

Rétention de *Escherichia coli* d'une eau d'infiltration en sol équatorial au Cameroun (Afrique Centrale) : Rôle de divers horizons de sol

Moïse NOLA^(1,*), Thomas NJINÉ⁽¹⁾, Claude BOUTIN⁽²⁾, Mohamed MESSOULI⁽³⁾, Pierre SERVAIS⁽⁴⁾, Samuel FOTO MENBOHAN⁽¹⁾, Louise Marie NGO BIDJECK⁽⁵⁾, Serge Hubert ZEBAZE TOGOUET^(1,6) et Norbert KEMKA^(1,6)

1 : Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Laboratoire de Biologie Générale, B.P. 812 Yaoundé, CAMEROUN

2 : Université Paul Sabatier, Laboratoire d'Ecologie d'Invertébrés Terrestres, UMR CNRS 5552, 118 Route de Narbonne, Bât. 4 R3, 31062 Toulouse Cedex 4, FRANCE

3 : Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Laboratoire d'Hydrobiologie et Ecologie Souterraines, B.P. 2390 Bd Moulay Abdellah, Marrakech, MAROC

4 : Université Libre de Bruxelles, Ecologie des Systèmes Aquatiques, Campus de la Plaine CP 221, Boulevard du Triomphe, 1050 Bruxelles, BELGIQUE

5 : Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie Appliquée, B.P. 812 Yaoundé, CAMEROUN

6 : Institut de Recherche Géologique et Minière, Centre de Recherche Hydrologique, B.P. 4110 Yaoundé, CAMEROUN

RESUME

Une étude a été réalisée au laboratoire sur le rôle de divers horizons d'un sol tropical dans la rétention des cellules de *Escherichia coli* contenues dans une eau d'infiltration. Les techniques utilisées ont été celle de l'adhésion cellulaire aux particules et celle des membranes filtrantes. Il en ressort qu'en l'absence de tout composé organique biodégradable dans l'eau, les particules de sol retiennent les cellules bactériennes, cette rétention se poursuivant durant toute la durée de l'incubation au laboratoire (300 minutes). La vitesse de rétention de *E. coli* augmente des horizons supérieurs de sol aux horizons profonds. En présence d'un substrat organique biodégradable (la peptone) dissous dans l'eau d'infiltration, il se produit en plus de la rétention des cellules de *E. coli* sur les particules de sol, une multiplication cellulaire qui entraîne un accroissement du nombre de cellules après la première phase de rétention. Le taux de croissance apparent de *E. coli* durant cette phase de multiplication cellulaire varie d'un horizon de sol à l'autre, et est relativement plus élevé dans les horizons supérieurs de sol. Les eaux souterraines seraient relativement plus pauvres en bactéries indicatrices de contamination fécale dans les régions où les eaux d'infiltration contiennent peu ou pas de matière biodégradable. Il semble indispensable d'élaborer un modèle prédictif tenant compte des propriétés physico-chimiques et trophiques des différents horizons de sol, qui permettrait de prédire le degré de contamination microbiologique d'une eau souterraine par les eaux d'infiltration.

Mots clés : *Escherichia coli*, eau d'infiltration, substrat biodégradable, horizons de sol.

ABSTRACT

A laboratory study was carried out to determine the role of different tropical soil horizons in the retention of *Escherichia coli* found in seeping water. The techniques used were that of bacterial adhesion on soil particles and that of membrane filtration. It was observed that in the absence of biodegradable compounds in the water, a rapid retention of bacterial cells occurred and this retention process took place throughout the incubation (300 minutes). Bacterial cells retention rate increased from upper horizons to the deeper soil horizons. In the presence of a biodegradable organic compound (peptone) dissolved in water, a rapid decrease of bacterial abundance due to cell retention on soil particles occurred, followed by an increase in *E. coli* number due to growth. This cellular growth was visible only with a delay with respect to the beginning of retention. The apparent growth rate of *E. coli* during the growth phase varied from one soil horizon to another and was relatively more pronounced in the upper soil horizons. Groundwater would contain less bacteria in a region where seeping water contains less or no biodegradable substrate. It seems important to elaborate a predictive model considering physico-chemical and trophic properties of different soil horizons, which would predict the level of microbiological contamination of groundwater by seeping waters.

Keywords: *Escherichia coli*, seeping water, biodegradable compound, soil horizons.

*Adresser toute correspondance à Moïse NOLA (E-mail : mnola@uycdc.uninet.cm)

1. INTRODUCTION

L'alimentation des eaux souterraines se fait par l'infiltration verticale des eaux de ruissellement issues des précipitations et des eaux de surface. Les risques de pollution chimique et biologique des eaux souterraines dépendent d'une part des caractéristiques des eaux d'infiltration, et d'autre part des propriétés naturelles des couches géologiques qui séparent la nappe phréatique de la surface du sol.

