

Rapport final d'évaluation préalable des souches

ATCC 12633

ATCC 31483

ATCC 31800

ATCC 700369

de

Pseudomonas putida

Environnement Canada

Santé Canada

Janvier 2017

Sommaire

Conformément à l'article 74b) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* LCPE, les ministres de l'Environnement et de la Santé ont procédé à une évaluation préalable de quatre souches de *Pseudomonas putida* (*P. putida*) : ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369.

Les souches de *P. putida* ATCC¹ 12633 (souche type), ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369 ont des caractéristiques en commun avec d'autres souches de l'espèce. *P. putida* est une bactérie généralement considérée comme omniprésente dans l'environnement et pouvant s'adapter à des conditions variables; elle prolifère dans le sol, dans l'eau et dans la rhizosphère de nombreuses plantes. *P. putida* peut aussi vivre dans des conditions extrêmes et des milieux contaminés où il y a peu d'éléments nutritifs disponibles. Certains membres de l'espèce *P. putida* peuvent métaboliser des hydrocarbures et des solvants, d'autres peuvent piéger ou réduire des métaux lourds. Grâce à de telles propriétés, les bactéries *P. putida* peuvent se révéler utiles dans la biorestauration et la biodégradation, le traitement des eaux usées, les produits de nettoyage et de dégraissage, ainsi que dans la production d'enzymes et de produits biochimiques utilisés dans les biocatalyseurs industriels et les produits pharmaceutiques.

Malgré sa présence répandue dans les écosystèmes du sol, de l'eau et des rhizosphères, il est rare que des effets néfastes attribuables à cette bactérie aient été signalés chez les plantes ou les animaux terrestres et aquatiques. Certaines infections à *P. putida* ont été signalées chez des poissons élevés en captivité, mais rarement dans les populations de poissons sauvages. Dans l'ensemble, rien n'indique que *P. putida* a des effets écologiques néfastes sur les populations de vertébrés, d'invertébrés ou de plantes. *P. putida* est considéré comme une rhizobactérie favorisant la croissance des végétaux, et certaines souches ont des propriétés antibactériennes et antifongiques, ce qui donne à l'espèce un attrait commercial dans le domaine de l'agriculture et comme agent de lutte biologique contre des micro-organismes nuisibles. Dans l'ensemble, rien n'indique que les souches ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369 de *P. putida* qui figurent sur la *Liste intérieure des substances* (LIS) ont des effets nuisibles sur l'environnement.

P. putida cause parfois des infections chez les gens en bonne santé et peut agir comme un pathogène opportuniste chez les personnes prédisposées à l'infection, comme les personnes immunodéprimées ou celles ayant une maladie débilitante. *P. putida* colonise les surfaces humides dans les hôpitaux, notamment les solutions et les instruments médicaux, et il peut proliférer aux températures de réfrigération. Cette

¹ American Type Culture Collection

caractéristique permet à l'espèce de se multiplier dans les produits sanguins entreposés et, dans de rares cas, d'entraîner une septicémie chez des patients transfusés. *P. putida* est résistant à certains antibiotiques cliniques, mais il existe un bon nombre d'antibiotiques efficaces contre cette espèce. Aucune infection humaine causée spécifiquement par les souches de *P. putida* figurant sur la LIS (ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369) n'a encore été signalée.

Cette évaluation porte sur les caractéristiques susmentionnées des souches ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369 de *P. putida* relativement aux effets sur la santé humaine et l'environnement associés à l'utilisation de produits et aux procédés industriels assujettis à la LCPE, dont les rejets dans l'environnement par l'intermédiaire des flux de déchets et l'exposition humaine fortuite par l'intermédiaire des milieux naturels. Afin de mettre à jour les renseignements sur les utilisations actuelles de cette substance, le gouvernement a lancé une enquête pour la collecte obligatoire de renseignements en application de l'article 71 de la LCPE, telle que publiée dans la Partie I de la *Gazette du Canada* le 3 octobre 2009 [avis en vertu de l'article 71]. Les renseignements fournis en réponse à cet avis indiquent que les souches ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369 *P. putida* ont été importés ou fabriqués au Canada en 2008, entre autres, pour le traitement des eaux usées et la biorestauration.

D'après les données disponibles, il est conclu que les souches ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369 de *P. putida* ne satisfont pas aux critères énoncés aux alinéas 64a) ou b) de la LCPE, car elles ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ou à mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie. Il est aussi conclu que les souches ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369 de *P. putida* ne satisfont pas aux critères énoncés à l'alinéa 64c) de la LCPE, car elles ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à constituer un danger pour la vie ou la santé humaines au Canada.

Table des matières

Sommaire	2
Introduction	7
Décisions d'autorités compétentes sur le plan national et international	8
Plan national.....	8
Plan international.....	8
1. Évaluation du danger	9
1.1 Caractérisation de <i>Pseudomonas putida</i>	9
1.1.1 Identification taxonomique et historique des souches.....	9
1.1.2 Caractéristiques phénotypiques et moléculaires.....	10
1.2 Propriétés biologiques et écologiques	15
1.2.1 Présence naturelle	15
1.2.2 Survie, persistance et dispersion dans l'environnement.....	17
1.2.3 Paramètres de croissance.....	18
1.2.4 Rôle dans le cycle des éléments nutritifs	18
1.2.5 Résistance aux antibiotiques et aux métaux lourds	19
1.2.6 Caractéristiques de pathogénicité et de toxicité.....	20
1.3 Effets	22
1.3.1 Environnement	22
1.3.2 Santé humaine	26
1.4 Gravité du danger.....	27
1.4.1 Environnement	27
1.4.2 Santé humaine	27
2. Évaluation de l'exposition	28
2.1 Sources d'exposition	28

2.2	Caractérisation de l'exposition	30
2.2.1	Environnement	30
2.2.2	Humains	31
3.	Caractérisation des risques	32
4.	Conclusions	33
5.	Références	34
A.	Annexes.....	50
	Annexe A. Croissance des souches ATCC 12633, 31800, 31483 et 700369 de <i>P. putida</i> dans différents milieux.....	50
	Annexe B. Analyse des esters méthyliques d'acides gras des souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de <i>P. putida</i>	52
	Annexe C. Analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S des souches ATCC 12633, 31800, 31483 et 700369 de <i>P. putida</i>	54
	Annexe D. Liste des toxines et des métabolites secondaires produits par <i>P. putida</i>	56

Liste des tableaux

Tableau 1-1.	Caractéristiques des souches de <i>P. putida</i> de la LIS	11
Tableau 1-2.	Différences phénotypiques entre les biovars A et B.....	12
Tableau 1-3.	Profils de sensibilité aux antibiotiques des souches de <i>P. putida</i> de la LIS	19
Tableau 2-1.	Quantités de produits contenant des souches de <i>P. putida</i> de la LIS déclarées comme ayant été importées ou fabriquées au Canada en 2009.....	29
Tableau A-1.	Croissance de la souche ATCC 12633 de <i>P. putida</i> en milieu liquide à différentes températures	50
Tableau A-2.	Croissance de la souche ATCC 31483 de <i>P. putida</i> en milieu liquide à différentes températures	50
Tableau A-3.	Croissance de la souche ATCC 31800 de <i>P. putida</i> en milieu liquide à différentes températures	51
Tableau A-4.	Croissance de la souche ATCC 700369 de <i>P. putida</i> en milieu liquide à différentes températures	51

Tableau B-1. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 12633 de <i>P. putida</i>	52
Tableau B-2. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 31483 de <i>P. putida</i>	53
Tableau B-3. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 31800 de <i>P. putida</i>	53
Tableau B-4. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 700369 de <i>P. putida</i>	53
Tableau C-1. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 12633 de <i>P. putida</i>	54
Tableau C-2. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 31843 de <i>P. putida</i>	54
Tableau C-3. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 31800 de <i>P. putida</i>	55
Tableau C-4. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 700369 de <i>P. putida</i>	55
Tableau D-1. Liste des toxines et des métabolites secondaires produits par <i>P. putida</i>	56

Liste des figures

Figure 1-1. Arbre phylogénétique des souches de <i>P. putida</i> de la LIS fondé sur la séquence du gène de l'ARNr 16S.	14
--	----

Introduction

Conformément à l'alinéa 74b) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* [LCPE], les ministres de l'Environnement et de la Santé sont tenus de procéder à l'évaluation préalable des organismes vivants inscrits sur la *Liste intérieure des substances* (LIS) en vertu de l'article 105 de la Loi afin de déterminer si lesdits organismes présentent ou sont susceptibles de présenter un risque pour l'environnement ou la santé humaine [d'après les critères énoncés à l'article 64 de la LCPE]². Ces souches ont été ajoutées à la *Liste intérieure des substances* en vertu du paragraphe 25(1) de la LCPE (1988) et du paragraphe 105(1) de la LCPE, parce qu'elles ont été fabriquées ou importées au Canada entre le 1^{er} janvier 1984 et le 31 décembre 1986.

La présente évaluation préalable tient compte des renseignements sur les risques tirés du domaine public et de données de recherche non publiées de chercheurs de Santé Canada³ et d'Environnement Canada⁴, ainsi que des commentaires d'examineurs scientifiques. Les renseignements liés à l'exposition proviennent du domaine public et des commentaires reçus en réponse à l'avis obligatoire relatif à l'article 71 de la LCPE publié le 3 octobre 2009 dans la Partie I de la *Gazette du Canada*. De plus amples précisions concernant la méthode d'évaluation des risques utilisée sont accessibles dans le document intitulé « Cadre d'évaluation scientifique des risques liés aux micro-organismes réglementés en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* » (Environnement Canada et Santé Canada, 2011).

Dans le présent rapport, les données qui sont propres aux souches ATCC 12633, 31483, 31800 ou 700369 de *P. putida* inscrites sur la LIS sont identifiées comme telles. Lorsque les données propres à la souche n'étaient pas disponibles, des données de substitution provenant de recherches documentaires ont été utilisées. Dans la mesure du possible, les recherches documentaires sur l'organisme comprenaient les synonymes, les noms courants ainsi que les noms périmés. Le cas échéant, les

² La détermination de la conformité à l'un ou plusieurs des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE (1999) est basée sur une évaluation des risques potentiels pour l'environnement et/ou la santé humaine liés à l'exposition dans l'environnement en général. Pour les humains, cela inclut, sans toutefois s'y limiter, l'exposition par l'air, l'eau et l'utilisation de produits contenant les substances. Une conclusion établie en vertu de la LCPE (1999) peut n'avoir rien à voir avec une évaluation basée sur les critères définis dans le *Règlement sur les produits dangereux*, qui fait partie du cadre réglementaire du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail, 2015 (SIMDUT 2015), visant les produits destinés à être utilisés au travail.

³ Essais dirigés par le Bureau de la science de la santé environnementale et de la recherche de Santé Canada

⁴ Essais dirigés par la Division de l'écotoxicologie et de la santé de la faune d'Environnement Canada

organismes substitués sont identifiés jusqu'au niveau taxinomique fourni par la source. Les recherches documentaires ont été effectuées à l'aide de bases de données de publications scientifiques (SCOPUS, CAB Abstracts et PubMed du NCBI), de recherches sur le Web et de termes-clés de recherche afin de cerner les dangers pour la santé humaine et l'environnement. Les données relevées jusqu'en avril 2014 ont été prises en compte dans le présent rapport d'évaluation préalable.

Décisions d'autorités compétentes sur le plan national et international

Plan national

L'Agence de la santé publique du Canada (ASPC) a classé l'espèce *P. putida* dans le groupe de risque 1 (risque faible pour l'individu et pour la collectivité) pour les humains et les animaux terrestres (communication personnelle, ASPC, 2014). L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) ne considère pas *P. putida* comme un phytovagueur au Canada, mais l'espèce est considérée comme un pathogène aquatique (AQC-2 in vitro) [communication personnelle, ACIA, 2014].

Plan international

L'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis a évalué six souches de *P. putida* génétiquement modifiées en vue de déterminer les risques associés à leur dissémination dans l'environnement aux termes de la *Toxic Substances Control Act*. L'EPA a jugé que les essais au champ prévus à petite échelle ne présentaient pas de risque déraisonnable de préjudice à la santé ou à l'environnement. Cette décision est corroborée en partie par l'observation selon laquelle l'espèce *P. putida* est une « bactérie courante et répandue dans sol, qui n'est pas pathogène pour les plantes ni pour les animaux » [traduction] (EPA, 2012 a, b, c, d).

Aucune autre décision réglementaire de la part d'autres gouvernements ou organismes internationaux n'a été relevée concernant *P. putida*.⁵

⁵Les organismes gouvernementaux et les organisations ayant fait l'objet de la recherche sont notamment les suivants : Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis; Food and Drug Administration des États-Unis; Animal and Plant Health Inspection Services (APHIS) des États-Unis; American Biological Safety Association (ABSA); Organisation mondiale de la Santé; ministère de la Santé de l'Australie; Autorité européenne de sécurité des aliments; Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail; European Food Standards Agency; Comité d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires.

1. Évaluation du danger

1.1 Caractérisation de *Pseudomonas putida*

1.1.1 Identification taxonomique et historique des souches

Nom binomial : *Pseudomonas putida*

Désignation taxinomique :

Règne :	Bactéries
Embranchement :	Protéobactéries
Classe :	Gammaprotéobactéries
Ordre :	Pseudomonadales
Famille :	<i>Pseudomonadaceae</i>
Genre :	<i>Pseudomonas</i>
Espèce :	<i>putida</i> (Trevisan 1889) Migula 1895
Souches de la LIS :	ATCC 12633 (souche type) ATCC 31483 ATCC 31800 ATCC 700369

Synonymes, noms communs et périmés

Les synonymes les plus courants associés à l'espèce *P. putida* comprennent : *Pseudomonas ovalis* (Palleroni 2005); *Bacillus putidus* (Palleroni 2005); *Arthrobacter siderocapsulatus* (Chun et coll. 2001); et *Pseudomonas barkeri* (DSMZ 2014).

Historique des souches

À l'origine, la souche ATCC 12633 de *P. putida*, souche type de l'espèce, a été isolée du sol par des méthodes d'enrichissement (Stanier 1947). La souche a été déposée à l'ATCC sous le nom de *Pseudomonas fluorescens* Migula, par A.B. Pardee, qui l'avait obtenue de R.Y. Stanier (ATCC 2014). D'autres dénominations de cette souche comprennent les suivantes : A.3.12, ATCC 23467, NCIB 9494, NCTC 10936, R.Y. Stanier 90, HUT 8100, NCIB 9494, CCUG 12690, CFBP 2066, CIP 52.191, DSM 291, DSM 50202 (numéro historique), HAMBI 7, ICPB 2963, LMG 2257, NCAIM B.01634, NCIB 9494, NCCB 68020, NCCB 72006, NCTC 10936, et WDCM 00117 (ATCC 2014; NBRC 2013; StrainInfo 2014).

La souche ATCC 31483 de *P. putida* a été isolée d'un lagon d'eaux usées de la Caroline du Sud et déposée à l'ATCC par la Sybron Biochemical Corp. sous la dénomination *Pseudomonas fluorescens* Migula. D'autres dénominations de cette souche comprennent les suivantes : 3P (ATCC 2014), BCRC 14347 et CCRC 14347 (StrainInfo 2014).

La souche ATCC 31800 de *P. putida* a été isolée des eaux usées d'une usine de produits chimiques de Welford, en Caroline du Sud, en raison de sa capacité de dégrader le phénol; la souche a été déposée à l'ATCC par la Sybron Biochemical Corp. sous la dénomination *Pseudomonas putida* (Trevisan) Migula. D'autres dénominations de cette souche comprennent les suivantes : CB 173 (ATCC 2014), BCRC 14365 et CCRC 14365 (StrainInfo 2014).

La souche ATCC 700369 de *P. putida* a été isolée du sol et déposée à l'ATCC par la Sybron Chemicals, Inc. sous la dénomination *Pseudomonas putida* (Trevisan) Migula. Cette souche est aussi désignée comme HC 7219 (ATCC 2014).

