.P. | MILLET | PHYSICOCHIMIE INDUSTRIELLE |
| M. | MIRAMOND | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| N. | MONGEREAU (Prof. Emérite) | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| R. | MOREL | MECANIQUE DES FLUIDES |
| P. | MOSZKOWICZ | LAEPSI** |
| P. | NARDON | BIOLOGIE APPLIQUEE |
| A. | NAVARRO | LAEPSI** |
| A. | NOURI (Mme) | MODELISATION MATHEMATIQUE ET CALCUL SCIENTIFIQUE |
| M. | OTTERBEIN | LAEPSI** |
| J.P. | PASCAULT | MATERIAUX MACROMOLECULAIRES |
| G. | PAVIC | VIBRATIONS ACOUSTIQUES |
| J. | PERA | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| G. | PERRACHON | THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE |
| J. | PEREZ (Prof. Emérite) | GEMPPM* |
| P. | PINARD | PHYSIQUE DE LA MATIERE |
| J.M. | PINON | INGENIERIE DES SYSTEMES D'INFORMATION |
| D. | PLAY | CONCEPTION ET ANALYSE DES SYSTEMES MECANIQUES |
| J. | POUSIN | MODELISATION MATHEMATIQUE ET CALCUL SCIENTIFIQUE |
| P. | PREVOT | GROUPE DE RECHERCHE EN APPRENTISSAGE, COOPERATION ET INTERFACES MULTIMODALES |
| R. | PROST | CREATIS*** |
| M. | RAYNAUD | CENTRE DE THERMIQUE |
| J.M. | REYNOUARD | UNITE DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL |
| E. | RIEUTORD (Prof. Emérite) | MECANIQUE DES FLUIDES |
| J. | ROBERT-BAUDOY (Mme) | GENETIQUE MOLECULAIRE DES MICROORGANISMES |
| D. | ROUBY | GEMPPM* |
| P. | RUBEL | INGENIERIE DES SYSTEMES D'INFORMATION |
| C. | RUMELHART | MECANIQUE DES SOLIDES |
| J.F. | SACADURA | CENTRE DE THERMIQUE |
| H. | SAUTEREAU | MATERIAUX MACROMOLECULAIRES |
| S. | SCARVARDA | AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE |
| D. | THOMASSET | AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE |
| M. | TROCCAZ | GENIE ELECTRIQUE ET FERROELECTRICITE |
| R. | UNTERREINER | CREATIS*** |
| J. | VERON | LAEPSI** |
| G. | VIGIER | GEMPPM* |
| A. | VINCENT | GEMPPM* |
| P. | VUILLERMOZ | PHYSIQUE DE LA MATIERE |

Directeurs de recherche C.N.R.S.

| | | |
|-------------|---------------------------|---|
| Y. | BERTHIER | MECANIQUE DES CONTACTS |
| P. | CLAUDY | THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE |
| N. | COTTE-PATTAT (Mme) | GENETIQUE MOLECULAIRE DES MICROORGANISMES |
| P. | FRANCIOSI | GEMPPM |
| J.F. | GERARD | MATERIAUX MACROMOLECULAIRES |
| M.A. | MANDRAND (Mme) | GENETIQUE MOLECULAIRE DES MICROORGANISMES |
| J.F. | QUINSON | GEMPPM |
| A. | ROCHE | MATERIAUX MACROMOLECULAIRES |

Directeurs de recherche I.N.R.A.

| | | |
|-----------|----------------|--------------------|
| G. | BONNOT | BIOLOGIE APPLIQUEE |
| G. | FEBVAY | BIOLOGIE APPLIQUEE |
| S. | GRENIER | BIOLOGIE APPLIQUEE |
| Y. | MENEZO | BIOLOGIE APPLIQUEE |

Directeurs de recherche I.N.S.E.R.M.

| | | |
|-------------|-----------------------|----------------------------|
| A.F. | PRINGENT (Mme) | BIOCHIMIE ET PHARMACOLOGIE |
| I. | MAGNIN (Mme) | CREATIS*** |