Dans bon nombre de villes au sud du Sahara en général, et au Cameroun en particulier, la majorité des eaux usées sont déversées directement dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable. Ces eaux usées sont soit canalisées vers les eaux de surface (rivières, ruisseaux), soit déversées à même les sols. Ces eaux non traitées sont donc susceptibles de polluer le sol et le sous-sol en raison de leurs teneurs élevées en matières organiques biodégradables (jusqu'à 530 mg/l de demande biologique en oxygène) et en micro-organismes d'origine fécale (jusqu'à 6×10^7 coliformes fécaux et streptocoques fécaux par ml) (NJINE et al., 2001). Les eaux souterraines constituent par ailleurs dans la plupart des pays africains, tant en zone rurale qu'en milieu urbain, l'une des principales sources d'approvisionnement en eau utilisée pour la consommation humaine (BANTON et BANGOY, 1997). La qualité microbiologique de ces eaux souterraines est fortement dépendante de la capacité des sols à retenir les micro-organismes durant l'infiltration des eaux.

La rétention des micro-organismes dans le sol s'effectue dans la plupart des cas par adsorption. Elle se produit par adhésion des macromolécules pariétales à la surface des particules du sol (JUCKER et al., 1998). C'est un processus parfois réversible, cette réversibilité évoluant dans le temps à cause de l'activité biologique et de la modification des propriétés de la paroi de la bactérie (RIJNAARTS et al., 1995; FOWLE et FEIN, 2000; YEE et al., 2000). L'adsorption augmente avec l'hydrophobicité de la paroi bactérienne et diminue avec son hydrophilicité (VERRAN et al., 1996; VAN DER MEI et al., 1998). Sa relative stabilité dépend du nombre et des propriétés des groupes de sites fonctionnels à la surface bactérienne, ce nombre pouvant varier avec l'environnement chimique du milieu (FEIN et al., 1997). L'adhésion de la bactérie à la particule solide est influencée par la plus ou moins grande mobilité de la bactérie et de la particule solide (CAMESANO et LOGAN, 1998), par les facteurs chimiques du milieu tels le pH, la force ionique et les éléments minéraux dissous dans l'eau interstitielle, par la nature de la particule solide et par l'espèce bactérienne (FOWLE et FEIN, 2000 ; YEE et al., 2000).

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux (eaux de surface, eaux souterraines et eaux de consommation) se fait classiquement par la numération de germes indicateurs de contamination fécale tels que les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. Parmi ces bactéries indicatrices, *Escherichia coli* est l'espèce la plus fréquemment recherchée. Le présent travail réalisé en laboratoire vise à évaluer d'une part, l'importance de divers horizons d'un sol équatorial ferro-latéritique de la région de Yaoundé (Cameroun) dans la rétention de *E. coli*, pris comme modèle de bactérie d'origine fécale, et d'autre part l'influence de la présence de matière organique biodégradable dissoute dans l'eau sur la rétention de *E. coli* par ces horizons de sol.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Collecte des horizons du sol

Dans la région de Yaoundé (Cameroun), région au sol ferro-latéritique et à pH variant de 4,9 à 5,8 (BACHELIER, 1959; YONGUE-FOUATEU, 1986), située à 3°52' de latitude Nord, 11°32' de longitude Est et à 759 m d'altitude, un trou circulaire de 180 cm de diamètre a été creusé jusqu'au jaillissement de l'eau de la nappe phréatique. Ce trou a une profondeur de 914 cm et traverse 8 horizons différents de sol. Ces horizons ont été désignés H₁, H₂, ..., H₈. L'horizon H₁, le plus superficiel est en relation avec la surface du sol et l'horizon H₈, le plus profond est en relation avec le toit de la nappe phréatique. Un échantillon de 2 à 3 kg de sol de chaque horizon a été prélevé, ramené au laboratoire et séché à la température ambiante (23±1 °C) pendant 12 mois.

2.2 Propriétés physiques et chimiques des horizons de sol.

Quelques propriétés macroscopiques des horizons de sol ont été déterminées sur le terrain à l'état frais (tableau 1). Les couleurs ont été déterminées en utilisant le code MUNSEL (Macbeth Division Kollmorgen Corporation, 1975).

Les paramètres chimiques analysés sont le carbone organique, l'azote total et le phosphore total. Après minéralisation des échantillons de sol selon la technique classique de l'attaque triacide (CLAISSE, 1968; NJOPWOUO et ORLIAC, 1979), les analyses chimiques ont été effectuées par les méthodes spectrophotométriques pour l'azote total et le phosphore total, et par oxydation à chaud au permanganate de potassium en milieu acide sulfurique pour le carbone organique (RODIER, 1996).

Tableau 1 : Quelques caractéristiques physiques des horizons du sol à l'état frais.