1.1.2 Caractéristiques phénotypiques et moléculaires

Les membres du genre *Pseudomonas* sont des bactéries à Gram négatif, diversifiées, largement répandues et dominées par des colonisateurs saprophytes, non pathogènes, des écosystèmes du sol, de l'eau et de la rhizosphère ainsi que par des colonisateurs commensaux non pathogènes de la peau saine des humains (Cogen et coll., 2008; Li et coll., 2013). Historiquement, le genre *Pseudomonas sensu lato* comprenait des protéobactéries alpha, bêta, gamma-bêta et gamma, parmi lesquelles plusieurs ont probablement été reclassées selon les méthodes de taxonomie modernes. Chez les protéobactéries gamma, le sous-groupe des espèces suivantes de *Pseudomonas* est considéré comme le représentant du genre *sensu stricto* : *P. aeruginosa*, *P. chloroaphis*, *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. stutzeri* et *P. syringae*.

P. putida est un aérobie strict, à Gram négatif, en forme de bâtonnet, qui ne forme pas de spore et qui doit sa mobilité à un ou à plusieurs flagelles polaires; il mesure de 0,5 à 1,0 × 1,5 à 5,0 µm. La souche ATCC 12633 (Palleroni 2005) représente la souche type de l'espèce.

P. putida se distingue de *P. aeruginosa* par son incapacité à liquéfier la gélatine, à produire des pigments de phénazine, à dénitrifier ou à dégrader le jaune d'œuf, et à croître à 41 °C. En effet, la température optimale de croissance de *P. putida* se situe entre 25 et 30 °C, alors que pour *P. aeruginosa*, elle est de 37 °C (Palleroni, 2005; Stanier et coll., 1966).

P. putida se distingue de *P. fluorescens* (Bossis et coll., 2000; Chapalain et coll., 2007; Palleroni, 2005; Stanier et coll., 1966) par son incapacité à liquéfier la gélatine, à métaboliser le L-arabinose et à dénitrifier ou à dégrader le jaune d'œuf.

D'autres méthodes phénotypiques comme la trousse commerciale API 20NE (BioMerieux, Marcy l'Etoile, France), la spectroscopie de fluorescence (Belal et coll., 2010; Tourkya et coll., 2009) et les microplaques Biolog GN (Regenhardt et coll., 2002) peuvent servir à l'identification rapide de *P. putida*, mais ces techniques ne permettent pas de distinguer les différentes souches les unes des autres.

Outre les caractéristiques présentées au tableau 1-1, Santé Canada a aussi caractérisé individuellement les quatre souches de la LIS en fonction de leur cinétique de croissance à différentes températures et dans différents milieux liquides (annexe 1) ainsi qu'en fonction de leur classification taxonomique selon l'analyse des esters méthyliques d'acides gras (annexe 2).

Tableau 1-1. Caractéristiques des souches de *P. putida* de la LIS

Caractéristique	ATCC 12633	ATCC 31483	ATCC 31800	ATCC 700369
Température optimale (°C)	25 à 30 °C : croissance en TSB à 28 °C et à 32 °C; aucune croissance à 37 °C et à 42 °C	Croissance en TSB à 28 °C, faible croissance à 32 °C; aucune croissance à 37 °C et à 42 °C	30 °C : croissance en TSB à 28 °C et à 32 °C; aucune croissance à 37 °C et à 42 °C	Croissance en TSB à 28 °C et à 32 °C; faible croissance à 37 °C
pH optimal	4 à 8	Non précisé	7	Non précisé
Colonies	Deux morphologies observées : 1) sur gélose nutritive : marge entière, rugueuses, circulaires, grises et plates 2) sur gélose nutritive : marge entière, lisses, circulaires et convexes	Sur gélose nutritive : marge entière, lisses, circulaires, brillantes, convexes, translucides	Sur gélose nutritive : marge entière, lisses, bord ondulé, pigment vert diffusible	Sur gélose trypticase soja : marge entière, lisses, circulaires, de couleur crème, opaques
Morphologie sur gélose trypticase soja après 7 jours à la température ambiante	Deux morphologies observées : 1) beiges, semi-translucides, butyreuses, lustrées, marge entière-ondulée, surélevées, circulaires, taille moyenne de 9 mm 2) beige pâle/blanc cassé, semi-translucides,	Beiges, semi-translucides, humides, marge entière-ondulée, semi-bombées, circulaires, taille moyenne de 11 mm	Deux morphologies observées : 1) beige-blanc cassé /crème/ beiges, semi-translucides, humides, marge entière, circulaires, taille moyenne de 4 mm 2) beiges, semi-translucides, butyreuses,	Deux morphologies observées : 1) beiges, semi-translucides, butyreuses, lustrées, marge entière-ondulée, bombées, circulaires, taille moyenne de 9 mm 2) beige-tan, opaques, humides, ondulées, semi-

	humides, marge entière, plates, circulaires-irrégulières, taille de 5 à 7 mm		lustrées, marge entière, plates, circulaires, de 3 à 5 mm	bombées/plates, circulaires-irrégulières, de 4 à 8 mm
--	--	--	---	---

Les données de ce tableau proviennent des sources suivantes : ATCC, 2014; Stanier, 1947; Palleroni, 2005; Annadurai et coll., 2008; Moore et coll., 2006; données de la Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs de Santé Canada.

L'analyse des esters méthyliques d'acides gras des souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* par les scientifiques de Santé Canada indique que les souches de la LIS ne sont pas étroitement apparentées aux micro-organismes pathogènes comme *P. aeruginosa* et *P. syringae*. La comparaison avec les bases de données environnementales et cliniques MIDI a permis d'apparier les souches de *P. putida* de la LIS aux espèces *P. putida* et *P. fluorescens* (annexe 2).

La grande hétérogénéité phénotypique entre les souches de *P. putida* a donné lieu à la subdivision de l'espèce en deux grands biovars (ou biotypes), A et B (tableau 1-2) (Palleroni, 2005). Toutefois, des études récentes de ribotypage semblent indiquer que la subdivision interne de l'espèce devrait être revue (Palleroni, 2005). Mulet et ses collaborateurs (2013) ont conclu que la différenciation selon les biovars est obsolète, mais que les caractéristiques phénotypiques qui lui sont associées peuvent encore s'avérer utiles pour distinguer les souches.

La plupart des souches de *P. putida* font partie du biovar A (ex. souche ATCC 12633 de la LIS). Yamamoto et Harayama (1998) ont montré que les souches de *P. putida* du biovar B présentent plus de similarité phylogénétique avec *P. fluorescens* qu'avec les *P. putida* du biovar A. On ne sait pas quel biovar correspond le mieux aux caractéristiques phénotypiques des trois autres souches de la LIS : ATCC 31483, 31800 et 700369.

Tableau 1-2. Différences phénotypiques entre les biovars A et B

Caractéristiques	Biovar A	Biovar B
Utilisation de l'antranilate	-	+
Utilisation du D-galactose	-	d
Utilisation de la L-kynurenine	-	+
Utilisation du nicotinate	d	-
Utilisation du L-tryptophane	-	+
Croissance à 4 °C	d	+
% Mol G+C dans l'ADN	62,5	60,7

Les données de ce tableau proviennent de Palleroni (2005)
d = 11 à 89 % des souches sont positifs; - = 90% ou plus des souches sont négatifs; + = 90% ou plus des souches sont positifs

Pour compléter l'identification phénotypique des souches de *P. putida* par des méthodes de culture, on utilise des méthodes génotypiques fondées sur la séquence, la

composition et la structure des acides nucléiques ainsi que l'expression des protéines. L'analyse par spectrométrie de masse MALDI-TOF du protéome bactérien entier peut être utilisée pour l'identification rapide des *Pseudomonas* fluorescents (y compris *P. putida*) (Anderson et coll., 2012). L'analyse phylogénétique des *Pseudomonas* fluorescents (dont *P. putida*) peut aussi se faire par la comparaison des protéines OprD de la paroi cellulaire (Chevalier et coll., 2007). Plusieurs méthodes génoyiques, dont l'analyse de la séquence du gène de l'ARNr 16S, permettent de distinguer *P. putida* d'autres espèces du genre *Pseudomonas*, comme *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. mosselii* et *P. montellii* (Andreote et coll., 2009). Parmi les autres méthodes qui peuvent être utiles pour l'identification et la classification des espèces de *Pseudomonas*, mentionnons l'analyse phylogénétique avec la séquence des gènes *gyrB* et *rpoD* (Yamamoto et coll., 2000), les biopuces d'oligonucléotides à haute densité, qui permettent de distinguer les pseudomonades comme *P. putida* (Ballerstedt et coll., 2007; Elomari et coll., 1997). Par ailleurs, les éléments répétitifs suivants peuvent être utilisés pour différencier *P. putida* des autres pseudomonades :

- séquences extragéniques de palindromes répétitifs (REP), REP-PCR (Regenhardt et coll., 2002);
- amorces d'éléments répétitifs BOX-A1R, BOX-PCR (Andreote et coll., 2009; Louws et coll., 1994; Mehri et coll., 2011; Regenhardt et coll., 2002);
- séquences consensus de répétition intergénique des entréobactéries (ERIC) (Louws et coll., 1994; Regenhardt et coll., 2002);
- analyse des fragments de restriction de l'ADNr amplifié, ARDRA (Mehri et coll., 2011).

Au niveau de la souche, l'analyse des séquences multilocus de l'ARNr 16S et des gènes *gyrB* et *rpoD* de *Pseudomonas* peut aider à la classification taxonomique (Mulet et coll., 2010). Cette méthode pourrait servir à distinguer les différentes souches de la LIS, mais elle n'a pas encore été mise à l'épreuve. Le sidérotypage des gènes codant les sidérophores peut aussi permettre de distinguer les souches de pseudomonades et de différencier la souche type de *P. putida* des autres souches (Mehri et coll., 2011; Meyer et coll., 2007; Molina et coll., 2006; Sutra et coll., 2000; Tripathi et coll., 2005; Ye et coll., 2013).

Les scientifiques de Santé Canada ont confirmé l'identification des souches de *P. putida* de la LIS par l'analyse de la séquence du gène codant l'ARN ribosomique 16S ainsi que par l'analyse des correspondances dans les bibliothèques Microseq and Ribosomal Database Project (annexe 3). Pour illustrer la parenté entre les souches de la LIS et les représentants des deux biovars ainsi que les souches types de différentes espèces, un arbre phylogénétique a été construit (figure 1-1). Le schéma montre que les souches ATCC 700369 et 31483 sont groupées près de la souche ATCC 12633 du biovar A de la LIS, ce qui donne à penser qu'elles pourraient aussi faire partie des *P. putida* du biovar A. La dernière souche, ATCC 31800, semble étroitement apparentée à *P. fluorescens* et se trouve près d'une souche du biovar B, ce qui pourrait signifier qu'elle appartient à ce biovar. On pourrait aussi penser que la souche ATCC

31800 a été mal identifiée et qu'il s'agit en fait de *P. fluorescens*. L'évaluation de la souche ATCC 13525 de *P. fluorescens* faite par le gouvernement du Canada a donné une conclusion semblable à celle de l'évaluation actuelle de *P. putida* (Évaluation préalable finale - Pseudomonas fluorescens ATCC 13525). Aucune des souches de la LIS ne semble directement apparentée à l'espèce *P. aeruginosa* ni à la souche PAO1, la représentante des souches hautement virulentes.

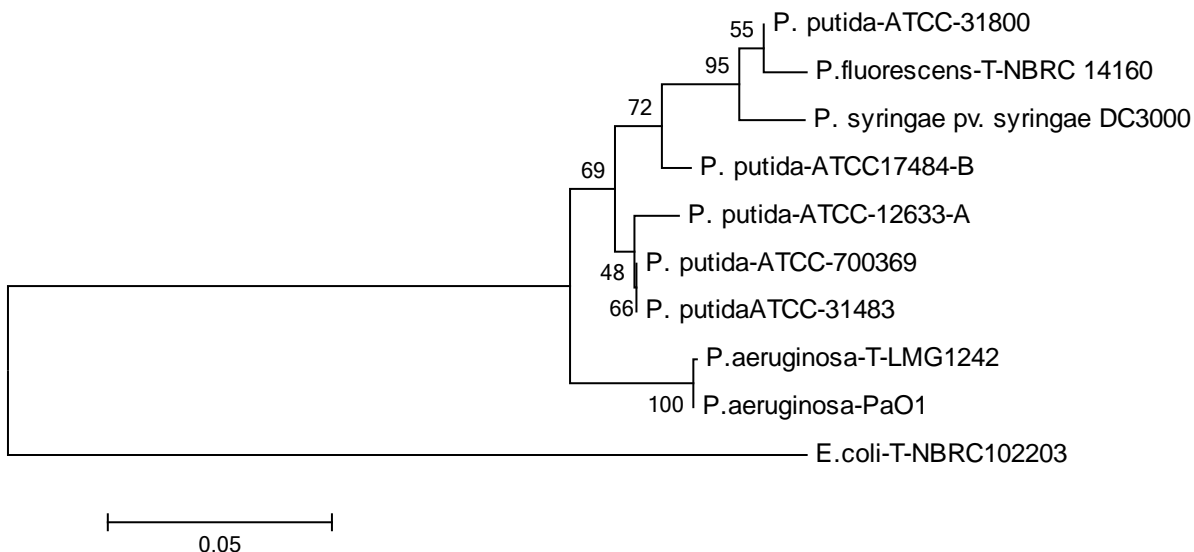


Figure 1-1. Arbre phylogénétique des souches de *P. putida* de la LIS fondé sur la séquence du gène de l'ARNr 16S. L'arbre a été fait par le Bureau de la science de la santé environnementale et de la recherche qui a utilisé la séquence du gène de l'ARNr 16S des souches de *P. putida* obtenue dans ses laboratoires ou dans la littérature. La méthodologie de Tamura et coll. (2011) a servi à sa construction. Les séquences ont d'abord été alignées avec la méthode MUSCLE, puis analysées avec le modèle de distance de Hasegawa-Kishino-Yano (version 5.2 de la plateforme MEGA).

La séquence du génome de la souche ATCC 12633 de *P. putida* de la LIS est disponible dans la base de données du NCBI Entrez Genome Project (NCBI 2014).

Le génome de cette souche compte :

- 6,16 Mb;
- Une teneur en G+C (guanidine-cytosine) de 62,3 %;
- 5449 séquences codantes (Ohji et coll., 2014);
- 3031 séquences codantes communes à celles de neuf autres souches de *P. putida* qui ont été séquencées.

Même si environ 85 % des génomes de *P. putida* et de *P. aeruginosa* sont similaires (séquences des gènes présumés essentiels aux fonctions domestiques), le génome des souches de *P. putida* est significativement différent et se distingue sur le plan taxonomique de celui de l'espèce *P. aeruginosa* et d'autres pseudomonades. Le plus

grand nombre de familles de gènes paralogues (894 vs 809) expliquerait la diversité fonctionnelle plus élevée chez *P. putida* que chez *P. aeruginosa* (Moore et coll., 2006). Quant aux gènes non domestiques, 105 îlots de gènes de *P. putida* ont été attribués à 14 des 25 catégories fonctionnelles établies pour *P. aeruginosa*, plusieurs d'entre eux étant associés aux capacités métaboliques de *P. putida* comme omnivore saprophyte (Weinel et coll., 2002).

Plusieurs des pseudomonades qui avaient été identifiées par des caractéristiques morphologiques ou d'autres signes phénotypiques ont été reclassées après des études génotypiques. Ainsi, deux des souches de *P. putida* de la LIS, ATCC 12633 et 31483, ont d'abord été considérées comme des souches de *P. fluorescens*, mais sont maintenant classées comme des souches de *P. putida*.