GEMPPM* : Groupe d'étude métallurgie physique et physique des matériaux

LAEPSI** : Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et systèmes industriels

CREATIS*** : Centre de recherche et d'applications en traitement de l'image et du signal

ECOLE DOCTORALES

➤ **MATERIAUX DE LYON**

INSAL – ECL -UCB. Lyon1 – Univ. De Chambéry – ENS

Responsable : Professeur A. HOAREAU, UCBL (Tél. : 04.72.44.85.66)

Formations doctorales associées :

- Génie des Matériaux (Pr. R. FOUGERES, Tél : 04. 72. 43. 81 .49)
- Matière condensée surfaces et interfaces (Pr. G. GUILLOT, Tél : 04.72.43.81.61)
- Matériaux polymères et composites (Pr. H. SAUTEREAU, Tél : 04.72.43.81.78)

➤ **MECANIQUE, ENERGETIQUE, GENIE CIVIL, ACOUSTIQUE (MEGA)°**

Responsable : Professeur J. BATAILLE, ECL (Tél : 04.72.43.8079)

Formations doctorales associées :

- Acoustique (Pr. J.L. GUYADER, Tél : 04.72.43.80.80)
- Génie Civil : Sols, matériaux, structures, physique du bâtiment (Pr. P. LAREAL, Tél : 04.72.43.82.16)
- Mécanique (Pr. G. DALMAZ, Tél : 04.72.43.83.03)
- Thermique et Energétique (Pr. M. LALLEMAND, Tél : 04.72.43.81.54)

➤ **ELECTRONIQUE, ELECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE (EEA)**

INSAL - ECL – UCB. Lyon1 – Univ. de Saint-Etienne

Responsable : Professeur G. GIMENEZ, INSAL (Tél : 04.72.43.83.32)

Formations doctorales associées :

- Acoustique (Pr. J.L. GUYADER, Tél : 04.72.43.80.80)
- Automatique Industrielle (Pr. SCAVARDA, Tél : 04.72.43.83.41)
- Dispositifs de l'électronique intégrée (Pr. P. PINARD, Tél : 04.72.43.80.79)
- Génie biologique et médical (Pr. I MAGNIN, Tél : 04.72.43.85.63)
- Génie électrique (Pr. J.P. CHANTE, Tél : 04.72.43.87.26)
- Signal, Image, Parole (Pr. G. GIMENEZ, Tél : 04.72.43.83.32)

➤ **ECOLE DOCTORALE INTERDISCIPLINAIRE SCIENCES-SANTE (EDISS)**

INSAL – UCB Lyon1 – Univ. de Saint-Etienne – Univ. Aix-Marseille2

Responsable : Professeur A. COZZONE, CNRS-Lyon (Tél 04.72.72.26.75)

Formations doctorales associées :

- Biochimie (Pr. M. LAGARDE, Tél : 04.72.43.82.40)
- Génie biologique et médical (Pr. I. MAGNIN, Tél : 04.72.43.85.63)

AUTRES FORMATIONS DOCTORALES

➤ **ANALYSE ET MODELISATION DES SYSTEMES BIOLOGIQUE**

Responsable : Professeur S. GRENIER, INSAL
Tél : 04.72.43.83.56

➤ **CHIMIE INORGANIQUE**

Responsable : Professeur P. GONNARD, INSAL
Tél : 04.72.43.81.58

➤ **CONCEPTION EN BATIMENT ET TECHNIQUE URBAINES**

Responsable : Professeur M. MIRAMOND, INSAL
Tél : 04.72.43.82.09

➤ **DEA INFORMATIQUE DE LYON**

Responsable : Professeur J.M. JOLION, INSAL
Tél : 04.72.43.87.59

➤ **PRODUCTIQUE : ORGANISATION ECONOMIQUE ET GENIE INFORMATIQUE POUR L'ENTREPRISE**

Responsable : Professeur J. FAVREL, INSAL
Tél : 04.72.43.83.63

➤ **SCIENCES ET TECHNIQUES DU DECHET**

Responsable : Professeur P. MOSZKOWICZ, INSAL
Tél : 04.72.43.83.45