Horizon		Caractéristiques physiques et chimiques
Code	Epaisseur (cm)	
H ₁	33	Couleur brun-noirâtre, structure grumeleuse, texture sableuse
H ₂	113	Couleur brun rougeâtre, structure prismatique sub-angulaire à polygonale sub-angulaire, texture plastique
H ₃	148	Tâches brun-jaunâtres vermiculaires, texture argilo-plastique, structure polygonale
H ₄	105	Tâches brun-jaunâtres vermiculaires, grande quantité de nodules brun-noirâtres et de nodules brun-rougeâtres à cassure violette, texture argileuse
H ₅	160	Tâches brun-jaunâtres, texture argileuse, faible pourcentage en nodules
H ₆	205	Nodules brun-marrons à cassure marron noirâtre et cassure rouge violette, tâches jaunâtres, texture limono-argileuse dans un matériau rouge, structure polyédrique angulaire
H ₇	115	Matériau brun-jaunâtres, apparition des tâches blanchâtres, grains de quartz fissurés et translucides, structure polyédrique
H ₈	35	Tâches blanchâtres et tâches jaunâtres limono-argileuses, tâches rouges violettes à brun-marron, grains de quartz et lits quartzo-feldspathiques, matériau peu compact, structure peu ou pas conservée.

2.3 Collecte et identification de *Escherichia coli*

La bactérie fécale *E. coli* a été isolée d'une eau usée par la technique des membranes filtrantes sur le milieu mEndo (Bio-Rad), puis identifiée par des critères biochimiques usuels en utilisant la galerie API 20E (MARCHAL et al., 1991; NOLA et al., 1999). Elle a ensuite été cultivée sur le milieu gélose standard pour dénombrement des bactéries (Plate Count Agar), et conservée à la température 6-8 °C pour utilisation ultérieure.

2.4 Evaluation du rôle de l'horizon de sol

Il n'a pas été possible d'effectuer les tests avec les mêmes inocula bactériens, vu la sensibilité de ces microorganismes aux basses températures lorsqu'ils étaient conservés au frais (6-8 °C). Chaque test a ainsi été effectué avec les bactéries prélevées directement d'une colonie sur milieu gélose standard Plate Count Agar en pente.

Dans une première série d'expériences, une colonie bactérienne prélevée est mélangée à 50 ml de solution physiologique stérile (NaCl 0,85 %), contenue dans un erlenmeyer de 250 ml. La concentration bac-

térienne dans cette solution est déterminée toujours par la technique des membranes filtrantes et cette concentration à l'instant initial (t_0), constitue C_0 (il a été noté que toutes les colonies bactériennes ne contiennent pas la même quantité de cellules cultivables). Une masse de 500 mg de sol d'un horizon précis, séchée comme ci-dessus indiqué et écrasée, est ensuite ajoutée à l'aide de la spatule dans cette solution (les sols n'ont pas été stérilisés car l'exposition d'un sol à une forte température ou à une forte pression dans le but de le stériliser, détruit les propriétés physico-chimiques des minéraux constitutifs des particules de ce sol (ANGUE-ABANE, 1988; NGUETNKAM, 1993)). L'ensemble est ensuite incubé sur un agitateur GLF 3018 à la vitesse de 110 rpm pendant 300 minutes à la température du laboratoire (23 ± 1 °C). Au cours des analyses préliminaires, la recherche et l'isolement de *E. coli* dans ces horizons de sol en milieu aqueux, par culture sur milieu mEndo ont été négatifs. Cela prouve qu'aucun des 8 horizons de sol faisant l'objet de l'étude ne contenait au début des expériences, les cellules *E. coli* cultivables. Au cours des mêmes analyses préliminaires, les tests d'adsorption réa-

lisés avec les témoins (en l'absence de sol) ont montré que la concentration de bactéries planctoniques dans la solution saline ne subissait pas de variations au cours du temps. Il a ainsi été conclu que toute variation de la concentration bactérienne en présence du sol était entièrement due à la présence des particules de sol. Le temps d'incubation a été choisi au vu des résultats des analyses préliminaires qui ont montré qu'il était suffisant pour favoriser la saturation des sites superficiels des particules de sol.

A partir de l'instant t_0 , l'analyse bactériologique pour déterminer la concentration des bactéries planctoniques (non adsorbées aux particules géologiques) est effectuée à 15, 30 et ensuite toutes les 30 minutes jusqu'à la fin de la période d'incubation.

L'analyse bactériologique a été effectuée en pipétant stérilement 1 ml de la solution contenue dans l'erlenmeyer. Puis, des dilutions appropriées ont été effectuées en utilisant une solution de NaCl 0,85% stérile contenue dans des tubes à essais. Le nombre de cellules bactériennes contenues dans la solution a été déterminé par la méthode des membranes filtrantes (FORD, 1994), les cellules étant cultivées sur le milieu de culture mEndo incubé à 43 ± 1 °C pendant 24 à 48 heures. Les nombres de cellules ont ainsi été déterminés à partir des nombres d'Unités Formant Colonies (UFC).

Pour étudier l'effet de la présence de la matière organique biodégradable (généralement présente en grande concentration dans les eaux usées domestiques) sur la rétention de *E. coli* par les divers horizons de sol, le même protocole expérimental a été utilisé dans une seconde série d'expériences où un volume de 0,1 ml d'une solution peptonée stérile à 10 g.l^{-1} a été ajoutée dans la solution physiologique juste avant le début de l'incubation, pour obtenir une concentration finale en peptone de 20 mg.l^{-1} durant l'incubation en présence des divers horizons de sol. L'addition de la peptone vise ainsi à mimer de manière simplifiée, la présence de composés organiques très rapidement biodégradables tels que ceux que l'on peut trouver dans une eau usée. Cette seconde série d'expériences a pour objectif d'analyser le comportement des cellules de *E. coli* en présence des divers horizons de sol et d'un substrat biodégradable. Les résultats de ces analyses sont exprimés en nombre de cellules planctoniques par ml.