1.2 Propriétés biologiques et écologiques

1.2.1 Présence naturelle

L'espèce *P. putida* se trouve dans la plupart des sols et des habitats aquatiques où il y a de l'oxygène disponible (Danhorn et Fuqua, 2007; Olapade et coll., 2005; Palleroni, 2005), mais elle pourrait être mieux adaptée aux milieux terrestres (Olapade et coll., 2005). Elle a été isolée de diverses sources, dont les suivantes :

Sols et rhizosphères

- Rhizosphères du riz au Brésil, des bananes dans les Antilles françaises, de la canne à sucre (lieu géographique non précisé) et du pois en Suède (de Castro et coll., 2010; Silva et coll., 2009; Sutra et coll., 2000; Hassan et coll., 2011; Berggren et coll., 2005);
- Échantillons de racines du soja et de l'eau des sols de cultures de soja (lieu non précisé); racines de la tomate et du blé (lieu non précisé) (Kloepper et coll., 1985; Danhorn et Fuqua, 2007);
- Plantes de maïs (elles sécrètent des substances allélochimiques qui attirent les bactéries *P. putida*) (lieu non précisé) (Mendes et coll., 2013);
- Échantillons de sols du Japon, de l'Antarctique, de la zone sub-alpine de l'Himalaya, et un échantillon de sol de la cour d'une maison de la région métropolitaine de Louisville, KY (É.-U.) (Nakazawa, 2002; Pandey et coll., 2006; Shivaji et coll., 1989; Remold et coll., 2011);
- Sols pollués (lieu non précisé) (Timmis, 2002).

Animaux

- Peau de grenouille, Colombie (Flechas et coll., 2012);
- Coussinets plantaires, bouche et oreilles de chats, Louisville, KY, É.-U. (Remold et coll., 2011);

- Échantillons de reins provenant de différentes espèces de poissons d'ornement de Colombie, de Floride (É.-U.) et de Singapour (Rose et coll., 2013).

Milieus aquatiques

- Dans des lacs et autour de certains lacs en Antarctique (Shivaji et coll., 1989);
- Dans des milieux marins contaminés par des hydrocarbures en Malaisie (Jalal et coll., 2012);
- Dans des ruisseaux aux É.-U., à des concentrations de $6,9 \times 10^2$ cellules/mL à $7,3 \times 10^3$ cellules/mL (Olapade et coll., 2005); dans les sédiments, la concentration de *P. putida* variait de $5,7 \times 10^4$ cellules/g poids sec à $1,2 \times 10^7$ cellules/g;
- Dans des échantillons d'eau douce et de liqueur mixte d'eaux usées de la rivière Kat de Fort Beaufort et de la rivière Tyume de la ville d'Alice, en Afrique du Sud (Igbinosa et coll. 2012).

Humains

- Échantillons provenant des mains d'auxiliaires familiaux, Manhattan, É.-U. dans lesquels *P. fluorescens/putida* la bactérie était prédominante (59 des 204 mains) (Aiello et coll., 2003).

Environnements aménagés

- Cartes à bande magnétique d'hôpitaux du Royaume-Uni (Sultan et coll., 2009);
- Eau de réservoirs de distribution publique, au Massachusetts, É.-U. (Penna et coll., 2002);
- Surfaces, eaux et drains domestiques, ordures ménagères, Louisville, KY É.-U. (Remold et coll., 2011);
- Fauteuils dentaires en Finlande (O'Donnell et coll., 2005);
- Surfaces humides dans des hôpitaux, dont celles de certains drains et éviers, éléments en plastique, tubulures, appareils médicaux et solutions, en France et au Massachusetts, É.-U. (Aumeran et coll., 2007; Penna et coll., 2002).

Aliments

- Viande réfrigérée avariée et poisson en Italie; volaille et produits laitiers en Australie (Barrett et coll., 1986; Eller, 1969; Neumeyer et coll., 1997; Pin et Baranyi, 1998; Pin et coll., 1999; Speranza et coll., 2010);
- Échantillons réfrigérés de laits de vache et de chèvre crus, en France et en Turquie (Callon et coll., 2007; Uraz et Çitak, 1998).

Autres

- Échantillons de liquides servant au travail des métaux, qui contenaient des biocides, en France (Chazal, 1995);
- Échantillons d'air d'un port pollué par des poussières, à Rouen, France (Duclairoir Poc et coll., 2007).

1.2.2 Survie, persistance et dispersion dans l'environnement

P. putida peut proliférer et être compétitif dans différents environnements (article de synthèse de Cray et coll., 2013) et peut aussi persister dans des milieux où il y a peu d'éléments nutritifs disponibles (Palleroni, 2005). Les facteurs qui influent sur la persistance de *P. putida* dans les milieux terrestres comprennent le type de sol et la teneur en eau du substrat (Iwasaki et coll., 1994; Mirleau et coll., 2005). On sait aussi que la mobilité flagellaire caractéristique de l'espèce contribue à sa dispersion dans les sols aqueux et les milieux aquatiques (article de synthèse de Dechesne et coll., 2010).

Milieu terrestre

P. putida peut coloniser la rhizosphère et le rhizoplan du blé, de l'orge et du maïs, et survivre dans ces sols ainsi que dans les semences de pomme (Vancura, 1988). Une souche non précisée de *P. putida* qui recouvrait des semences de soja a pu atteindre une densité de population de 10^6 à 10^8 unités formatrices de colonies (UFC)/semence, selon la dose d'inoculation) dans les 48 heures suivant l'inoculation (Kloepper et coll., 1985). Dans une autre étude, dans des sols inoculés avec $\sim 5 \times 10^7$ UFC/g de la souche BIRD-1 de *P. putida*, les bactéries ont adhéré aux semences de maïs et les ont colonisées : densité de population de 10^4 à 10^5 UFC/semence. La souche BIRD-1 de *P. putida* a pu coloniser les racines de la tomate, du poivron, de la courgette et du fraisier (Roca et coll., 2013).

Milieu aquatique

Dans une étude visant à évaluer la survie de *P. putida* dans l'eau d'un lac en fonction de la charge organique, la souche DSM 3931 de *P. putida* a été inoculée en fortes concentrations dans différents mésocosmes avec et sans ajout de milieu de culture. L'étude a duré 10 semaines. *P. putida* a survécu 70 jours dans les mésocosmes d'eaux lacustres; sa population a diminué de plusieurs ordres de grandeur tout au long de l'expérience. Les pertes de population ont été attribuées au broutage des invertébrés, à la sédimentation et partiellement à la fixation à des particules et à l'agrégation à d'autres cellules dans les eaux lacustres, notamment les algues (Brettar et coll., 1994). *P. putida* peut aussi survivre un an dans de l'eau distillée sans ajout d'éléments nutritifs, sans doute parce qu'il utilise les nutriments provenant des cellules mortes (Lynch, 1990).

P. putida a aussi pu proliférer dans de la tuyauterie d'approvisionnement en eau potable à une vitesse de 4,3 cm/jour (Gagniere et coll., 2006). La présence d'eau dans les

tuyaux a semblé favoriser des progressions plus rapides avec des densités cellulaires atteignant les $2,5 \times 10^3$ UFC/cm².

1.2.3 Paramètres de croissance

P. putida peut se multiplier dans des conditions extrêmes et des milieux contaminés. Les espèces du genre *Pseudomonas* sont généralement considérées comme des psychotrophes halotolérantes. *P. putida* se multiplie à pH neutre, et sa température optimale de croissance se situe entre 25 et 30 °C. Cependant cet optimum peut varier selon les souches, certaines étant capables de se multiplier à une température aussi basse que 4 °C, d'autres à une température aussi élevée que 50 °C (Fonseca et coll., 2011; Moreno et Rojo, 2013; Palleroni, 2005).

Grâce à ses sidérophores, l'espèce peut être cultivée dans un milieu carencé en fer. En effet, les sidérophores ont une grande capacité de liaison au fer et de transport de celui-ci (Cray et coll., 2013; Kloepper et coll., 1988; Palleroni, 2005). *P. putida* peut également se multiplier dans des milieux contenant différentes concentrations de glucose (Banitz et coll., 2012).

1.2.4 Rôle dans le cycle des éléments nutritifs

P. putida joue un rôle important dans la décomposition ainsi que dans le recyclage des éléments nutritifs et des substances organiques, en aérobiose, dans l'environnement. (Timmis, 2002). La souche AF7 de *P. putida* a été inoculée dans 3 types de sol à deux concentrations ($3,5 \times 10^4$ UFC/g poids sec de sol; $3,5 \times 10^5$ UFC/g poids sec de sol) et l'activité des enzymes du sol a été mesurée. *P. putida* a rapidement réduit la disponibilité du carbone organique et la concentration des β -glucosidases (de Castro et coll., 2010; Silva et coll., 2009), laissant supposer qu'il pourrait influencer sur le cycle du carbone. Différentes propriétés de l'espèce dans le microcosme du sol ont été examinées (Jones et coll., 1991), et *P. putida* n'a pas eu d'effet significatif sur l'ammonification, la nitrification ou la dénitrification, ni sur la dynamique des populations de micro-organismes présents.

En tant qu'espèce, *P. putida* est connu pour sa grande tolérance aux solvants (Couillerot et coll., 2009; Schweizer, 2003). Certaines souches étant tolérantes à des concentrations élevées de toluène (90 %), d'autres étant tolérantes à l'acétate, au styrène, au p-xylène et au m-xylène, au cyclohexane, au heptanol, à l'éthylbenzène, à l'octanol et au diméthylphthalate (Sardessai et Bhosle, 2002). *P. putida* peut métaboliser un vaste éventail de substrats (selon les souches) comme des composés aromatiques (dont les phénols) et aliphatiques (Moreno et Rojo, 2013); des substances chlorées, y compris le BTEX (TSCA); et le 17 β -estradiol, l'estrone, l'estriol, le naphthalène, le phénanthrène et le fluor (Liang et coll., 2012). Dans l'environnement, toutefois, la croissance de *P. putida* peut être restreinte par les tanins issus de la décomposition des feuilles (Olapade et coll., 2005).

La capacité de *P. putida* à métaboliser les hydrocarbures peut être transférée à d'autres bactéries du milieu par la conjugaison de *P. putida* de l'environnement avec des *P. putida* de sites industriels contaminés. Le transfert intra-espèce du plasmide TOL pWWO codant les enzymes nécessaires à la dégradation de l'alkylbenzoate, du toluène et du xylène a été signalé dans le sol (Greated et coll., 2002; OCDE, 1997). De plus, le transfert du plasmide de catabolisme pHCL codant les enzymes nécessaires à la dégradation des hydrocarbures présent chez la souche HC1 de *P. putida* à des bactéries marines comme *Micrococcus luteus* et *M. varians* a été observé dans des conjugaisons *in situ* et *in vitro*, laissant entrevoir de possibles voies de biorestauration par des espèces marines naturelles (Latha et Lalithakumari, 2001).

1.2.5 Résistance aux antibiotiques et aux métaux lourds

Des antibiotiques utilisés chez les humains et les animaux ont été employés pour traiter des infections à *P. putida*, notamment des aminoglycosides, des carbapénèmes, des fluoroquinolones, la pipéracilline, la ceftazidime, la lévofloxacine et la ciprofloxacine (Anaissie et coll., 1987; Chen et coll., 2005; Chiu et coll., 1998; Dervisoglu et coll., 2008; Lombardi et coll., 2002); toutefois, de la résistance aux carbapénèmes (Kim et coll., 2012), à la céphalothine, à l'ampicilline, au chloramphénicol et à la carbénicilline (Moody et coll., 1972) a été observée chez certains isolats de *P. putida*. Des isolats environnementaux se sont révélés résistants à la pénicilline, à l'ampicilline, à l'oxacilline, à la céphalothine, à l'érythromycine, à la vancomycine et au triméthoprim (Igbiosa et coll., 2012).

Des isolats de *P. putida* multirésistants ont été découverts dans l'urine de patients aux soins intensifs atteints d'infections nosocomiales (Lombardi et coll., 2002). Ces isolats contenaient des plasmides R conjuguatifs et non conjuguatifs codant des métallo- β -lactamases de type IMP et VIM, qui confèrent une résistance à des concentrations élevées de carbapénèmes et d'autres β -lactamines. De plus, de nouveaux intégrons de classe 1, codant des multirésistances, ont été isolés de 12 souches de *P. putida* dans le sud de la Chine (Wu et coll., 2012). Les souches cliniques de *P. putida* pourraient être un réservoir nosocomial de déterminants de résistance transférables (Gilarranz et coll., 2013). La souche TriRY de *P. putida* est résistante à l'antimicrobien triclosan et elle peut utiliser cette substance comme source de carbone (Meade et coll., 2001).

Les scientifiques de Santé Canada ont vérifié la résistance des souches de *P. putida* de la LIS à des antibiotiques de différentes classes (tableau 1-3). Les profils de sensibilité sont semblables à ceux indiqués dans la littérature pour les souches résistantes. Dans l'ensemble, l'antibiotique le plus efficace est la ciprofloxacine, tandis que l'amoxicilline, l'amphotéricine B, la céfotaxime, l'érythromycine, l'acide nalidixique, le triméthoprim et la vancomycine sont inactifs contre toutes les souches de la LIS.

Tableau 1-3. Profils de sensibilité aux antibiotiques des souches de *P. putida* de la LIS

Antibiotique	ATCC 12633	ATCC 31483	ATCC 31800	ATCC 700369	S ^a ≤	R ^a >
Amoxicilline	> 24	> 24	> 24	> 24	-	-
Aztréonam ^b	18,0 ± 8,5	> 24	> 24	> 24	1	16
Ceftazidime ^c	7,2 ± 2,7	4,7 ± 4,3	4,0 ± 2,3	9,9 ± 10,3	8	8
Céfotaxime	> 24	> 24	> 24	> 24	-	-
Ciprofloxacine	0,4	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,4	0,5	1
Colistine	0,5 ± 0,2	1,7 ± 1,4	0,5 ± 0,2	2,2 ± 4,3	4	4
Doxycycline	1,0 ± 0,4	4,7 ± 5,0	10,4 ± 22,1	3,1 ± 2,3	-	-
Érythromycine	> 24	> 24	> 24	> 24	-	-
Gentamicine	0,4	6,8 ± 11,5	1,4 ± 0,3	1,1 ± 1,0	4	4
Méropénème	7,2 ± 2,7	1,5 ± 1,2	0,5 ± 0,2	9,4 ± 7,4	2	8
Acide nalidixique	> 24	> 24	22,6 ± 17,7	> 24	s.o.	s.o.
Triméthoprime	> 24	> 24	> 24	> 24	-	-
Vancomycine	> 24	> 24	> 24	> 24	-	-

Les tests ont été faits en milieu liquide TSB-MTT selon la méthode de Seligy et Rancourt . Les valeurs correspondent à la concentration minimale inhibitrice (µg/mL ± écart type) pour les souches de *P. putida* (1 582 × 10⁶ UFC/mL) cultivées en présence d'antibiotique pendant 24 heures à 37 °C.

S = sensible; R = résistant; - : signifie que les tests de sensibilité ne sont pas recommandés, car cette espèce ne représente pas une bonne cible pour le traitement par ce médicament (les isolats peuvent être qualifiés de résistants sans avoir fait l'objet de tests) ; s.o. : sans objet.

^a Critère d'interprétation (CMI, µg/mL; Eucast 2014)

^b Pour cet antibiotique, le seuil de résistance est établi en fonction du traitement avec la dose élevée. Le seuil de sensibilité est fixé de manière à ce que les isolats de type sauvage soient considérés comme intermédiaires.

^c Pour cet antibiotique, les seuils sont établis en fonction du traitement avec la dose élevée.

P. putida peut persister dans de l'eau fortement contaminée par des métaux lourds et la bactérie peut piéger les métaux lourds par biosorption et bioaccumulation (Kamika et Momba, 2013). La résistance/tolérance aux métaux lourds suivants a été observée dans différentes conditions de température et de pH (Cabral et coll., 2013) : mercure (Zhang et coll., 2012), méthylmercure, cuivre, plomb, nickel, chromate, zinc, cobalt, manganèse et baryum.

