

INSTITUT DE RECHERCHES HYDROLOGIQUES

S.A.R.L. AU CAPITAL DE 650 000 F - RC NANCY B. 756.800.090
CCP NANCY 1410.65 J - SIRET 756.800.090.00018 - APE 8301

54000 NANCY - 10, rue Ernest BICHAT - Tél. (9) 396.65.10

DOCUMENT



n° 8266

27 AOÛT 1981

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
COMITÉ SCIENTIFIQUE "EAU"

Marché n° 79-02-010 (9005)

Recherche de l'influence des conditions de milieu
sur la fixation des bactéries pathogènes aux sur-
faces solides, leur survie et leur maintien dans
les eaux continentales superficielles.

COMPTE-RENDU DE FIN DE CONTRAT

RH 81.88

78.02404

Juillet 1981

François COLIN

Responsable Scientifique de la Recherche

Marie-José JOURDAIN

Principale collaboratrice

RESUME

Recherche visant à étudier comment les phénomènes d'adhérence des bactéries potentiellement pathogènes aux surfaces solides conditionnent leur maintien dans les eaux continentales superficielles.

Choix de la bactérie E.coli comme modèle.

Mise au point d'une méthode instrumentale originale de détection et quantification des E.coli fixés aux surfaces solides. Adaptation d'une méthode d'évaluation de la biomasse totale fixée à de faibles niveaux de concentration superficielle.

Application de ces méthodes à l'évaluation des niveaux de contamination des surfaces au contact d'eaux de rivières peu polluées et polluées, d'eaux usées urbaines avant et après épuration biologique.

Etude de l'influence des facteurs suivants sur la fixation des bactéries :

- caractéristiques du milieu aqueux : température, pH, minéralisation, concentration en bactéries et en matières organiques biodégradables, agitation ;
- caractéristiques du support solide : nature chimique, mouillabilité, potentiel électrique superficiel.

Conclusions générales.

SUMMARY

Research aimed at studying how adherence phenomena of potentially pathogenic bacteria on solid surfaces determine their persistence in continental surface waters.

Selection of E.coli as a model.

Development of an original instrumental method for the detection and counting of E.coli attached on solid surfaces. Adaptation of a method for estimating the total fixed biomass at low superficial concentration levels.

Application of such methods to the evaluation of contamination levels of surfaces in contact with little polluted or polluted river waters, and with urban waste waters before and after biological treatment.

Study of the influence of following factors on the fixation of bacteria :

- Characteristics of the aqueous medium : temperature, pH, mineralization, concentration of bacteria and of biodegradable organic matter, stirring ;
- Characteristics of the solid support : chemical nature, wettability, electrical surface potential.

General conclusions.

S O M M A I R E

I - <u>INTRODUCTION</u>	1
Rappel de la situation au début des travaux	
II - <u>CONDUITE DES TRAVAUX</u>	2
II.1 - Objectif des travaux	2
II.2 - Programme et déroulement des travaux	2
II.2.1 - Réalisation d'une étude bibliographique détaillée	
II.2.2 - Mise au point de méthodes de quantifications des bactéries fixées aux surfaces solides	
II.2.3 - Choix et caractérisation des matériaux solides-types utili- sés comme supports	
II.2.4 - Application de la méthode de quantification des bactéries fixées à l'étude de la fixation de E.coli en culture pure, à différentes concentrations et en milieu liquide synthéti- que sur les matériaux solides types	
II.2.5 - Application de la méthode à l'étude de la fixation de E.coli aux surfaces solides en milieu complexe in situ	
II.2.6 - Interprétation de l'ensemble des résultats	
III - <u>RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATION</u>	6
III.1 - Etude bibliographique détaillée	6
III.2 - Mise au point de méthodes de quantification des bactéries fixées aux surfaces solides	6
III.2.1 - Vérification de la validité de la méthode de WILKINS de quantification des bactéries coliformes et E.coli en milieu aqueux	
III.2.1.1 - Principe de la méthode	
III.2.1.2 - Description du dispositif utilisé	
III.2.1.3 - Résultats obtenus sur milieux	