Cette méthode d'étude de rétention bactérienne aux particules géologiques est adaptée des techniques proposées par MILLER et al. (2001), et WANG et al. (2002).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 1 présente l'évolution de la concentration des cellules *E. coli* planctoniques dans la première série d'expériences. Les concentrations en *E. coli* dans le liquide physiologique décroissent dans toutes les expériences, montrant une rétention parfois très rapide des bactéries sur les horizons de sol. La capacité de rétention des bactéries est différente d'un horizon de sol à l'autre. La capacité de rétention des horizons du sol semble augmenter avec la profondeur dont ceux-ci sont issus. L'évolution de l'abondance bactérienne semble suivre une cinétique exponentielle décroissante dans tous les échantillons à l'exception de l'échantillon H_1 ; les pentes des exponentielles décroissantes ont été calculées et sont présentées au tableau 2. La vitesse de rétention des bactéries sur les particules du sol augmente de l'horizon H_2 à l'horizon H_8 avec une constante de premier ordre d'adsorption d'environ trois fois supérieure pour H_8 par rapport à H_2 . Ces expériences montrent que certains

Tableau 2 : Valeurs des pentes et des coefficients de corrélation (r^2) des droites de régression des variations du logarithme népérien (\ln) du nombre de cellules planctoniques en fonction du temps, dans la première série d'expériences (en l'absence du substrat organique biodégradable).

Horizon de sol	Pente de la droite (h^{-1})	r^2
H_1	n.d.	-
H_2	-0,45	0,54
H_3	-0,45	0,82
H_4	-0,47	0,87
H_5	-1,04	0,84
H_6	-1,02	0,93
H_7	-0,73	0,80
H_8	-1,34	0,85

n.d. Pour l'échantillon H_1 , l'évolution de l'abondance ne suit pas une allure exponentielle de sorte qu'il n'y pas de régression significative entre le \ln de l'abondance et le temps d'incubation.