1.2.6 Caractéristiques de pathogénicité et de toxicité

La souche ATCC 12633 de *P. putida* ATCC 12633 compte 111 des 453 gènes de facteurs de virulence connus chez *Pseudomonas*, dont des gènes responsables de la synthèse des flagelles, des pili de type IV, de l'alginate et de la pyoverdine. Cette souche ne contient toutefois pas les séries de gènes complètes d'un système de sécrétion de type III avec les protéines qui y sont associées (Ohji et coll., 2014). Comme les génomes des autres souches de la LIS n'ont pas été séquencés, on ne sait pas s'ils contiennent des compléments géniques similaires. Les scientifiques de Santé Canada ont évalué le potentiel cytotoxique des souches de *P. putida* de la LIS, ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369. Ces souches n'étaient pas cytotoxiques pour les cellules épithéliales du côlon humain (HT29) après 4 heures d'exposition, et les effets cytotoxiques étaient minimaux après 24 heures d'exposition. Aucune activité

hémolytique n'a été observée après 24 et 48 h à 37 °C, lorsque les souches ont été cultivées sur de la gélose au sang de mouton.

On sait que *P. putida* produit différentes enzymes et toxines ainsi que d'autres métabolites (annexe 4, tableau A-9). Certains des gènes responsables de la production de ces substances sont associés à la virulence chez l'espèce apparentée *P. aeruginosa*, comme ceux codant les pili, le flagelle, les sidérophores, la pyocyanine, l'élastase, des protéases, des rhamnolipides, l'alginate et d'autres polysaccharides, ainsi que des lipopolysaccharides. Plusieurs de ces gènes sont des gènes de base des pseudomonades qui contribuent à leur survie en favorisant leur aptitude à coloniser des surfaces et à former des biofilms, et qui peuvent leur permettre de se comporter en pathogènes opportunistes dans certaines conditions (Nelson et coll., 2002; Palleroni, 2005).

Les caractères de virulence ont été étudiés chez d'autres souches de *P. putida*. Nelson et ses collaborateurs (2002) ont analysé le génome de la souche KT2240, et les seuls gènes associés à des caractères de virulence codent les protéines d'adhésion PP0168, PP1449 et PP0806. L'exotoxine A est absente, tout comme le gène de régulation transcriptionnelle *algM/mucC*, ce qui pourrait expliquer son phénotype non mucoïde, puisque, chez *P. aeruginosa*, la perte de ce gène empêche la surproduction d'alginate, un facteur déterminant des infections pulmonaires chez les patients atteints de fibrose kystique. En outre, la souche KT2240 de *P. putida* n'a pas les gènes qui codent les caractères de phytovirulence connus, tels que les systèmes de sécrétion de type III, ni les substances sécrétées y correspondant ni les enzymes de dégradation de la paroi des cellules végétales (Nelson et coll., 2002). De même, dans un article de synthèse de Wu et coll. (2011), où les auteurs comparent les génomes de quatre souches de *P. putida* (KT2440, W619, F1 et GB-1), rien n'indique la présence des fonctions putatives requises pour la biosynthèse de l'exotoxine A, de la phospholipase C ou de la pectine lyase que l'on retrouve habituellement chez les pathogènes des plantes et des animaux (Nelson et coll., 2002).

Néanmoins, d'autres isolats de *P. putida* peuvent produire des phytotoxines, comme l'acide phénazine-1-carboxylique (Vancura, 1988). Les phytotoxines peuvent interférer avec les mécanismes de régulation des végétaux et causer le flétrissement, des anomalies de croissance, une humidité anormale et d'autres problèmes (Durbin, 1991). On sait que l'acide phénazine-1-carboxylique est un inhibiteur de l'acyl-CoA synthétase (Kim, 2000).

La production de biofilm par *P. putida* dépend de certaines conditions, dont la quantité et le type de la source de carbone disponible (Klausen et coll., 2006). Il n'y a pas d'information sur la capacité des souches de la LIS à former des biofilms. Les flagelles pourraient jouer un rôle dans l'attachement initial des cellules planctoniques de *P. putida*, la colonisation et la formation de biofilms sur des hyphes fongiques et à la surface extérieure des racines de plantes (Klausen et coll., 2006). Dans des conditions où l'eau est un facteur limitant, une expression transitoire du gène de production de l'alginate a été observée chez les cellules *P. putida* de biofilms (Li et coll., 2010).

P. putida peut former des biofilms sur des surfaces électriquement chargées ou non, ainsi que sur des surfaces hydrophiles ou hydrophobes (Shrove et coll., 1991). Ce sont les surfaces électriquement chargées qui supportent le mieux l'accumulation de biofilms de *P. putida*.

La souche KT2440 de *P. putida* possède des gènes codant des homosérines lactones, mais elle ne semble pas produire suffisamment de ces molécules de signalisation pour être préoccupante sur le plan de la virulence, comme c'est le cas chez les souches de *P. aeruginosa* avec la détection du quorum (Nelson et coll., 2002). Aucune information n'a été recueillie sur la capacité des souches de la LIS à produire des homosérines lactones.

1.3 Effets

Aucun cas de pathogénicité ou de toxicité n'a été relevé dans la littérature relativement aux souches de la LIS. Une étude approfondie de la littérature scientifique sur *P. putida* n'a révélé que quelques cas de pathogénicité à l'égard de plantes ou d'animaux, malgré la présence répandue de cette espèce dans l'environnement.

1.3.1 Environnement

Microbiote

On sait que *P. putida* peut neutraliser des bactéries et des champignons phytopathogènes (Haas et Defago, 2005; Mazzola, 1999; Moore et coll., 2006; Naik et Sakthivel, 2006; Palleroni, 2005; Scherlach et coll., 2013; Sutra et coll., 2000). Un des modes d'antagonisme de *P. putida* est lié à sa capacité de sécréter des substances antimicrobiennes, dont des composés organiques volatils, des biosurfactants et de la karalicine (un antibiotique ayant une certaine activité inhibitrice à l'égard des levures) (Cray et coll., 2013). De plus, la production de sidérophores par *P. putida* peut entraîner une carence en fer pour d'autres espèces du milieu environnant (Haas et Defago, 2005; Kloepper et coll., 1988). *P. putida* peut inhiber les espèces microbiennes suivantes :

- *Glomerella tucumensis* (Hassan et coll., 2011);
- *Batrachochytrium dendrobatidis* (Flechas et coll., 2012);
- *Pythium ultimum* (Paulitz, 1991);
- *Phytophthora parasitica* (Lee et Cooksey, 2000);
- *Fusarium oxysporum* (Lopez-Berges et coll., 2013; Srinivasan et coll., 2009);
- *Rhizobium leguminosarum* (Berggren et coll., 2005);
- *Phytophthora nicotianae*, *Peronophythora litchi*, *Erwinia caeatovora*, *Phytophthora capsici*, *Collectotrichium gloeosporioides*, *C. higginsianum* and *Alternaria tenuis* (Shi et coll., 2010).

Plantes

P. putida n'est pas considéré comme phytopathogène, bien que certaines souches puissent contribuer à la pourriture des racines ou à d'autres maladies des plantes. Par exemple, dans la rhizosphère du riz, *P. putida* a été impliqué dans la « maladie de la suffocation » (Bradbury, 1986), et on rapporte que la souche GR12-2 peut inhiber l'allongement des racines chez le blé (Hall et coll., 1996, tel que cité par Barazani et Friedman, 2001). De plus, *P. putida* produit des substances antimicrobiennes qui interfèrent avec des processus symbiotiques chez le pois (Berggren et coll., 2005).

À l'inverse, *P. putida* est aussi considéré comme une rhizobactérie favorisant la croissance des plantes (Kloepper et coll., 1985); la bactérie colonise la rhizosphère des plantes dans une relation mutualiste, résultant en une croissance accrue de la plante et en l'inhibition sélective des autres bactéries et des champignons (Cray et coll., 2013; Kloepper et coll., 1985). *P. putida* peut produire des substances allélopathiques [dont l'acide indole-3-acétique, une hormone de croissance (Barazani et Friedman, 2001)], qui peuvent nuire à la croissance des plantes ou la favoriser selon la substance produite, l'espèce végétale et la quantité produite (Cray et coll., 2013).

P. putida peut aussi rendre les éléments essentiels aux plantes disponibles dans le sol. Il peut fixer l'azote atmosphérique (Shabayev, 2010), et la souche BIRD-1 peut solubiliser diverses sources de phosphate habituellement insolubles (Roca et coll., 2013). Certains exemples des effets positifs de *P. putida* sur les plantes comprennent les suivants :

- amélioration de la croissance des racines des graines de maïs (Roca et coll., 2013);
- amélioration de la croissance des racines chez la laitue, la tomate et le canola (Barazani et Friedman, 2001);
- augmentation de la masse sèche chez le fraisier (Vancura, 1988);
- stimulation de la fructification chez l'agaric à deux spores (*Agaricus bisporus*) [Scherlach et coll., 2013];
- capacité à induire la résistance systémique chez le haricot (Ongena et coll., 2004).

Les scientifiques d'Environnement Canada ont procédé à des études de pathogénicité et de toxicité chez la fétuque rouge, *Festuca rubra*, exposée aux souches ATCC 12633, 31800 ou 700369 de *P. putida* dans un sol artificiel. L'ajout de ces souches n'a eu aucun effet sur la croissance de la fétuque par rapport aux témoins, et aucune différence significative n'a été relevée entre les trois souches.⁶

⁶ Données non publiées de la Division des méthodes biologiques d'Environnement Canada

Aucune donnée n'a été recensée sur des effets défavorables ou sur des inoculations expérimentales chez les plantes aquatiques.

Vertébrés

P. putida a été retrouvé dans le tube endotrachéal d'un macaque de Buffon mort après une anesthésie (Matchett et coll., 2003). Après que l'analyse de l'environnement du laboratoire n'ait relevé aucune trace de *P. putida*, les auteurs ont conclu que l'espèce était une bactérie commensale et que l'immunosuppression potentielle entraînée par l'anesthésie de l'animal aurait permis le développement d'une infection causant la mort. L'analyse du cadavre a révélé de multiples foyers d'œdème pulmonaire léger et d'infiltration par des neutrophiles dans les poumons. Dans un autre rapport, un koala femelle sauvage capturé dans le cadre d'une enquête de routine est mort peu après avoir été libéré; l'autopsie a révélé une mélioïdose associée à une infection par *P. pseudomallei*, et *P. putida* a été isolé des poumons (Ladds et coll., 1990).

Les espèces du genre *Pseudomonas* sont des pathogènes opportunistes connus des poissons. On sait que *P. putida* cause des maladies chez les poissons qui vivent dans des conditions de stress, plus souvent chez les poissons vivant en captivité, et rarement chez les poissons sauvages (article de synthèse de Smolowitz et coll., 1998). Des infections opportunistes à *P. putida* et à d'autres pseudomonades ont été signalées chez des populations de poissons d'élevage, de poissons d'ornement et de poissons expérimentaux, comme la limande à queue jaune, l'anguille d'Europe, la truite arc-en-ciel et le tambour à gros yeux (Mao et coll., 2013; Nishimori et coll., 2000; Rose et coll., 2013; Smolowitz et coll., 1998). Des infections à *P. putida* ont été diagnostiquées chez des limandes à queue jaune qui présentaient de gros abcès à la surface de la peau (Kusuda et Toyoshima, 1976). *P. putida* a été isolé des reins et de la rate des limandes moribondes. Chez la truite arc-en-ciel, une éclosion de maladie se manifestant par l'altération de la couleur de la nageoire dorsale, suivie d'une nécrose épithéliale et de la formation d'ulcères a été attribuée à *P. putida* (Altinok et coll., 2006). Les auteurs n'attribuent pas cette maladie au stress et suggèrent que la source de bactéries se trouvait dans le lit du plan d'eau, où il y avait de la terre.

Dans deux bassins expérimentaux ouverts contenant 50 poissons-crapauds sauvages (qui avaient été capturés), des infections à *P. putida* ont causé de multiples foyers de kystes muqueux sur les surfaces latérales et dorsale externes des poissons (Smolowitz et coll., 1998). À l'autopsie, les auteurs ont observé la présence de péritonite, avec colonisation de la rate, des glandes sexuelles, de la vessie natatoire et possiblement du parenchyme du foie et des reins. On ne sait pas si les bassins étaient colonisés ou si les poissons étaient stressés, ce qui a permis la colonisation. Dans une étude sur la mise au point d'un vaccin contre *P. putida* chez le tambour à gros yeux, les auteurs ont constaté que la plupart des poissons du groupe témoin sont morts entre 3 et 9 jours après avoir reçu, par voie intrapéritonéale, 10^6 cellules/mL de *P. putida* (Mao et coll., 2013). La mortalité était également élevée chez les poissons vaccinés à qui on avait été inoculé le *P. putida* (de 60 % à 100 %). Lorsque le *P. putida* a été injecté chez les poissons, il a causé la formation de nodules sur la rate et les reins, et, dans certains

cas, les poissons ont présenté des signes de congestion dans les quelques jours suivant l'injection.

Zhang et ses collaborateurs (2012) signalent que la DL_{50} pour la souche SP1 de *P. putida* chez la plie et le flétan noir exposés par injection intrapéritonéale et surveillés pendant 14 jours était de $1,5 \times 10^9$ UFC par poisson. Chez la truite arc-en-ciel, des juvéniles en bassin ouvert exposés à 5×10^6 UFC/mL pendant une heure (temps pendant lequel le bassin a été fermé) ont été surveillés deux fois par jour pendant 60 jours (Altinok et coll. 2006). Les auteurs rapportent une mortalité cumulative de 45 %, et les effets observés comprennent des ulcères cutanés et de la nécrose épithéliale. *P. putida* a été isolé des lésions cutanées, du foie, de la rate et des reins des poissons infectés.

Invertébrés

Des femelles de tétranyques (*Tetranychus urticae*) fécondées ont été exposées à une suspension de $10^8 - 10^9$ UFC/mL de *P. putida*, biovar B, pour voir si la bactérie pouvait servir d'agent de lutte biologique contre l'insecte. Le nombre total d'œufs et l'éclosion ont été réduits et, dans l'ensemble, la mortalité était élevée chez l'espèce à l'essai, mais les mécanismes ayant entraîné ces réductions n'ont pas été déterminés (Aksoy et Kutluk Yilmaz, 2008). *P. putida* a provoqué une mortalité élevée des femelles de la mouche des olives (*Dacus oleae*) exposées à la bactérie par l'alimentation qui contenait 10 % de l'inoculum (concentration inconnue) [Haniotakis et Avtzis, 1977]. Cependant, *P. putida* a aussi été proposé comme probiotique dans l'élevage de la mouche des olives pour la lutte biologique dans le cadre de la technique de stérilisation des insectes (Sacchetti et coll., 2014).

Des études de pathogénicité et de toxicité ont été menées par les scientifiques d'Environnement Canada chez des collemboles adultes (*Folsomia candida*) exposés aux souches ATCC 12633, 31800 et 700369 de *P. putida* dans du sol artificiel. L'ajout de ces souches n'a pas eu d'effet sur la croissance des *Folsomia candida* adultes ni sur la survie ou la reproduction de l'espèce. Aucune différence significative n'a été détectée entre les trois souches.⁷

Des septicémies causées par *P. putida* et *P. fluorescens* ont été signalées chez l'écrevisse (Boemare et Vey, 1977), même si certains auteurs rapportent que *P. putida* ferait partie de la microflore de l'écrevisse (Devesa et coll., 2005). Dans une étude portant sur les populations bactériennes associées à des escargots moribonds (*Biomphalaria glabrata*), *P. putida* était présent chez 13 des 100 organismes testés (Cheng, 1986). La mort des escargots n'était pas spécifiquement liée à la présence de *P. putida*. Chez des *Daphnia similis* exposées à 10^6 unités actives de *P. putida* par mL

⁷ Données non publiées de la Division des méthodes biologiques d'Environnement Canada

d'eau de culture pendant 21 jours, il y a eu une diminution de 12 % du nombre de nouveau-nés quotidiens, mais aucune différence significative dans la survie des organismes exposés (de Castro et coll., 2010).