- III.2.2 - Application de la méthode électrochimique à la mesure de bactéries fixées sur une lame de platine
 - III.2.2.1 - *Principe de la modification de la méthode*
 - III.2.2.2 - *Mode opératoire*
 - III.2.2.3 - *Essais d'étalonnage*
- III.2.3 - Application de la méthode électrochimique à l'étude de la fixation de bactéries sur d'autres supports solides que le platine
 - III.2.3.1 - *Modification de la méthode expérimentale*
 - III.2.3.2 - *Essai d'application de la méthode*
- III.2.4 - Mise au point d'une méthode de mesure globale de la biomasse fixée
- III.3 - Choix et caractérisation de matériaux solides types 16
- III.4 - Application de la méthode à l'étude de la fixation de E.coli en cultures pures 17
 - III.4.1 - Rappel du dispositif expérimental utilisé
 - III.4.2 - Essais préliminaires
 - III.4.3 - Etude systématique de l'influence des différents facteurs du milieu
 - III.4.3.1 - *Etude de l'influence de la présence de matières organiques biodégradables*
 - III.4.3.2 - *Etude de l'influence du pH*
 - III.4.3.3 - *Etude de l'influence de la température*
 - III.4.3.4 - *Etude de l'influence de la minéralisation de la phase aqueuse*
 - III.4.3.5 - *Etude de l'influence de la mouillabilité du matériau solide*
 - III.4.3.6 - *Etude de l'influence du potentiel électrique superficiel du matériau solide*
- III.5 - Application de la méthode à l'étude de la fixation de E.coli en milieux complexes et in situ 33
 - III.5.1 - Nature et condition des essais
 - III.5.2 - Résultats obtenus
 - III.5.3 - Interprétation des résultats
 - III.5.3.1 - *Fixation des E.coli à partir des eaux d'égoûts*
 - III.5.3.2 - *Fixation des E.coli à partir des eaux de rivière*
 - III.5.3.3 - *Influence de la température sur la fixation de E.coli en milieu complexe et in situ*

IV - <u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	40
<u>ANNEXE I</u>	44
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE L'ADHERENCE ET DE LA FIXATION DES BACTERIES AUX SURFACES SOLIDES	
<u>ANNEXE II</u>	74
RESULTATS EXPERIMENTAUX DE L'ETUDE DE LA FIXATION DES BACTERIES E. COLI AUX SURFACES SOLIDES A PARTIR DE CULTURES PURES	
<u>ANNEXE III</u>	91
RESULTATS EXPERIMENTAUX DE L'ETUDE DE LA FIXATION DES BACTERIES E.COLI EN MILIEUX COMPLEXES ET IN SITU	

INTRODUCTION

Rappel de la situation au début des travaux :

Les eaux superficielles continentales se trouvent contaminées par des apports de microorganismes potentiellement pathogènes en provenance des eaux de ruissellement, d'effluents d'origine domestiques, urbains ou ruraux, plus ou moins complètement traités par des techniques d'épuration dont l'objet même est l'élimination de matières organiques biodégradables et non celle des microorganismes pathogènes.

La survie de ces microorganismes dans les milieux récepteurs et leur maintien dans l'espace sont étroitement fonction de leurs possibilités d'interaction avec les surfaces solides (particules en suspension, sédiments, matériaux constituant le lit des cours d'eau), de la fixation sur ces surfaces et de relargage dans le milieu aqueux en fonction des conditions de milieu. Ceci est connu depuis fort longtemps ; par contre, le mécanisme responsable de l'adhérence des bactéries aux surfaces solides n'a été étudié que très récemment, surtout depuis 1969, dans le cas des bactéries vivant dans les systèmes aquatiques. Il a été démontré que cette adhérence résulte de la formation à l'extérieur des bactéries d'un enchevêtrement de fibres polysaccharidiques susceptibles de se fixer fortement aux surfaces solides (glycocalyx). La découverte d'un tel mécanisme, à posteriori évident, n'est relativement récente que parce qu'il ne se manifeste pas toujours en culture pure où il ne confère aucun avantage sélectif alors qu'il est énergétiquement coûteux.

Si les bactéries présentes dans un courant d'eau rapide ne pouvaient se fixer, elles seraient rapidement éliminées du milieu qui serait en grande partie stérile. Des dénombrements ont montré qu'une surface de 1 cm^2 fixait jusqu'à 10^6 bactéries alors que 1 cm^3 d'eau en regard n'en contenait que 10^3 . En milieu pollué, la fixation peut atteindre 10^{10} cellules par cm^2 .