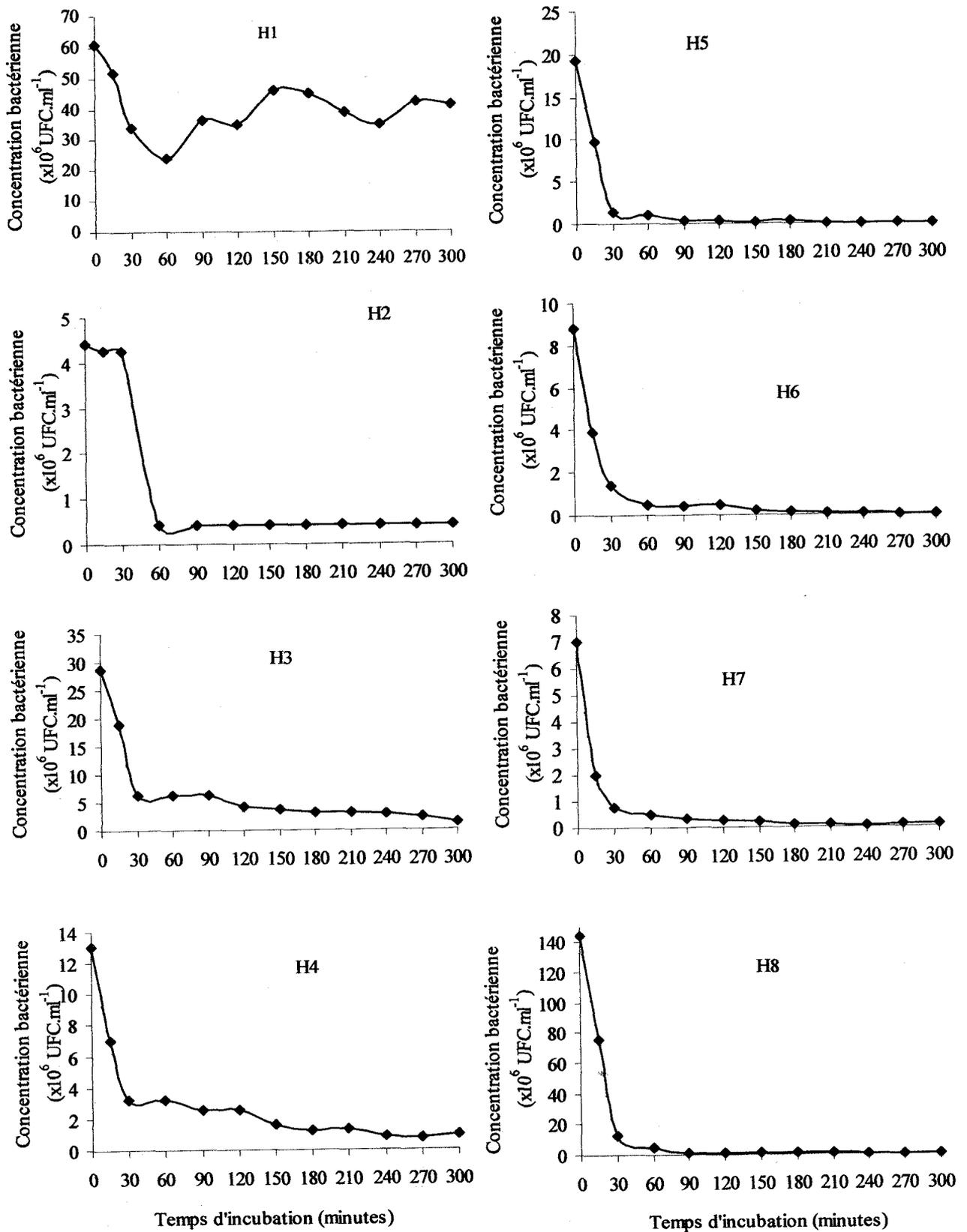


Figure 1 : Variation de la concentration des cellules de *E. coli* planctoniques, tests réalisés avec les horizons du sol H₁, H₂, H₃, H₄, H₅, H₆, H₇ et H₈ en l'absence du substrat organique biodégradable.

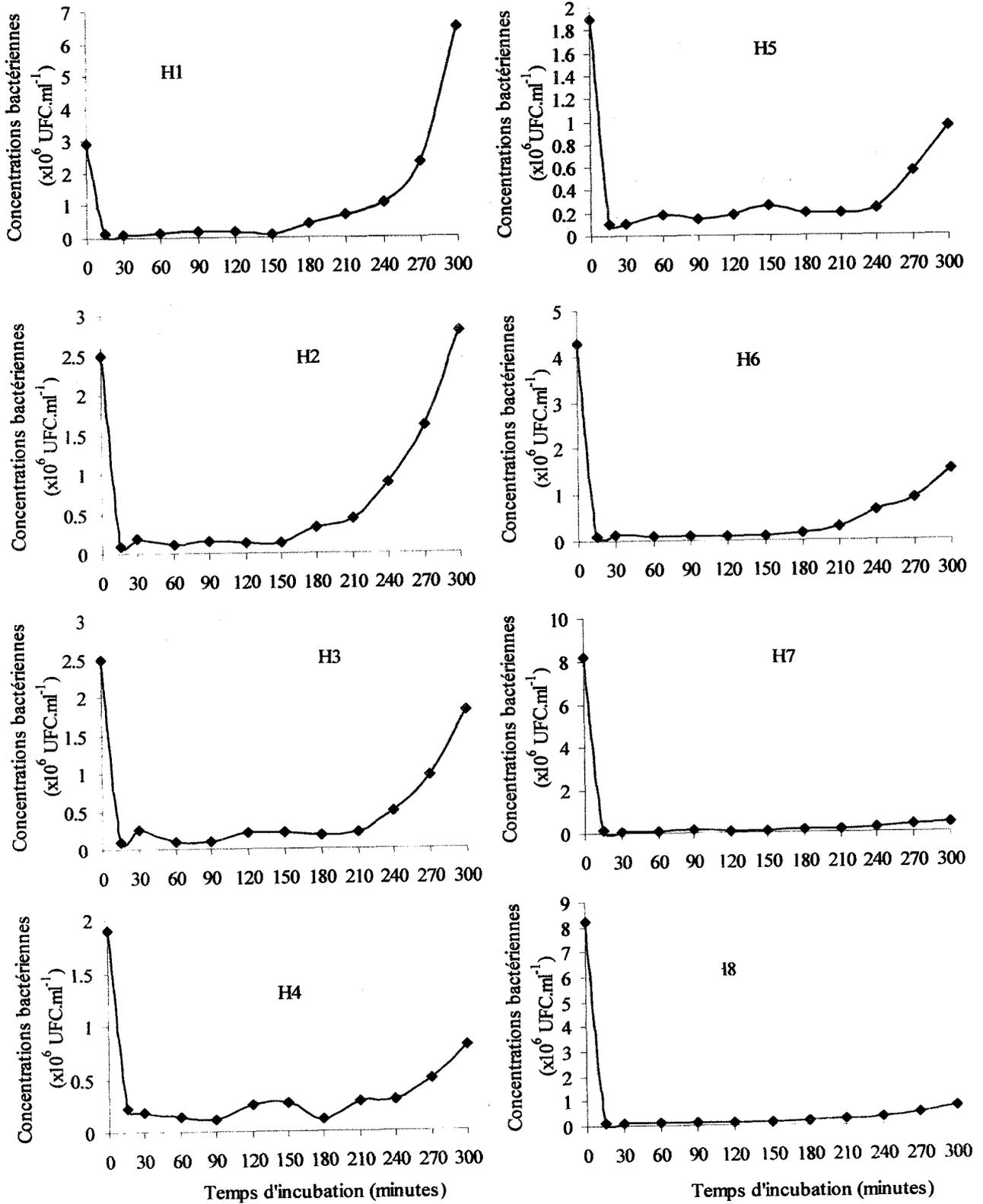


Figure 2: Variation de la concentration des cellules de *E. coli* planctoniques, tests réalisés avec les horizons de sol H₁, H₂, H₃, H₄, H₅, H₆, H₇ et H₈ en présence du substrat organique biodégradable.

des horizons du sol testé (particulièrement les horizons les plus profonds) présentent une capacité de rétention importante des bactéries de type *E.coli*.