1.3.2 Santé humaine

P. putida est considéré comme un pathogène opportuniste rare et n'est pas souvent isolé d'échantillons cliniques. *P. putida* a été impliqué dans des infections chez des patients souffrant d'affections débilantes et/ou immunodéprimés, ou chez lesquels les barrières normales à l'infection ont été compromises par des procédures chirurgicales, des dispositifs médicaux ou des traumatismes physiques. *P. putida* a été signalé comme agent d'infection dans plusieurs tissus du corps, dont le sang (Anaissie et coll., 1987; Chiu et coll., 1998; Erol et coll., 2014; Korcova et coll., 2005; Ladhani et Bhutta, 1998; Martino et coll., 1996; Rolston et coll., 2005; Shah et coll., 2007); des lésions traumatiques (Carpenter et coll., 2008; Yang et coll., 1996) et des tissus mous (Chen et coll., 2005; Ladhani et Bhutta, 1998; Taylor et coll., 1984; Thomas et coll., 2013; Yoshino et coll., 2011) et la cornée (Ying-Cheng et coll., 2006). *P. putida* a été impliqué dans des infections, dont des péritonites (Dervisoglu et coll., 2008; Lew et Gruia, 2005) et l'arthrite septique (Macfarlane et coll., 1991; Madhavan et coll., 1973). Une étude de cas récente signale une infection à *P. putida* chez une personne en bonne santé présentant une infection de l'œil (conjonctivite) [Zuberbuhler et Carifi, 2012]. De plus, dans des infections dues à un *P. putida* mutirésistant et à un *P. putida* résistant aux carbapénèmes, on rapporte des taux de mortalité de 39 % (Kim et coll., 2012). La contamination de produits sanguins par *P. putida* a été associée à des septicémies post-transfusionnelles (Tabor et Gerety, 1984; Taylor et coll., 1984; Zavizion et coll., 2003), et, bien que rares, certains cas de mortalité ont été attribués à la présence de *P. putida* dans le sang (Tabor et Gerety, 1984; Taylor et coll., 1984).

Aucun cas de réaction allergique n'a été déclaré relativement à l'espèce *P. putida*.

Dans des tests in vivo faits à Santé Canada avec les souches de la LIS (ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369), quatre répétitions de souris BALB/c exposées à 1×10^6 UFC/25 μ L de bactéries par instillation endotrachéale n'ont entraîné aucun changement de comportement ni d'apparence, à part un pelage ébouriffé qui est redevenu normal pendant la période de surveillance; une augmentation transitoire des concentrations de cytokines proinflammatoires dans les poumons peu après l'exposition et une augmentation transitoire des concentrations de granulocytes entre 24 et 48 heures après l'exposition ont aussi été observées. Ces résultats indiquent une inflammation locale transitoire se résorbant en deux jours. Les souris ont éliminé les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de leurs poumons dans la semaine suivant l'exposition.

Les effets de l'inoculation expérimentale de *P. putida* chez les espèces murines figurent aussi dans la littérature scientifique. Dans une étude, aucun changement clinique n'a été identifié chez des rats Wistar exposés à une dose unique de 10^8 unités de *P. putida* par gavage (de Castro et coll., 2010). Les animaux ont été euthanasiés 3, 16 et

24 heures après l'exposition. *P. putida* n'a été identifié dans les homogénats de poumons que 16 heures après l'administration de la dose, et ce, à une concentration de $3,31 \times 10^4$ UFC/g tissu. Les bactéries ont été éliminées des poumons dans les 24 heures suivant l'exposition. Dans une autre étude menée par George et coll. (2000), des souris CD-1 mâles ont été exposées à la souche ATCC 12633 de *P. putida* par voie orale ($1,86 \times 10^8$ UFC). Les micro-organismes ont été éliminés des voies pulmonaires en une journée, et aucune mortalité n'a été signalée jusqu'à la dose de $1,0 \times 10^9$ UFC. La présence de *P. putida* a été constatée dans les nœuds lymphatiques mésentériques et dans le foie 3 heures après l'exposition indiquant une translocation. Toutefois, aucun effet défavorable n'a été détecté dans ces tissus.

1.4 Gravité du danger

1.4.1 Environnement

D'après les éléments mentionnés ci-dessous, le potentiel de danger pour l'environnement des souches de *P. putida* de la LIS (ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369) est considéré comme moyen pour les poissons et faible pour les autres animaux aquatiques, les animaux terrestres, ainsi que les plantes aquatiques et terrestres :

- Une combinaison des caractéristiques morphologiques, biochimiques et physiologiques permet de distinguer de manière fiable *P. putida* des autres espèces pathogènes de *Pseudomonas*, notamment *P. aeruginosa*;
- Rien dans la littérature scientifique ne signale d'effets nocifs des souches de *P. putida* de la LIS sur l'environnement;
- Au niveau de l'espèce, les signalements d'effets défavorables associés à *P. putida* sont limités, même s'il s'agit d'une espèce très répandue dans les écosystèmes du sol, de l'eau et de la rhizosphère. Certains effets défavorables ont été signalés chez des vertébrés aquatiques. Des cas d'infection à *P. putida* ont été signalés chez des populations de poissons d'élevage, de poissons d'ornement et de poissons expérimentaux, mais rarement chez des populations de poissons sauvages. Dans l'ensemble, malgré sa fréquence et son association avec différentes espèces et habitats environnementaux, rien dans la littérature scientifique n'indique que *P. putida* a des effets écologiques défavorables au niveau de la population chez les plantes, les vertébrés ou les invertébrés.

1.4.2 Santé humaine

D'après les éléments mentionnés ci-dessous, le potentiel de danger pour la santé humaine des souches de *P. putida* de la LIS (ATCC 12633, ATCC 31483, ATCC 31800 et ATCC 700369) est considéré comme faible pour les personnes en bonne santé et moyen pour les personnes immunodéprimées :

- La combinaison des caractéristiques morphologiques, biochimiques et physiologiques permet de distinguer de manière fiable *P. putida* des autres espèces pathogènes de *Pseudomonas*, notamment *P. aeruginosa*;
- Les souches de *P. putida* de la LIS n'ont pas d'antécédents signalés de pathogénicité pour l'humain, et ces souches n'ont pas entraîné d'effets défavorables lors de l'administration par voie endotrachéale dans un modèle murin;
- Des infections à *P. putida* ont été rapportées dans la littérature, bien que presque exclusivement chez des personnes ayant des problèmes préexistants ou des antécédents de procédures médicales ou chirurgicales, ou de traumatismes physiques. Les cas de mortalité associés aux infections à *P. putida* sont rares;
- Même si les infections à *P. putida* sont rares, lorsqu'elles surviennent, la résistance aux antibiotiques pourrait limiter l'efficacité du traitement. Dans la plupart des cas signalés, les infections à *P. putida* ont été traitées efficacement avec des antibiotiques; les profils de sensibilité des souches varient toutefois de manière importante, et des infections cliniques multirésistantes ont été signalées. Toutes les souches de *P. putida* de la LIS sont sensibles à la ciprofloxacine, et d'autres solutions de traitement sont possibles pour chacune des souches;
- Des dispositifs médicaux et des produits sanguins contaminés ont été associés à des septicémies et à des infections nosocomiales et ils représentent un danger pour les personnes qui reçoivent un traitement médical.

Les dangers liés aux micro-organismes utilisés au travail devraient être classifiés en conséquence dans le Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT).⁸

2. Évaluation de l'exposition

2.1 Sources d'exposition

Cette évaluation vise à caractériser l'exposition aux souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* après un ajout délibéré dans des produits de

⁸ La détermination de la conformité à un ou à plusieurs des critères énoncés à l'article 64 de la LCPE est basée sur une évaluation des risques potentiels pour l'environnement et/ou la santé humaine liés à l'exposition dans l'environnement en général. Pour les humains, cela inclut, sans toutefois s'y limiter, les expositions par l'air et par l'eau, ainsi que par l'utilisation de produits contenant ces substances. Une conclusion établie en vertu de la LCPE peut ne pas être pertinente à une évaluation, qu'elle n'empêche pas non plus, en fonction des critères qui sont définis dans le *Règlement sur les produits dangereux*, qui fait parti du cadre réglementaire pour le Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT) pour les produits destinés à être utilisés au travail.

consommation ou des produits commerciaux ou après l'utilisation de ces souches dans des procédés industriels au Canada. Les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* ont été ajoutées à la LIS pour des utilisations industrielles et commerciales, ainsi que des utilisations par les consommateurs.

En 2007, un questionnaire à remplir sur une base volontaire a été envoyé à un groupe d'entreprises-clés du secteur des biotechnologies. Les réponses à cette enquête indiquent que 10000 à 100 000 kg de produits contenant les souches de la LIS ont été importés en 2006 au Canada pour une variété d'applications.

Pour mettre à jour les renseignements sur les utilisations actuelles de ces souches, le gouvernement a lancé une enquête pour la collecte obligatoire de renseignements [avis en application de l'article 71 de la LCPE], telle que publiée dans la Partie I de la *Gazette du Canada*, le 3 octobre 2009. Cet avis s'appliquait à toute personne qui, au cours de l'année civile 2008, avait fabriqué ou importé les souches ATCC 12633, 31483, 31800 ou 700369 de *P. putida*, seules, dans un mélange ou dans un produit. Différentes applications environnementales, industrielles et domestiques des souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* ont été signalées en réponse à l'avis publié conformément aux termes de l'article 71, dont les suivantes : traitement des eaux usées, et biorestauration. (les quantités sont indiquées dans le tableau 2-1).

Tableau 2-1. Quantités de produits contenant des souches de *P. putida* de la LIS déclarées comme ayant été importées ou fabriquées au Canada en 2009

Souche	Quantité totale ^a (kg)
ATCC 12633	10 000 à 100 000
ATCC 31483	10 000 à 100 000
ATCC 31800	1 000 à 10 000
ATCC 700369	1 000 à 10 000

a Quantité combinée de tous les produits contenant le micro-organisme fabriquée ou importée au Canada.

Les souches de *P. putida* sont très diversifiées sur le plan métabolique, ce qui peut expliquer l'intérêt de différentes industries pour ces souches, particulièrement dans le domaine de la dégradation des composés xénobiotiques. Une recherche dans les données publiques et dans la base de données des brevets de l'Office de la propriété intellectuelle du Canada (OPIC 2014) a révélé les utilisations potentielles suivantes d'autres souches naturelles de *P. putida* :

- Boues activées des procédés de traitement des eaux usées (Pramanik et coll., 2011);
- Traitement des eaux usées de l'industrie pharmaceutique contenant des mélanges d'antibiotiques, dont l'amoxicilline et le céfadroxil (Krifa et coll., 2013);

- Production commerciale de produits chimiques fins et en vrac, et de biocatalyseurs industriels (Cray et coll., 2013; Hassan et coll., 2011; Poblete-Castro et coll., 2012; Puchalka et coll., 2008);
- Production et préparation de substances chimiques
 - Procédé microbiologique d'oxydation des groupements méthyles (Hoeks, 1992, brevet CA 2046430);
 - Procédé de production d'alcools bêta-aminés optiquement actifs (Sakamoto et coll., 2001, brevet CA 2404668).
- Applications pharmaceutiques utilisées dans des traitements antimicrobiens, des chimiothérapies et la mise au point de vaccins;
 - Substances anti-infectieuses à libération lente (Boni et coll., 2014, brevet CA 2614764);
 - Inactivation cellulaire et virale (Raviv et coll., 2005, brevet CA 2557800).
- Élimination de composés organiques volatils d'émanations industrielles (Zhao et coll., 2014);
- Biodégradation microbienne de produits chimiques et de contaminants environnementaux, dans le cadre d'activités de biorestauration ainsi que dans des préparations de nettoyages commerciales.
 - Méthode de décontamination par ajout d'un analogue (Focht 1990, Patent CA 1265082);
 - Composition de mousse pour canalisations et ses procédés d'utilisation (Ipser et Tilyou 2009, brevet CA 2718523).

2.2 Caractérisation de l'exposition

2.2.1 Environnement

Selon les déclarations obtenues en réponse à l'avis émis en application de l'article 71 de la LCPE, l'exposition environnementale aux souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida*, découlant de leur présence dans des produits commerciaux serait modérée.

L'importance de l'exposition des végétaux et des animaux à ces souches dépendra de l'utilisation qui en est faite, de la proximité des espèces environnementales aux endroits où les souches sont utilisées ou éliminées, de la masse ou du volume libéré dans l'environnement ainsi que de la persistance et de la survie des souches dans les milieux dans lesquels elles seront libérées. L'utilisation des souches dans des procédés de biorestauration ou de traitement des eaux usées donnera probablement lieu à leur libération dans des écosystèmes terrestres et aquatiques. Les organismes se trouvant sur les lieux d'utilisation ou d'élimination de ces souches sont sans doute ceux qui seront le plus directement exposés. Des vertébrés pourraient ingérer ces souches en se nourrissant de plantes ou d'invertébrés vivant dans des eaux et des sols traités ou contaminés. Des espèces aquatiques pourraient entrer en contact avec les souches de la LIS par l'intermédiaire des eaux de ruissellement des lieux où les souches ont été appliquées ou de l'élimination des eaux usées d'installations où les souches sont

utilisées pour la production d'enzymes et de produits biochimiques. Les pluies pourraient également transporter les micro-organismes des sols traités jusqu'aux cours d'eau. La demande croissante de produits « plus verts » à base de micro-organismes pourrait aussi contribuer à accroître ce type d'exposition (Spök et Klade, 2009).

Tel qu'il est indiqué à la section 1.2.1, l'omniprésence de *P. putida* reflète la capacité de l'espèce à persister et à proliférer dans différentes conditions environnementales. Néanmoins, on ne s'attend pas à ce que les populations introduites persistent en quantités supérieures aux concentrations naturelles (Van Veen et coll., 1997).

2.2.2 Humains

D'après les activités commerciales déclarées en réponse à l'avis émis en application de l'article 71, l'exposition globale des humains aux souches ATCC 12633, 31483, 31800 ou 700369 de *P. putida* serait modérée.

Pour les humains, l'exposition la plus élevée proviendrait de l'utilisation directe de produits de consommation contenant des cellules viables. La manipulation et l'application de tels produits pourraient entraîner l'exposition directe de la peau et l'inhalation de gouttelettes d'aérosol ou de poussières contenant les souches ATCC 12633, 31483, 31800 ou 700369 de *P. putida*.

L'ingestion accidentelle par suite de l'utilisation des souches sur des surfaces de préparation d'aliments ou près de celles-ci, et le contact avec les yeux sont des voies d'exposition secondaires possibles. Les humains pourraient aussi être exposés de manière fortuite lors de l'application de produits commerciaux. L'importance de l'exposition fortuite dépendra du mode d'application, du volume appliqué et de la proximité des tierces personnes par rapport au lieu de l'application, mais elle devrait en général être faible pour ces applications.

L'exposition indirecte des humains aux souches de *P. putida* de la LIS pourrait avoir lieu par suite de l'utilisation de ces souches dans le traitement des déchets et des eaux usées, dans la biorestoration, ou par suite de leur utilisation comme organismes de production. L'exposition des humains à des plans d'eau ou à des sols traités avec des souches de *P. putida* de la LIS (p. ex., par l'intermédiaire d'activités récréatives) pourrait donner lieu à l'exposition de la peau et des yeux, de même qu'à l'ingestion accidentelle. Toutefois, de telles expositions pourraient se faire longtemps après la libération des souches dans l'environnement et, dans ce cas, elles seraient beaucoup plus faibles que l'exposition à des souches contenues dans des produits de nettoyage. De plus l'utilisation des souches de *P. putida* de la LIS pour la production d'enzymes et de produits biochimiques dans des établissements de fabrication qui ne rejettent pas de déchets dans l'environnement ne devrait pas entraîner d'exposition des humains.

Si des utilisations prévues ou potentielles devaient donner lieu à l'introduction d'une de ces souches dans un système d'approvisionnement municipal en eau potable, le procédé de traitement de l'eau, qui comprend la coagulation, la floculation, l'ozonation,

la filtration et la chloration devraient permettre d'éliminer efficacement ces micro-organismes.