La formation d'un glycocalyx à la surface des bactéries dans certaines conditions de milieu, le fait qu'il ait été démontré que ce phénomène était essentiel à la survie et à la prolifération des bactéries en général et des pathogènes en particulier, dans les milieux récepteurs, justifient une étude systématique de l'influence de paramètres tels que le pH, la salinité, la température, la nature et la concentration des substrats nutritifs présents, sur l'adhérence des bactéries, leurs conditions de fixation et de relargage en milieu aqueux ; ceci constitue l'objet de la recherche dont les résultats sont rapportés ici.

II CONDUITE DES TRAVAUX

II.1 - OBJECTIF DES TRAVAUX

L'objectif général de la recherche que nous avons proposé est d'étudier comment les phénomènes d'adhérence des bactéries pathogènes aux surfaces solides conditionnent la survie de ces microorganismes dans les eaux continentales superficielles et d'estimer globalement l'importance de ces phénomènes en fonction des conditions de milieu. Les bactéries potentiellement pathogènes considérées seront des entérobactéries, tandis que l'adhésion des bactéries communes et non pathogènes ne serait considérée que du point de vue de ses interactions avec celle des pathogènes (compétition ou mutualisme).

Il n'entrait pas dans nos intentions d'étudier en détail le mécanisme de l'adhérence et en particulier la composition des polysaccharides extracellulaires sécrétés par les bactéries, ces points faisant actuellement l'objet de recherches intensives effectuées par des équipes hautement spécialisées. Par contre, nous avons abordé le sujet par le biais de l'étude expérimentale des équilibres de fixation des bactéries pathogènes à des substrats solides en fonction des conditions de milieu tenant aussi bien à la phase aqueuse qu'à l'état de surface de phases solides continues ou particulières.

Les méthodes mises au point devaient ensuite être largement appliquées :

- à l'étude du comportement des bactéries pathogènes issues des différents apports possibles aux milieux récepteurs, et plus spécialement : eaux d'égout brutes et prélevées à divers stades de traitement en stations d'épuration biologiques, eaux usées traitées ;
- à l'étude de milieux récepteurs eux-mêmes choisis pour couvrir la gamme de caractéristiques rencontrées en pratique.

Notre démarche axée sur le phénomène essentiel qui conditionne la survie, la présence et la prolifération des bactéries dans les eaux superficielles se révèle donc étroitement complémentaire de celle qui consiste à étudier l'influence des conditions de milieu sur la virulence proprement dite.

II.2 - PROGRAMME ET DEROULEMENT DES TRAVAUX

Le contrat relatif à cette recherche, d'une durée de 24 mois, a été notifié le 1er juin 1979, et les travaux qui ont débuté immédiatement comportent les phases suivantes réalisées successivement et dont il sera rendu compte des résultats au chapitre III :

II.2.1 - Réalisation d'une étude bibliographique détaillée

Il est apparu que la formation de polysaccharides extracellulaires constituait le principal facteur de la fixation des bactéries, aussi les points suivants ont été abordés dans le cadre de l'étude bibliographique :

- . nature et composition des polysaccharides bactériens
- . condition de leur synthèse et précurseur
- . mécanismes et cinétique de la fixation bactérienne
- . influence sur la fixation des facteurs relatifs aux bactéries, à la nature et aux propriétés des surfaces solides.

Cette étude bibliographique a permis de mettre en évidence les principaux paramètres et facteurs à explorer lors de la réalisation de la phase expérimentale de la recherche, facilitant la définition du programme de celle-ci.

II.2.2 - Mise au point de méthodes de quantifications des bactéries fixées aux surfaces solides

Nous avons recherché une méthode de quantification des bactéries fixées aux surfaces solides et avons examiné en priorité les possibilités d'utiliser une méthode électrochimique pour la quantification des bactéries du type coliforme et plus particulièrement *E. coli*, bactérie potentiellement pathogène choisie comme modèle pour la réalisation de cette recherche.

Cette méthode est fondée sur la détection électrochimique de l'hydrogène dégagé par des bactéries en conséquence de leur métabolisme lors d'une mise en culture sur un milieu spécialement choisi. La durée suivant le démarrage de la culture, au bout de laquelle de l'hydrogène est produit en quantité suffisante pour être détectable par une électrode de platine est une mesure de la population initiale si on admet l'hypothèse d'une multiplication bactérienne en phase exponentielle. Ce principe a déjà été appliqué aux U.S.A. (Travaux de WILKINS au Centre de Recherches de la NASA) pour la détection et la numération de coliformes dans les eaux.