Dans la seconde série d'expériences, les cellules de *E. coli* ont été resuspendues dans une solution contenant de la peptone à une concentration de 20 mg.l⁻¹. Dans toute cette série d'expériences, on observe dans un premier temps, une décroissance rapide de la concentration des bactéries planctoniques, retenues sur les particules des divers horizons de sol (figure 2), comme noté dans la première série d'expériences. Dans un second temps, on observe dans tous les cas une hausse du nombre de cellules planctoniques (figure 2). Cette hausse présente souvent une allure exponentielle et conduit dans certains cas (horizons H₁ et H₂) à des nombres de cellules planctoniques après 300 minutes d'incubation, supérieurs à l'effectif cellulaire introduit à l'instant initial. L'augmentation continue du nombre de cellules planctoniques débute après environ 150 minutes d'incubation avec les horizons H₁, H₂ et H₆ (figure 2). Avec les horizons H₃ et H₄, cette augmentation commence après 180 minutes d'incubation. Elle débute après 210 minutes avec les horizons H₅, H₇ et H₈.

En fait, l'évolution du nombre de cellules dans les expériences en présence d'un substrat facilement biodégradable est la résultante d'une part de la rétention des cellules de *E. coli* sur les sols et, d'autre part, d'une croissance des cellules qui utilisent la peptone, un substrat facilement biodégradable. L'adsorption des cellules bactériennes débute dès que les bactéries sont mises en présence des particules de sols; dans un premier temps, cette adsorption domine la croissance et il en résulte une diminution du nombre de cellules. Dans un second temps, la multiplication cellulaire prend le dessus sur l'adsorption et l'on observe une augmentation du nombre de cellules de *E. coli*.

Les expériences réalisées avec les divers horizons de sol présentent des évolutions des abondances de cellules de *E. coli* différentes. On observe ainsi des différences dans les allures des premières parties des courbes (diminution du nombre de cellules) et dans celles des secondes parties des courbes (augmentation de l'abondance), ainsi que dans les concentrations des bactéries libres au terme des 300 minutes.

Les taux de croissance apparents ont été évalués dans cette seconde série d'expériences, durant la période correspondant à l'augmentation du nombre de cellules bactériennes. Ces taux de croissance apparents ont été calculés comme la pente de la droite de régression obtenue en considérant le logarithme népérien du nombre de cellules en fonction du temps, pendant la période où un accroissement de l'abondance est

observé (tableau 3). Le taux de croissance apparent de *E. coli* durant la phase de l'augmentation de l'abondance fluctue d'un horizon de sol à l'autre, entre un maximum de 1,39.h⁻¹ (horizon H₃) et un minimum de 0,55.h⁻¹ (horizon H₇). Les taux de croissance les plus élevés observés (1,34 à 1,39) durant les secondes parties d'incubation paraissent ainsi comme taux de croissance maximum de *E. coli* dans les conditions expérimentales. Le taux maximum de croissance de *E. coli* selon LARPENT et LARPENT-GOURGAUD (1990) est de 2,86.h⁻¹ (équivalant à un temps de doublement de 0,35 h) à la température de 40° C. Dans le cas de la présente étude, en considérant l'effet réducteur de ce taux de croissance maximum par la température, d'un facteur de deux environ en passant de 40 °C à 22-24 °C (température environnementale des expériences), comme c'est approximativement le cas des bactéries mésophiles (MADIGAN et al., 1996), cela mène à un taux de croissance maximum de 1,4.h⁻¹ à 22-24 °C, valeur qui est très proche des valeurs maximales observées. Il semble donc que pour les horizons H₁, H₃ et H₅ dans la seconde phase des incubations, les cellules de *E. coli* croissent à vitesse maximale sans plus s'adsorber sur les particules de sol. Certaines études ont déjà indiqué qu'un sol tropical enrichi avec du glucose pouvait offrir des conditions favorables à une multi-

Tableau 3: Valeurs des taux de croissance apparents des cellules bactériennes et des coefficients de corrélations (r²) durant les périodes correspondant à l'augmentation du nombre de cellules planctoniques dans la seconde série d'expériences (en présence de substrat organique biodégradable).

Horizon de sol	Taux de croissance apparent (h ⁻¹)	r ²
H ₁	1,34	0,97
H ₂	1,11	0,99
H ₃	1,39	0,99
H ₄	0,74	0,91
H ₅	1,37	0,98
H ₆	1,13	0,99
H ₇	0,55	0,82
H ₈	0,81	0,99

plication exponentielle des coliformes fécaux et *E. coli* (BYAPPANAHALLI et FUJIOKA, 1998). Le taux de croissance apparent est relativement faible avec les autres horizons de sols; cela signifierait que, soit les cellules de *E. coli* ne croissent pas à vitesse maximale en raison des conditions du milieu, soit une partie des cellules de *E. coli* produites par la croissance continue à s'adsorber sur les particules de sol. C'est en effet sur les horizons profonds qui ont montré une vitesse de rétention plus importante dans la première série d'expériences que la croissance apparente est la moins forte.