Comme il est indiqué ci-dessus en 2.2.1, la demande croissante de produits « plus verts » à base de micro-organismes pourrait accroître l'exposition des humains aux souches de *P. putida* de la LIS qui pourraient être utilisées dans de tels produits (Spök et Klade, 2009).

3. Caractérisation des risques

Dans cette évaluation, le risque est caractérisé selon un paradigme qui veut qu'un danger et l'exposition à ce danger soient tous deux nécessaires pour qu'il y ait un risque. La conclusion de l'évaluation des risques est basée sur le danger et sur ce que l'on connaît de l'exposition due aux utilisations actuelles.

Le danger que présentent les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* est considéré comme moyen pour les poissons élevés en captivité, et faible pour les autres animaux aquatiques, les animaux terrestres ainsi que les végétaux aquatiques et terrestres. Telle qu'elle a été évaluée par les réponses à l'avis émis en application de l'article 71 pour l'année civile 2008, au Canada, l'exposition découlant de l'utilisation délibérée des souches de *P. putida* de la LIS dans des procédés industriels, des produits commerciaux ou des produits de consommation est considérée comme modérée pour les espèces de l'environnement. Les poissons pourraient être exposés à des concentrations élevées de *P. putida* en raison de son utilisation dans le traitement d'eaux usées ou encore par le ruissellement après des applications terrestres près de rivières ou de lacs dans le cadre de projets de biorestauration ou encore d'élimination d'eaux usées ou de biosolides ayant été traités. Pour les poissons, le risque global découlant de telles utilisations est toutefois considéré comme faible.

En raison du faible danger pour la santé que présentent les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* pour la population générale, et du potentiel d'exposition modéré, selon l'évaluation faite par suite des réponses à l'avis émis en application de l'article 71 pour l'année civile 2008, le risque pour la population générale est considéré comme faible. Même si le risque pour les personnes suivant un traitement médical pourrait être plus élevé, les profils d'utilisation actuels n'indiquent pas que les dispositifs médicaux ou les produits sanguins pourraient être contaminés par les utilisations délibérées des souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida*.

Il est donc proposé de conclure que les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* ne répondent à aucun des critères définis à l'article 64 de la LCPE.

La détermination du risque que présentent les utilisations actuelles est suivie par la prise en compte du danger estimé lié à de futures expositions prévisibles (découlant de nouvelles utilisations).

Le risque pour l'environnement découlant de futures utilisations prévisibles est considéré comme faible, puisqu'aucun nouveau scénario d'exposition n'est prévu pour de telles utilisations.

Le risque pour la santé humaine découlant de futures utilisations prévisibles est considéré comme faible, mais pourrait être modéré chez les personnes suivant un traitement médical dans un établissement de soins de santé.

Les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* ont des propriétés qui permettent de les utiliser dans un vaste éventail de produits, et il y a lieu de s'attendre à ce que de nouvelles utilisations de ces souches voient le jour dans les établissements de soins de santé, notamment en raison de la demande croissante de produits de nettoyage « plus verts » à base de micro-organismes (Spök et Klade, 2009). Comme de tels produits peuvent être utilisés dans des établissements de soins de santé, il y a un risque de danger.

Par conséquent, même si on ne s'attend pas à des effets pour la population générale, il se peut que de nouvelles activités qui ne sont pas considérées dans la présente évaluation puissent augmenter le risque d'infections ou de septicémies nosocomiales découlant de la contamination de dispositifs médicaux ou de produits sanguins.

4. Conclusions

D'après les renseignements présentés dans cette évaluation préalable, nous concluons que les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* ne pénètrent pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à :

- avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique;
- mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie;
- constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaine.

Par conséquent, il est conclu que les souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida* ne répondent pas aux critères définis à l'article 64 de la LCPE.

5. Références

- Aiello, A.E., Cimiotti, J., Della-Latta, P., and Larson, E.L. (2003). A comparison of the bacteria found on the hands of 'homemakers' and neonatal intensive care unit nurses. *J. Hosp. Infect.* *54*, 310-315.
- Aksoy, H., and Kutluk Yilmaz, N. (2008). Antagonistic effects of natural *Pseudomonas putida* biotypes on *Polymyxa betae* keskin, the vector of beet necrotic yellow vein virus in sugar beet. *J. Plant Dis. Prot.* *115*, 241-246.
- Altinok, I., Kayis, S., and Capkin, E. (2006). *Pseudomonas putida* infection in rainbow trout. *Aquaculture* *261*, 850-855.
- Anaissie, E., Fainstein, V., Miller, P., Kassamali, H., Pitlik, S., Bodey, G.P., and Rolston, K. (1987). *Pseudomonas putida*. Newly recognized pathogen in patients with cancer. *Am. J. Med.* *82*, 1191-1194.
- Anderson, N.W., Buchan, B.W., Riebe, K.M., Parsons, L.N., Gnacinski, S. and Ledebøer, N.A. (2012) Effects of solid-medium type on routine identification of bacterial isolates by use of matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry. *J. Clin. Microbiol.* *50*, 1008-1013.
- Andreote, F.D., de Araujo, W.L., de Azevedo, J.L., van Elsas, J.D., da Rocha, U.N., and van Overbeek, L.S. (2009). Endophytic colonization of potato (*Solanum tuberosum* L.) by a novel competent bacterial endophyte, *Pseudomonas putida* strain P9, and its effect on associated bacterial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* *75*, 3396-3406.
- Annadurai, G., Ling, L.Y., and Lee, J.F. (2008). Statistical optimization of medium components and growth conditions by response surface methodology to enhance phenol degradation by *Pseudomonas putida*. *J. Hazard. Mater.* *151*, 171-178.
- ATCC. (2014). American Type Culture Collection. <http://www.atcc.org/> (consulté en avril 2014).
- Aumeran, C., Paillard, C., Robin, F., Kanold, J., Baud, O., Bonnet, R., Souweine, B., and Traore, O. (2007). *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas putida* outbreak associated with contaminated water outlets in an oncohaematology paediatric unit. *J. Hosp. Infect.* *65*, 47-53.
- Balaji, V., Jesudason, M.V., Sridharan, G., and Subramanian, K. (2004). Detection of virulence attributes of *Burkholderia pseudomallei*. *Indian J. Med. Res.* *119*, 101-106.
- Ballerstedt, H., Volkers, R.J., Mars, A.E., Hallsworth, J.E., dos Santos, V.A., Puchalka, J., van Duuren, J., Eggink, G., Timmis, K.N., de Bont, J.A., and Wery, J. (2007). Genomotyping of *Pseudomonas putida* strains using *P. putida* KT2440-based high-

density DNA microarrays: implications for transcriptomics studies. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 75,1133–1142.

Banitz, T., Johst, K., Wick, L.Y., Fetzner, I., Harms, H., and Frank, K. (2012). The relevance of conditional dispersal for bacterial colony growth and biodegradation. *Microb. Ecol.* 63, 339-347.

Barazani, O., and Friedman, J. (2001). Allelopathic bacteria and their impact on higher plants. No de critère. *Rev. Microbiol.* 27, 41-55.

Barrett, E.L., Solanes, R.E., Tang, J.S., and Palleroni, N.J. (1986). *Pseudomonas fluorescens* biovar V: its resolution into distinct component groups and the relationship of these groups to other *P. fluorescens* biovars, to *P. putida*, and to psychrotrophic pseudomonads associated with food spoilage. *J. Gen. Microbiol.* 132, 2709-2721.

Baumgarten, T., Vazquez, J., Bastisch, C., Veron, W., Feuilloley, M. G. J., Nietzsche, S., Wick, L. and Heipieper, H. J. (2012). Alkanols and chlorophenols cause different physiological adaptive responses on the level of cell surface properties and membrane vesicle formation in *Pseudomonas putida* DOT-T1E. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 93, 837-845.

Belal, T., Romdhane, K., Jean-Louis, B., Tahar, B., Eric, D., and Françoise, L. (2010). Optical fiber-based synchronous fluorescence spectroscopy for bacterial discrimination directly from colonies on agar plates. *Anus. Méthode.* 3, 133-143.

Berggren, I., Alstrom, S., van Vuurde, J.W.L., and Martensson, A.M. (2005). Rhizoplane colonisation of peas by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* and a deleterious *Pseudomonas putida*. *FEMS Microbiol. Ecol.* 52, 71-78.

Berndt, C., Meier, P., and Wackernagel, W. (2003). DNA restriction is a barrier to natural transformation in *Pseudomonas stutzeri* JM300. *Microbiology* 149, 895-901.

Blumer, C., and Haas, D. (2000). Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. *Arch. Microbiol.* 173, 170-177.

Boemare, N., and Vey, A. (1977). Étude des souches bactériennes isolées d'écrevisses *Atlantoastacus pallipes* Lereboullet atteintes de septicémies et d'affectations hépato-intestinales. *Ann. Hydrobiol.* 8, 153-162.

Bossis, E., Lemanceau, P., Latour, X., and Gardan, L. (2000). The taxonomy of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*: current status and need for revision. *Agronomie* 20, 51-63.

Bradbury, J.F. (1986). *Guide to Plant Pathogenic Bacteria* (Farnham Royal, UK: CAB International Mycological Institute.).

- Brettar, I., Ramos-Gonzalez, M., Ramos, J.L., and Hofle, M.G. (1994). Fate of *Pseudomonas putida* after release into lake water mesocosms: Different survival mechanisms in response to environmental conditions. *Microb. Ecol.* *27*, 99-122.
- Cabral, L., Giovanella, P., Gianello, C., Bento, F.M., Andrezza, R., and Camargo, F.A. (2013). Isolation and characterization of bacteria from mercury contaminated sites in Rio Grande do Sul, Brazil, and assessment of methylmercury removal capability of a *Pseudomonas putida* V1 strain. *Biodegradation* *24*, 319-331.
- Callon, C., Duthoit, F., Delbès, C., Ferrand, M., Le Frileux, Y., De Crémoux, R., and Montel, M.C. (2007). Stability of microbial communities in goat milk during a lactation year: Molecular approaches. *Instr NQ4. Appl. Microbiol.* *30*, 547-560.
- Carpenter, R.J., Hartzell, J.D., Forsberg, J.A., Babel, B.S., and Ganesan, A. (2008). *Pseudomonas putida* war wound infection in a US Marine: a case report and review of the literature. *J. Infect.* *56*, 234-240.
- Castric, P.A. (1983). Hydrogen cyanide production by *Pseudomonas aeruginosa* at reduced oxygen levels. *Can. J. Microbiol.* *29*, 1344-1349.
- Chapalain, A., Rossignol, G., Lesouhaitier, O., Merieau, A., Gruffaz, C., Guerillon, J., Meyer, J.M., Orange, N., and Feuilloley, M.G.J. (2007). Comparative study of 7 fluorescent pseudomonad clinical isolates. *Can. J. Microbiol.* *54*, 19-27.
- Chazal, P.M. (1995). Pollution of modern metalworking fluids containing biocides by pathogenic bacteria in France. Reexamination of chemical treatments accuracy. *Eur. J. Epidemiol.* *11*, 1-7.
- Chen, C.H., Hsiu, R.H., Liu, C.E., and Young, T.G. (2005). *Pseudomonas putida* bacteremia due to soft tissue infection contracted in a flooded area of central Taiwan: a case report. *J. Microbiol. Immunol. Infect.* *38*, 293-295.
- Chen, X.C., Wang, Y.P., Lin, Q., Shi, J.Y., Wu, W.X., and Chen, Y.X. (2005). Biosorption of copper(II) and zinc(II) from aqueous solution by *Pseudomonas putida* CZ1. *Colloids Surf. B Biointerfaces* *46*, 101-107.
- Cheng, T.C. (1986). Biological control studies: Bacteria associated with moribund *Biomphalaria glabrata* (mollusca) in the laboratory. *J. Invertebr. Pathol.* *47*, 219-224.
- Chevalier, S., Bodilis, J., Jaouen, T., Barray, S., Feuilloley, M. G. J., and Orange, N. (2007). Sequence diversity of the OprD protein of environmental *Pseudomonas* strains: Brief report. *Environ. Microbiol.* *9*, 824-835.
- Chiu, C.H., Lin, T.Y., and Wu, J.L. (1998). Hypothermia predisposing to *Pseudomonas putida* sepsis in a child with panhypopituitarism. *J. Formos. Med. Assoc.* *97*, 286-288.

Chun, J., Rhee, M.-., Han, J.-., and Kyung Sook Bae. (2001). *Arthrobacter siderocapsulatus* Dubinina and Zhdanov 1975AL is a later subjective synonym of *Pseudomonas putida* (Trevisan 1889) Migula 1895AL. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51, 169-170.

Cogen, A.L., Nizet, V., Gallo, R.L. 2008. Skin microbiota: a source of disease or defence? *Br. J. Dermatol.* 158, 442-455.

Cole, J.R., Wang, Q., Fish, J.A., Chai, B., McGarrell, D.M., Sun, Y., Brown, C.T., Porras-Alfaro, A., Kuske, C.R., and Tiedje, J.M. (2014). Ribosomal Database Project: data and tools for high throughput rRNA analysis. *Nucleic Acids Res.* 41, D633-D642.

Couillerot, O., Prigent-Combaret, C., Caballero-Mellado, J., and Moñne-Loccoz, Y. (2009). *Pseudomonas fluorescens* and closely-related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. *Lett. Appl. Microbiol.* 48, 505-512.

Cray, J.A., Bell, A.N., Bhaganna, P., Mswaka, A.Y., Timson, D.J., and Hallsworth, J.E. (2013). The biology of habitat dominance; can microbes behave as weeds? *Microb Biotechnol* 6, 453-492.

Danhorn, T., and Fuqua, C. (2007). Biofilm formation by plant-associated bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 61, 401-422.

de Castro, V.L.S.S., Jonsson, C.M., Silva, C.M.M., and de Holanda Nunes Maia, A. (2010). Assessing the safety of *Pseudomonas putida* introduction in the environment: An overview of ecotoxicological tests. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 56, 300-305.

Dechesne, A., Wang, G., Gulez, G., Or, D., and Smets, B.F. (2010). Hydration-controlled bacterial motility and dispersal on surfaces. *Proc. Présence oblig. Acad. Sci. U. S. A.* 107, 14369-14372.

Dervisoglu, E., Dundar, D.O., Yegenaga, I., and Willke, A. (2008). Peritonitis due to *Pseudomonas putida* in a patient receiving automated peritoneal dialysis. *Infection* 36, 379-380.

Devesa, V., Loos, A., S  ner, M.A., Vélez, D., Fera, A., Martínez, A., Montoro, R., and Sanz, Y. (2005). Transformation of organoarsenical species by the microflora of freshwater crayfish. *J. Agric. Food Chem.* 53, 10297-10305.

DSMZ. (2014). Leibniz Institute DSMZ-German Collection of Microorganisms and Cell Cultures. 2014

Duclairoir Poc, C., Verdon, J., Groboillot, A., Barreau, M., Toucourou, H., Mijouin, L., Leclerc, C., Maillot, O., Kondakova, T., Hulen, C. et al. (2014) Airborne fluorescent pseudomonads : What potential for virulence? *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 3, 708-722.

Durbin, R.D. (1991). Bacterial phytotoxins: Mechanisms of action. *Experientia* 47, 776-783.

Eller, C. (1969). *Herellea (Acinetobacter)* and *Pseudomonas ovalis (P. putida)* from frozen foods. *Appl. Microbiol.* 17, 26-30.

Elomari, M., Coroler, L., Verhille, S., Izard, D., and Leclerc, H. (1997). *Pseudomonas monteilii* sp. nov., isolated from clinical specimens. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 47, 846-852.

Erol, S., Zenciroğlu, A., Dilli, D., Okumuş, N., Aydin, M., Gol, N., Erdem, F. and Tanir, G. (2014). Evaluation of nosocomial blood stream infections caused by *Pseudomonas* species in newborns. *Clin. Lab.*, 60, 615-620.