Une première étape a consisté à vérifier la validité de la méthode électrochimique de WILKINS pour la numération de ces bactéries en suspension dans l'eau. La méthode s'avérant valable, nous avons tracé quelques courbes d'étalonnage par référence aux résultats des méthodes de numération classique.

Le principe de la méthode qui est rappelé ultérieurement consiste à utiliser une électrode indicatrice de platine immergée dans le milieu liquide étudié.

Une deuxième étape a consisté à modifier la méthode pour la rendre apte à numérer des coliformes ou *E. coli* lorsqu'ils se trouvent préalablement fixés sur une lame de platine qui est immergée dans un milieu liquide stérile, puis à réaliser un étalonnage. Ces opérations ont été exécutées avec succès mais leur intérêt se limite à l'étude d'un seul matériau solide, le platine dont on pourra cependant faire varier l'état de surface et le potentiel électrique superficiel au cours d'expérimentations ultérieures.

La troisième étape, indispensable pour la généralité de la méthode a consisté à adapter celle-ci de façon à pouvoir effectuer des numérations de bactéries fixées sur des matériaux de nature quelconque. Nous y sommes parvenus par une technique de contact entre le matériau étudié et une électrode de platine plane, le tout étant immergé dans un milieu stérile suffisamment sélectif. Cette mise au point a été effectuée en utilisant du PVC comme matériau-type.

L'étude bibliographique ayant montré que la fixation de bactéries non pathogènes favorisait la fixation des bactéries pathogènes qui pouvaient facilement s'adsorber sur le revêtement polysaccharidique préalablement formé, il nous paraît nécessaire de mettre au point une méthode de mesure de la biomasse globale fixée sur un support solide. Nous avons déjà résolu ce type de problème dans le cas de films biologiques relativement épais (étude de l'ensemencement de matériaux plastiques constituant des lits bactériens à haute charge) par extraction et dosage de l'ATP contenu dans la biomasse fixée.

Dans le but de préparer les expérimentations de fixation de coliformes et E.coli dans des milieux contenant d'autres types de microorganismes où il était souhaitable de connaître la biomasse totale fixée qui intervient forcément dans la fixation des bactéries qui nous intéressent plus particulièrement (effets de synergie, antagonisme, compétition, etc ...), nous avons adapté cette méthode de mesure globale de biomasse (mesure d'A.T.P.) déjà opérationnelle sur les milieux liquides et sur des biomasses fixées importantes, au cas de biomasses peu importantes fixées sur supports solides.

II.2.3 - Choix et caractérisation des matériaux solides types utilisés comme supports

Nous avons choisi cinq matériaux solides dont les propriétés superficielles sont présumées nettement différentes et l'inertie chimique et biologique suffisante :

- . caoutchouc naturel
- . verre
- . acier inoxydable
- . P.V.C.
- . bois (sapin)

L'état de surface de ces matériaux a été caractérisé par mesure de leur tension interfaciale avec l'eau qui est une mesure de leur mouillabilité.

II.2.4 - Application de la méthode de quantification des bactéries fixées à l'étude de la fixation de E.coli en culture pure, à différentes concentrations et en milieu liquide synthétique sur les matériaux solides types

La méthode de mise au point s'est révélée adaptée au problème à résoudre et a permis de multiples observations sur le comportement des matériaux solides et l'influence des différents paramètres du milieu. Nous avons ainsi étudié plus particulièrement l'influence :

- . de la concentration en matières organiques biodégradables (DBO5)
- . du pH
- . de l'agitation du milieu
- . de la minéralisation du milieu aqueux
- . de la température
- . des propriétés superficielles des matériaux solides (mouillabilité, potentiel électrique superficiel)

Par ailleurs, la cinétique de la fixation a été étudiée dans chaque cas et permet de tirer des conclusions générales.

II.4.5 - Application de la méthode à l'étude de la fixation de E.coli aux surfaces solides en milieu complexe in situ

Nous avons étudié la fixation des bactéries E.coli dans des effluents et dans des milieux récepteurs, à partir d'expérimentations réalisées in situ par immersion de plaquettes des matériaux-types précédemment définis.