La différence de comportement des différents horizons de sol vis-à-vis des cellules de *E. coli* (effet sur la cinétique de rétention et effet sur la croissance en présence du substrat biodégradable) peut être liée aux propriétés chimiques de ces divers horizons. Les 8 horizons de sol étudiés présentent, en effet, des caractéristiques chimiques différentes (figure 3). Les teneurs en azote total et en carbone dans le sol diminuent sensiblement des horizons supérieurs aux horizons profonds. Les teneurs les plus élevées en azote total et en carbone sont respectivement de 3,2 et 18,1 mg.g⁻¹ de sol, et sont enregistrées dans l'horizon superficiel H₁. La concentration la plus faible en azote total est enregistrée dans l'horizon H₇, et la plus faible en carbone, dans l'horizon H₃ (figure 3). Les teneurs en phosphore total subissent de grandes fluctuations d'un horizon de sol à l'autre. Ces concentrations en phosphore total, à l'inverse de l'azote total et du carbone, semblent augmenter globalement des horizons supérieurs vers les horizons profonds, les concentrations les plus faibles étant enregistrées dans les horizons H₁ et H₇ (figure 3). La présence de ces éléments,

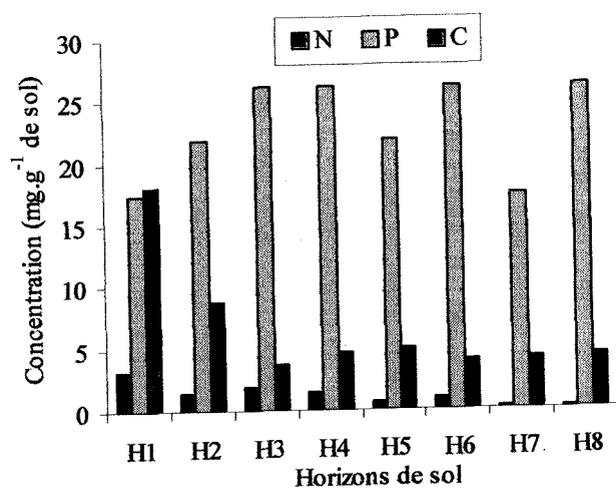


Figure 3: Variation des concentrations en phosphore total (P), carbone (C) et azote total (N) dans les horizons de sol.

potentielles sources nutritionnelles, peut stimuler une certaine activité bactérienne; ce qui peut ainsi perturber le processus de rétention microbienne par particules de sol (MURPHY et GINN, 2000). La rareté du carbone, de l'azote et du phosphore a parfois été signalée comme limitant l'activité bactérienne (ALDEN et al., 2001). La variation des propriétés chimiques des horizons de sol, associée à la variabilité des propriétés de la paroi des cellules bactériennes (YEE et al., 2000), pourrait aussi en partie expliquer la variabilité de la rétention des bactéries par les particules des horizons de sol. Ces caractéristiques de sol sont en effet souvent à l'origine de la réversibilité de l'adhésion cellulaire aux surfaces (RIJNAARTS et al., 1995; FOWLE et FEIN, 2000).

4. CONCLUSION

La présente étude réalisée en conditions de laboratoire relève une rétention importante des cellules de *E. coli* par certains horizons d'un sol de région équatoriale. Cette rétention peut néanmoins être contrebalancée par une croissance des bactéries lorsque les eaux d'infiltration qui les contiennent sont riches en matière organique biodégradable. En présence de certains horizons de sol et d'un substrat rapidement biodégradable telle que la peptone, la croissance de *E. coli* peut prendre le dessus sur l'adsorption après quelques heures d'incubation à 22 – 24 °C. Les eaux souterraines ne devraient donc être utilisées pour l'alimentation que dans les zones où les eaux d'infiltration sont pauvres en substrats biodégradables.

L'évolution des populations bactériennes, présentes sur le sol, dans les eaux d'infiltration et susceptibles d'atteindre la nappe phréatique, dépend ainsi de la nature de chaque horizon traversé. Elle doit cependant dépendre aussi d'autres facteurs localement variables tels que la perméabilité de chaque horizon ainsi que son épaisseur, lesquelles influent sur la durée du contact eau-particules et sol-bactéries. C'est l'ensemble de ces facteurs qui devrait être pris en compte, pour élaborer un modèle prédisant l'évolution de la charge bactérienne d'une eau qui s'infiltré vers la nappe phréatique.