EUCAST. (2014). The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing: Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters, Version 4.0. http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/Breakpoint_tables/Breakpoint_table_v_4.0.pdf (consulté en avril 2014) lien périmé; disponible à http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/Breakpoint_tables/Breakpoint_table_v_4.0.pdf

Flechas, S.V., Sarmiento, C., Cardenas, M.E., Medina, E.M., Restrepo, S., and Amezcua, A. (2012). Surviving chytridiomycosis: differential anti-*Batrachochytrium dendrobatidis* activity in bacterial isolates from three lowland species of *Atelopus*. *PLoS One* 7, e44832.

Flores-Vargas, R.D., and O'Hara, G.W. (2006). Isolation and characterization of rhizosphere bacteria with potential for biological control of weeds in vineyards. *J. Appl. Microbiol.* 100, 946-954.

Fonseca, P., Moreno, R., and Rojo, F. (2011). Growth of *Pseudomonas putida* at low temperature: global transcriptomic and proteomic analyses. *Environ. Microbiol. Rep.* 3, 329-339.

Gagniere, S., Auvray, F., and Carpentier, B. (2006). Spread of a green fluorescent protein-tagged *Pseudomonas putida* in a water pipe following airborne contamination. *J. Food Prot.* 69, 2692-2696.

George, S. E., G. M. Nelson, et coll. (2000). Survival of environmental microbial agents in CD-1 mice following oral exposure. *Microb. Ecol. Health D.* 12, 92-98.

Gilarranz, R., Juan, C., Castillo-Vera, J., Chamizo, F. J., Artiles, F., Álamo, I., & Oliver, A. (2013). First detection in Europe of the metallo- β -lactamase IMP-15 in clinical strains of *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Clin. Microbiol. Infect.* 19, E424-E427.

- Greated, A., Lambertsen, L., Williams, P.A., and Thomas, C.M. (2002). Complete sequence of the IncP-9 TOL plasmid pWW0 from *Pseudomonas putida*. *Environ. Microbiol.* 4, 856-871.
- Gross, H., and Loper, J.E. (2009). Genomics of secondary metabolite production by *Pseudomonas* spp. *Nat. Prod. Rep.* 26, 1408-1446.
- Haas, D., and Defago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nat. Rev. Microbiol.* 3, 307-319.
- Hammer, P., Hill, D., Lam, S., Van Pee, K., and Ligon, J. (1997). Four genes from *Pseudomonas fluorescens* that encode the biosynthesis of pyrrolnitrin. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 2147-2154.
- Haniotakis, G.E., and Avtzis, N. (1977). Mortality in *Dacus oleae* (Gmelin) through infection with *Pseudomonas putida*. *Ann. Zool. Ecol. Anim.* 9, 299-311.
- Hassan, M.N., Afghan, S., and Hafeez, F.Y. (2011). Biological control of red rot in sugarcane by native pyoluteorin-producing *Pseudomonas putida* strain NH-50 under field conditions and its potential modes of action. *Pest Manag. Sci.* 67, 1147-1154.
- Hernandez Duquino, H., and Rosenberg, F.A. (1987). Antibiotic-resistant *Pseudomonas* in bottled drinking water. *Can. J. Microbiol.* 33, 286-289.
- Igbinosa, I.H., Nwodo, U.U., Sosa, A., Tom, M., and Okoh, A.I. (2012). Commensal *Pseudomonas* species isolated from wastewater and freshwater milieus in the Eastern Cape Province, South Africa, as reservoir of antibiotic resistant determinants. *Int J. Environ. Res. Public Health* 9, 2537-2549.
- Igbinosa, I.H., Tom, M., and Okoh, A.I. (2012). Antibigram characteristics and associated resistance genes of commensal pseudomonas species isolated from soil and plant rhizosphere in the Eastern Cape Province, South Africa. *J. Pure Appl. Microbiol.* 66, 1541-1551.
- Iwalokun, B.A., Akinsinde, K.A., Lanlenhin, O., and Onubogu, C.C. (2006). Bacteriocinogenicity and production of pyocins from *Pseudomonas* species isolated in Lagos, Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 5, 1072-1077.
- Iwasaki, K., Uchiyama, H., and Yagi, O. (1994). Survival and impact of genetically engineered *Pseudomonas putida* harboring mercury resistance gene in soil microcosms. *Biosci. Biotech. Bioch.* 58, 156-159.
- Jalal, K.C., Faizul, H.N., Naim, M.A., John, B.A., and Kamaruzzaman, B.Y. (2012). Studies on water quality and pathogenic bacteria in coastal water Langkawi, Malaysia. *J. Environ. Biol.* 33, 831-835.

Jones, R.A., Broder, M.W., and Stotzky, G. (1991). Effects of genetically engineered microorganisms on nitrogen transformations and nitrogen-transforming microbial populations in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 57, 3212-3219.

Kamika, I., and Momba, M.N. (2013). Assessing the resistance and bioremediation ability of selected bacterial and protozoan species to heavy metals in metal-rich industrial wastewater. *BMC Microbiol.* 13, 28.

Kim, K.-. (2000). Phenazine 1-carboxylic acid resistance in phenazine 1-carboxylic acid producing *Bacillus* sp. B-6. *J. Biochem. Mol. Biol.* 33, 332-336.

Kim, S.E., Park, S.H., Park, H.B., Park, K.H., Kim, S.H., Jung, S.I., Shin, J.H., Jang, H.C., and Kang, S.J. (2012). Nosocomial *Pseudomonas putida* Bacteremia: High Rates of Carbapenem Resistance and Mortality. *Chonnam Med J* 48, 91-95.

Klausen, M., Gjermansen, M., Kreft, J.U., and Tolker-Nielsen, T. (2006). Dynamics of development and dispersal in sessile microbial communities: examples from *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas putida* model biofilms. *FEMS Microbiol. Lett.* 261, 1-11.

Kloepper, J.W., Hume, D.J., Scher, F.M., Singleton, C., Tipping, B., Laliberte, M., Frauley, K., Kutchaw, T., Simonson, C., Lifshitz, R., Zaleska, I., and Lee, L. (1988). Plant growth promoting rhizobacteria on canola (rapeseed). *Plant Dis* 72, 42-46.

Kloepper, J.W., Scher, F.M., Laliberte, M., and Zaleska, I. (1985). Measuring the spermosphere colonizing capacity (spermosphere competence) of bacterial inoculants. *Can. J. Microbiol.* 31, 926-929.

Korcova, J., Koprnova, J., Krcmery, V., and Krcmery, V. (2005). Bacteraemia due to *Pseudomonas putida* and other *Pseudomonas non-aeruginosa* in children. *J. Infect.* 51, 81.

Krifa, M., Dellai, A., Bouhlel, I., Robert, J., Cherif, A., Barillier, D., Mosrati, R., Chekir-Ghedira, L., and Ben Mansour, H. (2013). Human cell death in relation to DNA damage after exposure to the untreated and biologically treated pharmaceutical wastewater. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 20, 3836-3842.

Kusuda, R., and Toyoshima, T. (1976). Characteristics of a pathogenic *Pseudomonas* isolated from cultured yellowtail (in Japanese). *Fish Pathol.* 11, 133-139.

Ladds, P.W., Thomas, A.D., Speare, R., and Brown, A.S. (1990). Meliodosis in a koala. *ARG. Vet. J.* 67, 304-305.

Ladhani, S., and Bhutta, Z.A. (1998). Neonatal *Pseudomonas putida* infection presenting as staphylococcal scalded skin syndrome. *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.* 17, 642-644.

- Latha, K., and Lalithakumari, D. (2001). Transfer and expression of a hydrocarbon-degrading plasmid pHCL from *Pseudomonas putida* to marine bacteria. *World J. Microbiol. Biotechnol.* *17*, 523-528.
- Lee, S.W., and Cooksey, D.A. (2000). Genes expressed in *Pseudomonas putida* during colonization of a plant-pathogenic fungus. *Appl. Environ. Microbiol.* *66*, 2764-2772.
- Lew, S.Q., and Gruia, A. (2005). *Pseudomonas putida* causing peritoneal dialysis-associated peritonitis. *Perit. Dial. Int.* *25*, 503-505.
- Li, K., Bihan, M., Methe, B.A. 2013a. Analyses of the stability and core taxonomic memberships of the human microbiome. *PLoS One* *8*, e63139.
- Li, Y., Li, J., Wang, C., and Wang, P. (2010). Growth kinetics and phenol biodegradation of psychrotrophic *Pseudomonas putida* LY1. *Bioresour. Technol.* *101*, 6740-6744.
- Liang, R., Liu, H., Tao, F., Liu, Y., Ma, C., Liu, X., and Liu, J. (2012). Genome sequence of *Pseudomonas putida* strain SJTE-1, a bacterium capable of degrading estrogens and persistent organic pollutants. *J. Bacteriol.* *194*, 4781-4782.
- Lombardi, G., Luzzaro, F., Docquier, J.D., Riccio, M.L., Perilli, M., Coli, Amicosante, G., Rossolini, G.M., and Toniolo, A. (2002). Nosocomial infections caused by multidrug-resistant isolates of *Pseudomonas putida* producing VIM-1 metallo-beta-lactamase. *J. Clin. Microbiol.* *40*, 4051-4055.
- Lopez-Berges, M., Turra, D., Capilla, J., Schafferer, L., Matthijs, S., Jochl, C., Cornelis, P., Guarro, J., Haas, H., and Di Pietro, A. (2013). Iron competition in fungus-plant interactions: The battle takes place in the rhizosphere. *Plant Signal Behav.* *8*,
- Louws, F.J., Fulbright, D.W., Stephens, C.T., and de Bruijn, F.J. (1994). Specific genomic fingerprints of phytopathogenic *Xanthomonas* and *Pseudomonas* pathovars and strains generated with repetitive sequences and PCR. *Appl. Environ. Microbiol.* *60*, 2286-2295.
- Lynch, J.M. (1990). Longevity of bacteria: Considerations in environmental release. *Curr. Microbiol.* *20*, 387-389.
- Macfarlane, L., Oppenheim, B.A., and Lorrigan, P. (1991). Septicaemia and septic arthritis due to *Pseudomonas putida* in a neutropenic patient. *J. Infect.* *23*, 346-347.
- Madhavan, T., Fisher, E.J., Cox, F., and Quinn, E.L. (1973). *Pseudomonas putida* and septic arthritis. *Ann. Intern. Med.* *78*, 971-972.
- Mao, Z., Ye, J., Li, M., Xu, H., and Chen, J. (2013). Vaccination efficiency of surface antigens and killed whole cell of *Pseudomonas putida* in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Fish Shellfish Immunol.* *35*, 375-381.

- Martino, R., Martinez, C., Pericas, R., Salazar, R., Sola, C., Brunet, S., Sureda, A., and Domingo-Albos, A. (1996). Bacteremia due to glucose non-fermenting gram-negative bacilli in patients with hematological neoplasias and solid tumors. *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.* 15, 610-615.
- Matchett, C.A., Dillehay, D.L., Goodman, M.M., and Pullium, J.K. (2003). Postanesthesia death and suspected peracute endotoxic shock due to *Pseudomonas putida* in a cynomolgous macaque (*Macaca fascicularis*). *Comp. Med.* 53, 309-312.
- Mavrodi, D.V., Loper, J.E., Paulsen, I.T., and Thomashow, L.S. (2009). Mobile genetic elements in the genome of the beneficial rhizobacterium *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *BMC Microbiol.* 9, 8.
- Mazzola, M. (1999). Transformation of soil microbial community structure and rhizoctonia-suppressive potential in response to apple roots. *Phytopathology* 89, 920-927.
- McClure, N.C., Weightman, A.J., and Fry, J.C. (1989). Survival of *Pseudomonas putida* UWC1 containing cloned catabolic genes in a model activated-sludge unit. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 2627-2634.
- Meade, M.J., Waddell, R.L., and Callahan, T.M. (2001). Soil bacteria *Pseudomonas putida* and *Alcaligenes xylosoxidans* subsp. *denitrificans* inactivate triclosan in liquid and solid substrates. *FEMS Microbiol. Lett.* 204, 45-48.
- Mehri, I., Turki, Y., Chair, M., Cherif, H., Hassen, A., Meyer, J.M., and Gtari, M. (2011). Genetic and functional heterogeneities among fluorescent *Pseudomonas* isolated from environmental samples. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 57, 101-114.
- Mendes, R., Garbeva, P., and Raaijmakers, J.M. (2013). The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiol. Rev.* 37, 634-663.
- Meyer, J.M., Gruffaz, C., Tulkki, T., and Izard, D. (2007). Taxonomic heterogeneity, as shown by siderotyping, of strains primarily identified as *Pseudomonas putida*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 57, 2543-2556.
- Michel-Briand, Y., and Baysse, C. (2002). The pyocins of *Pseudomonas aeruginosa*. *Biochimie* 84, 499-510.
- Mirleau, P., Wogelius, R., Smith, A., and Kertesz, M.A. (2005). Importance of organosulfur utilization for survival of *Pseudomonas putida* in soil and rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 6571-6577.
- Molina, L., Ramos, C., Duque, E., Carmen Ronchel, M., Garcia, J.M., Wyke, L., and Ramos, J.L. (2000). Survival of *Pseudomonas putida* KT2440 in soil and in the

rhizosphere of plants under greenhouse and environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 32, 315-321.

Molina, M.A., Ramos, J.L., and Espinosa-Urgel, M. (2006). A two-partner secretion system is involved in seed and root colonization and iron uptake by *Pseudomonas putida* KT2440. *Environ. Microbiol.* 8, 639-647.

Moody, M.R., Young, V.M., and Kenton, D.M. (1972). In vitro antibiotic susceptibility of pseudomonads other than *Pseudomonas aeruginosa* recovered from cancer patients. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2, 344-349.

Moon, C.D., Zhang, X.-., Matthijs, S., Schäfer, M., Budzikiewicz, H., and Rainey, P.B. (2008). Genomic, genetic and structural analysis of pyoverdine-mediated iron acquisition in the plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas fluorescens* SBW25. *BMC Microbiol.* 8,

Moore, E.R., Tindall, B.J., Martins, d.S., Pieper, D.H., Ramos, J.L., and Palleroni, N.J. (2006). Nonmedical: *Pseudomonas*. *Prokaryotes* 6, 646-703.

Moreno, R., and Rojo, F. (2013). The contribution of proteomics to the unveiling of the survival strategies used by *Pseudomonas putida* in changing and hostile environments. *Proteomics* 13, 2822-2830.

Mulet, M., Garcia-Valdes, E., and Lalucat, J. (2013). Phylogenetic affiliation of *Pseudomonas putida* biovar A and B strains. *Res. Microbiol.* 164, 351-359.

Mulet, M., Lalucat, J., and García-Valdés, E. (2010). DNA sequence-based analysis of the *Pseudomonas* species. *Environ. Microbiol.* 12, 1513-1530.

Naik, P.R., and Sakthivel, N. (2006). Functional characterization of a novel hydrocarbonoclastic *Pseudomonas* sp. strain PUP6 with plant-growth-promoting traits and antifungal potential. *Res. Microbiol.* 157, 538-546.

Nakazawa, T. (2002). Travels of a *Pseudomonas*, from Japan around the world. *Environ. Microbiol.* 4, 782-786.

NBRC. (2013). Culture Collection, Biological Resource Center (NBRC), National Institute of Technology and Evaluation. 2014,

NCBI. (2014). Genome Database: *Pseudomonas putida*; Genome Assembly and Annotation report. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/genomes/174> (consulté en avril 2014).

Nelson, K.E., Weinel, C., Paulsen, I.T., Dodson, R.J., Hilbert, H., Martins, d.S., Fouts, D.E., Gill, S.R., Pop, M., Holmes, M., *et coll.* (2002). Complete genome sequence and comparative analysis of the metabolically versatile *Pseudomonas putida* KT2440. *Environ. Microbiol.* 4, 799-808.

Neumeyer, K., Ross, T., and McMeekin, T.A. (1997). Development of a predictive model to describe the effects of temperature and water activity on the growth of spoilage pseudomonads. *Int. J. Food Microbiol.* 38, 45-54.