Les milieux étudiés sont :

- un effluent urbain dégrillé, à l'entrée d'une station d'épuration;
- un effluent urbain traité par épuration biologique aérobie (boues activées)
- une eau de rivière peu polluée
- une eau de rivière davantage polluée.

L'étude de la fixation des bactéries communes (mesurées globalement par détermination de l'ATP fixée) a été effectuée en parallèle avec celle de E.coli.

II.4.6 - Interprétation de l'ensemble des résultats

permettant d'aboutir à des conclusions relatives à l'influence des conditions de milieu sur la fixation aux surfaces solides des bactéries E.coli utilisées comme modèle d'entérobactérie potentiellement pathogène, sur leur survie et leur maintien dans les eaux continentales superficielles.

IV
CONCLUSIONS GENERALES

Au terme de cette recherche menée sur la fixation aux surfaces solides de la bactérie *Escherichia coli* considérée comme modèle d'entérobactérie potentiellement pathogène, et dont le choix a été dicté à la fois par des raisons de représentativité et de facilité (puisqu'elle se prête bien à une méthode instrumentale de détection et de quantification originale que nous avons mise au point), les points suivants nous paraissent acquis :

- La fixation de ces bactéries à des supports solides, quelle que soit leur nature, obéit à une cinétique relativement bien définie et qui se caractérise par une croissance rapide du nombre de bactéries fixées pendant une période de 24 à 72 heures, puis en général une très légère décroissance et enfin l'atteinte d'un niveau sensiblement constant correspondant à un palier caractéristique d'un certain équilibre, partiellement réversible.

- La concentration superficielle en bactérie à l'état d'équilibre dépend de nombreux facteurs relatifs à la fois à la nature et aux propriétés du matériau solide et, d'autre part, aux caractéristiques du milieu aqueux.

- L'influence des caractéristiques suivantes relatives aux supports solides a été mise en évidence :

- . Les différents matériaux solides étudiés : PVC, bois, caoutchouc, verre, acier inoxydable, ont des comportements relatifs identiques dans les diverses conditions expérimentales que nous avons adoptées au cours de nos essais, si bien qu'on peut les classer du point de vue de leur capacité à la fixation de *E. coli* sans se référer aux conditions expérimentales. Il apparaît ainsi que le PVC, le bois et le caoutchouc ont une grande aptitude à fixer ces bactéries contrairement au cas du verre et de l'acier inoxydable où la fixation est nettement moindre, bien que réelle et non négligeable ;
- . Les bactéries se fixent davantage sur les matériaux organiques que sur les matériaux minéraux. A cet égard, le bois constitue un support remarquable. Il en est de même, dans une moindre mesure, pour le PVC et le caoutchouc naturel, matériaux souvent utilisés en contact avec les eaux de distribution publique (canalisation, joints) ;
- . La fixation des bactéries considérées ici s'effectue d'autant mieux que le matériau, de composition chimique déterminée, présente une surface moins mouillable ;
- . Les phénomènes d'attraction électrostatique entre les surfaces solides et les bactéries interviennent dans la fixation des bactéries, tout au moins dans l'étape primaire de ce phénomène, les bactéries se fixant d'autant mieux sur des surfaces solides que celles-ci sont électropositives et fortement chargées.

- En ce qui concerne l'influence des caractéristiques du milieu aqueux, nos observations ont montré que :

- . La cinétique de fixation de E.coli aux surfaces solides de différents matériaux de propriétés différentes obéit à une loi complexe et se traduit dans la majorité des cas par le passage par un maximum, au cours du temps du nombre de bactéries fixées par unité de surface ;
- . La concentration en bactéries dans le milieu aqueux mis en contact avec les solides intervient de façon importante sur le nombre de bactéries fixées dans l'échelle de durée que nous avons considérée ;
- . La présence de matières organiques biodégradables en solution augmente le nombre de bactéries fixées dans une mesure qui ne peut pas être seulement expliquée par l'augmentation du nombre de bactéries dans la phase liquide consécutivement à la biodégradation des matières organiques ;
- . La présence d'autres microorganismes que E.coli dans la phase liquide semble jouer un rôle positif sur la vitesse de fixation de cette bactérie aux surfaces solides ;
- . La fixation est influencée par le pH, l'optimum de fixation en culture pure se situant au voisinage de la neutralité. Un écart par rapport à la neutralité se manifeste par une moindre fixation des bactéries, le phénomène étant plus marqué en milieu basique qu'en milieu acide ;
- . Dans le domaine exploré, une agitation du milieu favorise la fixation des bactéries aux surfaces solides ou, tout au moins, en augmente la vitesse. Ceci est indépendant de l'influence de l'agitation sur la concentration en oxygène dissous du milieu.
- . La minéralisation des eaux naturelles influe sur le phénomène de fixation des bactéries, en particulier sur la capacité de fixation qui peut varier d'un facteur de l'ordre de 10 ou plus. Nous n'avons pas étudié séparément l'influence de chaque espèce ionique, mais il apparaît que la fixation est minimale dans des eaux douces peu minéralisées, maximale pour les eaux de moyenne dureté de type bicarbonaté calcique ; intermédiaire pour les eaux dures bicarbonatées et sulfatées-calciques.