Remerciements : Ce travail a été réalisé avec l'appui de AIRE *développement* (Convention N°-2-CMR-31-1) et celui du Fonds International de Coopération Universitaire – FICU (Agence Universitaire de la Francophonie).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDÉN, L., DEMOLING, F., BAATH, E. (2001). Rapid method of determining factors limiting bacterial growth in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 1830-1838.
- ANGUE ABANE, M. 1988. Biodynamique des humus et des cycles biogéochimiques des éléments dans les sites forestiers et les sites cultivés en cacaoyers du Centre-Sud Cameroun (Région d'Akongo). Thèse de Doctorat, Université de Nancy I, 189 pp.
- BACHELIER, G. (1959). Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogenèse des sols ferrallitiques. *Agronomie Tropicale* XIV, 279-305.
- BANTON, O., BANGOY, L.M. (1997). Hydrogéologie, Multiscience environnementale des eaux souterraines. PUQ/AUPELF, Sainte-Foy, 460 pp.
- BYAPPANAHALLI, M.N., FUJIOKA, R.S. (1998). Evidence that tropical soil environment can support the growth of *Escherichia coli*. *Water Science and Technology* 38, 171-174.
- CAMESANO, T.A., LOGAN, B.E. (1998). Influence of fluid velocity and cell concentration on the transport of motile and nonmotile bacteria in porous media. *Environmental Science Technology* 32, 1699-1708.
- CLAISSE, G. (1968). Etude expérimentale de l'analyse aux trois acides. Comportement du quartz à l'attaque triacide. *Cahier ORSTOM Série Pédologie* 6, 129-149.
- FEIN, J.B., DAUGHNEY, C.J., YEE, N., DAVIS, T.A. (1997). A chemical equilibrium model for metal adsorption onto bacterial surfaces. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 3319-3328.
- FORD, L.A. (1994). Detection of *Aeromonas salmonicida* from water using a filtration method. *Aquaculture* 122, 1-7.
- FOWLE, D.A., FEIN, J.B. (2000). Experimental measurements of the reversibility of metal-bacteria adsorption reactions. *Chemical Geology* 168, 27-36.
- JUCKER, B.A., ZEHNDER, A.J.B., HARMS, H. (1998). Quantification of Polymer Interactions in Bacterial Adhesion. *Environmental Science and Technology* 32, 2909-2915.
- LARPENT, J.-P., LARPENT-GOURGAUD, M.L. (1990). *Mémento technique de microbiologie*. Lavoisier, Paris, 417 pp.
- Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975. *determination of soil color-Munsell soil color charts*. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation edit., Baltimore, Maryland, 142 pp.
- MADIGAN, M.T., MARTINKO, J.M., PARKER, J. (1996). *Biology of microorganisms*. Prentice Hall, USA. Eighth edition, 568 pp.
- MARCHAL, N., BOURDON, J.L., RICHARD, Cl. (1991). *Milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries*. Doin, Paris, 509 pp.
- MILLER, M.J., CRITCHLEY, M.M., HUTSON, J., FALLOWFIELD, H.J. (2001). The adsorption of cyanobacterial hepatotoxins from water onto soil during batch experiments. *Water Research* 35, 1461-1468.
- MURPHY, E.M., GINN, T.R. (2000). Modeling microbial process in porous media. *Hydrogeology Journal* 8, 142-158.
- NGUETNKAM, J.P. 1993. Etude d'une toposéquence de sol sur granite dans la région de Mvangan (Sud-Cameroun) : caractérisation de deux domaines de pédogenèse différenciés. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I, 165 pp.
- NJINE, T., MONKIEDJE, A., NOLA, M., SIKATI FOKO, V. (2001). Evaluation de la charge polluante et de la charge bactérienne des rejets des stations d'épuration à boues activées à Yaoundé (Cameroun). *Cahiers Santé* 11, 79-84.
- NJOPWOUO, D., ORLIAC, M. (1979). Note sur le comportement de certains minéraux à l'attaque triacide. *Cahier ORSTOM Série Pédologie* 17, 329-337.
- NOLA, M., NJINE, T., MONKIEDJE, A., TAILLEZ, R. (1999). Approche colimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de Yaoundé (Cameroun). *Microbiologie et Hygiène Alimentaires* 11, 9-14.
- RIJNAARTS, H.H.M., NORDE, W., BOUWER, E.J., LYKLEMA, J., ZEHNDER, A.J.B. (1995). Reversibility and mechanism of bacterial adhesion. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 4, 5-22.

RODIER, J., 1996. L'analyse de l'eau, DUNOD, Paris, 1384 pp.

VAN DER MEI, H.C., BOS, R., BUSSCHER, H.J. (1998). A reference guide to microbial cell surface hydrophobicity based on contact angles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 11, 213-221.

VERRAN, J., TAYLOR, R.L., LEES, G.C. (1996). Bacterial adhesion to inert thermoplastic surfaces. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 7, 597-601.

WANG, W., WANG, W., ZHANG, X., WANG, D. (2002). Adsorption of p-chlorophenol by biofilm components, *Water Research* 36, 551-560.

YEE, N., FEIN, J.B., DAUGHNEY, C.J. (2000). Experimental study of the pH, ionic strength, and reversibility behavior of bacteria-mineral adsorption. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 64, 609-617.

YONGUE-FOUATEU, R. (1986). Contribution à l'étude pétrographique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatitiques de la région de Yaoundé. Thèse Doctorat, Université de Yaoundé, 214 pp.

Received: 26/08/2003

Accepted 10/04/2004