- Nous avons constaté l'évolution avec passage par un minimum de la proportion de E.coli dans la biomasse totale fixée au cours du temps lors de l'immersion des matériaux dans des milieux naturels plus ou moins contaminés. Cette évolution traduit les phénomènes complexes de compétition des divers types de microorganismes (y compris les algues microscopiques) lors de la fixation aux surfaces solides.

- Parmi les paramètres physiques du milieu, le rôle de la température apparaît important. Nous avons montré que :

- . Des modifications de température aboutissent à des modifications sensibles de la capacité de fixation aux températures considérées même pour des écarts modérés de 5 à 10°C ;

- . Une élévation de température se traduit par une augmentation de capacité et de vitesse de fixation, une chute de température par un effet inverse. La réversibilité de la fixation, en fonction de la température, ne semble pas toutefois totale, la capacité de fixation à une température déterminée étant quelque peu fonction de "l'histoire thermique" du milieu ;
- . Le temps de réponse de la quantité de bactéries fixées à une variation de température est très court, de l'ordre de 1 journée, qu'il s'agisse d'un réchauffement ou d'un refroidissement de l'eau. Dans le cas du milieu aquatique naturel, l'importance de cette constatation est limitée par l'existence d'une inertie thermique importante du milieu qui évitera toute variation brusque de température.

En définitive, le bilan de cette recherche se solde par :

- La mise au point d'une méthode instrumentale électrochimique originale, de quantification des bactéries E.coli et coliformes fixés aux surfaces solides, et l'adaptation d'une méthode d'évaluation de la biomasse totale fixée, même à faible niveau de concentration ;
- La démonstration de l'aptitude de ces méthodes à étudier l'influence des facteurs du milieu, des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du milieu aqueux, des caractéristiques physico-chimiques des matériaux, sur la fixation des bactéries aux surfaces solides ;
- La mise en évidence de l'influence quantitative de ces facteurs sur la capacité de fixation et sa cinétique, ce qui peut permettre un classement de ces facteurs en fonction de l'amplitude de leurs effets. Il en résulte donc une meilleure connaissance de ces phénomènes de fixation qui conditionnent la survie et le maintien des bactéries dans les eaux continentales superficielles.

S'il nous est permis de suggérer des prolongements et des applications à cette recherche qui vient de se terminer, nous indiquerons les axes de recherche et développements suivants :

- traduction des résultats obtenus en terme de risques de nature sanitaire liés au relargage des bactéries potentiellement pathogènes consécutivement à des modifications physiques, physico-chimiques ou chimiques des eaux continentales superficielles ;
- utilisation des méthodes mises au point pour l'étude du comportement des matériaux en contact avec les eaux potables et notamment pour l'étude des risques de prolifération bactérienne liés à la nature des matériaux et susceptibles d'intervenir consécutivement à une contamination accidentelle des réseaux de distribution
- application des méthodes mises au point à l'étude de la contamination bactérienne des surfaces solides en milieu industriel (étude de l'étape initiale et de la cinétique du fouling microbiologique) ;
- application au développement de nouvelles méthodes instrumentales à réponse rapide de l'identification et de la quantification des bactéries en suspension dans l'eau (par exemple amélioration de la méthode de WILKINS) en mettant à profit un effet de préconcentration des bactéries par fixation sur les surfaces solides.

Aucune publication n'a été effectuée sur les résultats de cette recherche, la primeur en étant réservée à la thèse de Doctorat de 3ème cycle qui sera soutenue sur ce sujet en Octobre 1981, par Madame M.J. JOURDAIN, Principale Collaboratrice pour l'exécution de cette recherche.