Nishimori, E., Kita-Tsukamoto, K., and Wakabayashi, H. (2000). *Pseudomonas plecoglossicida* sp. nov., the causative agent of bacterial haemorrhagic ascites of ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 50 Pt 1, 83-89.

Nowak-Thompson, B., Chaney, N., Wing, J.S., Gould, S.J., and Loper, J.E. (1999). Characterization of the pyoluteorin biosynthetic gene cluster of *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *J. Bacteriol.* 181, 2166-2174.

O'Donnell, M.J., Tuttlebee, C.M., Falkiner, F.R., and Coleman, D.C. (2005). Bacterial contamination of dental chair units in a modern dental hospital caused by leakage from suction system hoses containing extensive biofilm. *J. Hosp. Infect.* 59, 348-360.

OECD. (1997). Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 6. OCDE/GD(97)22. (Paris, France: OECD Environmental Health and Safety Publications).

Ohji, S., Yamazoe, A., Hosoyama, A., Tsuchikane, K., Ezaki, T., and Fujita, N. (2014). The complete genome sequence of *Pseudomonas putida* NBRC 14164T confirms high intraspecies variation. *Genome Announc.* 2, e00029-14.

Olapade, O.A., Gao, X., and Leff, L.G. (2005). Abundance of three bacterial populations in selected streams. *Microb. Ecol.* 49, 461-467.

Ongena, M., Duby, F., Rossignol, F., Fauconnier, M., Dommès, J., and Thonart, P. (2004). Stimulation of the lipoxygenase pathway is associated with systematic resistance induced in bean by a non-pathogenic *Pseudomonas* strain. *Mol. Plant Microbe Interact.* 17, 1009-1018.

OPIC. (2014). Base de données sur les brevets canadiens : *Pseudomonas putida*. [http://brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/fra/recherche/resultats.html?query=\(pseudomonas+putida\)&start=151&num=50&type=boolean_search](http://brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/fra/recherche/resultats.html?query=(pseudomonas+putida)&start=151&num=50&type=boolean_search) (consulté en mars 2014).

Palleroni, N.J. (2005). Genus I. *Pseudomonas* Migula 1894, 237^{AL} (*Nom. Cons., Opin. 5 of the Jud. Comm. 1952, 121*). In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Volume 2 The Proteobacteria. The Gammaproteobacteria*, Brenner, D.J., Krief, N.R., Staley, J.T. (éd.), New York : Springer, p. 323-373.

Pandey, A., Trivedi, P., Kumar, B., and Palni, L.M. (2006). Characterization of a phosphate solubilizing and antagonistic strain of *Pseudomonas putida* (B0) isolated from a sub-alpine location in the Indian Central Himalaya. *Curr. Microbiol.* 53, 102-107.

- Paulitz, T.C. (1991). Effect of *Pseudomonas putida* on the stimulation of *Pythium ultimum* by seed volatiles of pea and soybean. *Phytopathol.* *81*, 1282-1287.
- Penna, V.T., Martins, S.A., and Mazzola, P.G. (2002). Identification of bacteria in drinking and purified water during the monitoring of a typical water purification system. *BMC Public Health* *2*, 13.
- Pessi, G., and Haas, D. (2000). Transcriptional control of the hydrogen cyanide biosynthetic genes *hcnABC* by the anaerobic regulator ANR and the quorum-sensing regulators LasR and RhIR in *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Bacteriol.* *182*, 6940-6949.
- Pin, C., and Baranyi, J. (1998). Predictive models as means to quantify the interactions of spoilage organisms. *Int. J. Food Microbiol.* *41*, 59-72.
- Pin, C., Sutherland, J.P., and Baranyi, J. (1999). Validating predictive models of food spoilage organisms. *J. Appl. Microbiol.* *87*, 491-499.
- Poblete-Castro, I., Becker, J., Dohnt, K., Martins, d.S., and Wittman, C. (2012). Industrial biotechnology of *Pseudomonas putida* and related species. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* *93*, 2279-2290.
- Pramanik, S., Khanna, R., Katti, K., McEvoy, J., and Khan, E. (2011). Effects of entrapment on nucleic acid content, cell morphology, cell surface property, and stress of pure cultures commonly found in biological wastewater treatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* *92*, 407-418.
- Puchalka, J., Oberhardt, M.A., Godinho, M., Bielecka, A., Regenhardt, D., Timmis, K.N., Papin, J.A., and Martins, d.S. (2008). Genome-scale reconstruction and analysis of the *Pseudomonas putida* KT2440 metabolic network facilitates applications in biotechnology. *PLoS Comput Biol* *4*, e1000210.
- Regenhardt, D., Heuer, H., Heim, S., Fernandez, D.U., Strompl, C., Moore, E.R., and Timmis, K.N. (2002). Pedigree and taxonomic credentials of *Pseudomonas putida* strain KT2440. *Environ. Microbiol.* *4*, 912-915.
- Remold, S.K., Brown, C.K., Farris, J.E., Hundley, T.C., Perpich, J.A., and Purdy, M.E. (2011). Differential habitat use and niche partitioning by *Pseudomonas* species in human homes. *Microb. Ecol.* *62*, 505-517.
- Roca, A., Pizarro-Tobias, P., Udaondo, Z., Fernandez, M., Matilla, M.A., Molina-Henares, M., Molina, L., Segura, A., Duque, E., and Ramos, J.L. (2013). Analysis of the plant growth-promoting properties encoded by the genome of the rhizobacterium *Pseudomonas putida* BIRD-1. *Environ. Microbiol.* *15*, 780-794.
- Rolston, K.V., Kontoyiannis, D.P., Yadegarynia, D., and Raad, I. (2005). Nonfermentative gram-negative bacilli in cancer patients: increasing frequency of

infection and antimicrobial susceptibility of clinical isolates to fluoroquinolones. *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.* 51, 215-218.

Rose, S., Hill, R., Bermudez, L.E., and Miller-Morgan, T. (2013). Imported ornamental fish are colonized with antibiotic-resistant bacteria. *J. Fish Dis.* 36, 533-542.

Ryall, B., Davies, J.C., Wilson, R., Shoemark, A., and Williams, H.D. (2008). *Pseudomonas aeruginosa*, cyanide accumulation and lung function in CF and non-CF bronchiectasis patients. *Eur. Respir. J.* 32, 740-747.

Sacchetti, P., Ghiardi, B., Granchietti, A., Stefanini, F.M., and Belcari, A. (2014). Development of probiotic diets for the olive fly: Evaluation of their effects on fly longevity and fecundity. *Ann. Appl. Biol.* 164, 138-150.

Sardessai, Y., and Bhosle, S. (2002). Tolerance of bacteria to organic solvents. *Res. Microbiol.* 153, 263-268.

Scherlach, K., Graupner, K., and Hertweck, C. (2013). Molecular bacteria-fungi interactions: effects on environment, food, and medicine. *Annu. Rev. Microbiol.* 67, 375-397.

Schweizer, H.P. (2003). Efflux as a mechanism of resistance to antimicrobials in *Pseudomonas aeruginosa* and related bacteria: Unanswered questions. *Genet. Mol. Res.* 2, 48-62.

Seligy, V.L., and Rancourt, J.M. (1999). Antibiotic MIC/MBC analysis of *Bacillus*-based commercial insecticides: use of bioreduction and DNA-based assays. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 22, 565-574.

Shabayev, V.P. (2010). Effect of the introduction of the nitrogen-fixing bacteria *Pseudomonas putida* 23 on the nitrogen balance in soil. *Eurasian Soil Sci.* 43, 436-441.

Shah, S.S., Kagen, J., Lautenbach, E., Bilker, W.B., Matro, J., Dominguez, T.E., Tabbutt, S., Gaynor, J.W., and Bell, L.M. (2007). Bloodstream infections after median sternotomy at a children's hospital. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 133, 435-440.

Shi, J., Liu, A., Li, X., Feng, S., and Chen, W. (2010). Identification of endophytic bacterial strain MGP1 selected from papaya and its biocontrol effects on pathogens infecting harvested papaya fruit. *J. Sci. Food Agric.* 90, 227-232.

Shivaji, S., Rao, N.S., Saisree, L., Sheth, V., Reddy, G.S., and Bhargava, P.M. (1989). Isolation and identification of *Pseudomonas* spp. from Schirmacher Oasis, Antarctica. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 767-770.

Shrove, G.S., Olsen, R.H., and Vogel, T.M. (1991). Development of pure culture biofilms of *P. putida* on solid supports. *Biotechnol. Bioeng.* 37, 512-518.

Silva, C.M., de Castro, V.L., de Oliveira, P.R., and Maia Ade, H. (2009). Influence of *Pseudomonas putida* AF7 inoculation on soil enzymes. *Ecotoxicology* 18, 1182-1187.

Smolowitz, R., Wadman, E., and Chikarmane, H.M. (1998). *Pseudomonas putida* infections of the oyster toadfish (*Opsanus tau*). *Biol. Bull.* 195, 229-231.

Speranza, B., Bevilacqua, A., Mastromatteo, M., Sinigaglia, M., and Corbo, M.R. (2010). Modelling the interactions between *Pseudomonas putida* and *Escherichia coli* O157:H7 in fish-burgers: use of the lag-exponential model and of a combined interaction index. *J. Appl. Microbiol.* 109, 667-678.

Spök, A., and Klade, M. (2009). Environmental, health and legal aspects of cleaners containing living microbes as active ingredients. *IFZ* 1-17.

Srinivasan, K., Gilardi, G., Garibaldi, A., and Gullino, M.L. (2009). Bacterial antagonists from used rockwool soilless substrates suppress *Fusarium* wilt of tomato. *J. Plant Pathol.* 91, 147-154.

Stanier, R.Y. (1947). Acetic acid production from ethanol by fluorescent pseudomonads. *J. Bacteriol.* 54, 191-194.

Stanier, R.Y., Palleroni, N.J., and Doudoroff, M. (1966). The aerobic pseudomonads: a taxonomic study. *J. Gen. Microbiol.* 43, 159-271.

StrainInfo. (2014). <http://www.straininfo.net/> (consulté en avril 2014).

Sultan, M.J., Alm, A., Hindmarsh, A., and Greatorex, R.A. (2009). Security swipe cards and scanners are a potential reservoir for hospital-acquired infection. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 91, 155-158.

Sutra, L., Risede, J.M., and Gardan, L. (2000). Isolation of fluorescent pseudomonads from the rhizosphere of banana plants antagonistic towards root necrotizing fungi. *Lett. Appl. Microbiol.* 31, 289-293.

Tabor, E., and Gerety, R.J. (1984). Five cases of *Pseudomonas* sepsis transmitted by blood transfusions. *The Lancet* 323, 1403.

Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., and Kumar, S. (2011). MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol. Biol. Evol.* 28, 2731-2739.

Taylor, M., Keane, C.T., and Falkiner, F.R. (1984). *Pseudomonas putida* in transfused blood. *Lancet* 2, 107.

- Thomas, B.S., Okamoto, K., Bankowski, M.J., and Seto, T.B. (2013). A lethal case of bacteremia due to soft tissue infection. *Infect. Dis. Clin. Pract.* 21, 147-213.
- Timmis, K.N. (2002). *Pseudomonas putida*: a cosmopolitan opportunist par excellence. *Environ. Microbiol.* 4, 779-781.
- Tourkya, B., Boubellouta, T., Dufour, E., and Leriche, F. (2009). Fluorescence spectroscopy as a promising tool for a polyphasic approach to pseudomonad taxonomy. *Curr. Microbiol.* 58, 39-46.
- Tripathi, M., Munot, H.P., Shouche, Y., Meyer, J.M., and Goel, R. (2005). Isolation and functional characterization of siderophore-producing lead- and cadmium-resistant *Pseudomonas putida* KNP9. *Curr. Microbiol.* 50, 233-237.
- U.S. EPA. (2012a). U.S. Environmental Protection Agency. TSCA Environmental Release Applications (TERA) for *Pseudomonas putida* TV8, E07-0001.
- U.S. EPA. (2012b). U.S. Environmental Protection Agency. TSCA Environmental Release Applications (TERA) for *Pseudomonas putida* (*P. Putida*).
- U.S. EPA. (2012c). U.S. Environmental Protection Agency. Two TSCA Environmental Release Applications (TERAs) for *Pseudomonas putida* (*P. Putida*).
- U.S. EPA. (2012d). U.S. Environmental Protection Agency. TSCA Experimental Release Applications Approved for *Pseudomonas putida* (*P. Putida*).
- Uraz, G., and Çitak, S. (1998). The isolation of *Pseudomonas* and other gram(-) psychrotrophic bacteria in raw milks. *J. Basic Microbiol.* 38, 129-134.
- Van Veen, J.A., Van Overbeek, L.S., and Van Elsas, J.D. (1997). Fate and activity of microorganisms introduced into soil. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61, 121-135.
- Vancura, V. (1988). Inoculation of plants with *Pseudomonas putida*. In *Interrelationships Between Microorganisms and Plants in Soil*, Vancura, V., and Kunc, F. eds., Elsevier Science Publishers. pp. 185-190.
- Weinel, C., Nelson, K.E., and Tummler, B. (2002). Global features of the *Pseudomonas putida* KT2440 genome sequence. *Environ. Microbiol.* 4, 809-818.
- Wu, H., Jiang, D., Cai, P., Rong, X., Dai, K., Liang, W., and Huang, Q. (2012). Adsorption of *Pseudomonas putida* on soil particle size fractions: effects of solution chemistry and organic matter. *Journal of Soils and Sediments* 12, 143-149.
- Wu, X., Monchy, S., Taghavi, S., Zhu, W., Ramos, J., and van, d.L. (2011). Comparative genomics and functional analysis of niche-specific adaptation in *Pseudomonas putida*. *FEMS Microbiol. Rev.* 35, 299-323.

- Yamamoto, S., Kasai, H., Arnold, D.L., Jackson, R.W., Vivian, A., and Harayama, S. (2000). Phylogeny of the genus *Pseudomonas*: intrageneric structure reconstructed from the nucleotide sequences of gyrB and rpoD genes. *Microbiology* 146, 2385-2394.
- Yang, C.H., Young, T., Peng, M.Y., and Weng, M.C. (1996). Clinical spectrum of *Pseudomonas putida* infection. *J. Formos. Med. Assoc.* 95, 754-761.
- Ye, L., Ballet, S., Hildebrand, F., Laus, G., Guillemyn, K., Raes, J., Matthijs, S., Martins, J., and Cornelis, P. (2013). A combinatorial approach to the structure elucidation of a pyoverdine siderophore produced by a *Pseudomonas putida* isolate and the use of pyoverdine as a taxonomic marker for typing *P. putida* subspecies. *Biometals* 26, 561-575.
- Yildiz, H.Y. (1998). Effects of experimental infection with *Pseudomonas fluorescens* on different blood parameters in carp (*Cyprinus carpio* L.). *Isr. J. Aquacult. Bamidgeh* 50, 82-85.
- Ying-Cheng, L., Chao-Kung, L., Ko-Hua, C., and Wen-Ming, H. (2006). Daytime orthokeratology associated with infectious keratitis by multiple gram-negative bacilli: *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas putida*, and *Pseudomonas aeruginosa*. *Eye Contact Lens* 32, 19-20.
- Yoshino, Y., Kitazawa, T., Kamimura, M., Tatsuno, K., Ota, Y., and Yotsuyanagi, H. (2011). *Pseudomonas putida* bacteremia in adult patients: five case reports and a review of the literature. *J. Infect. Chemother.* 17, 278-282.
- Zavizion, B., Serebryanik, D., Serebryanik, I., Chapman, J., and Purmal, A. (2003). Prevention of *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Pseudomonas putida* outgrowth in deliberately inoculated blood by a novel pathogen-reduction process. *Transfusion* 43, 135-142.
- Zhang, W., Chen, L., and Liu, D. (2012). Characterization of a marine-isolated mercury-resistant *Pseudomonas putida* strain SP1 and its potential application in marine mercury reduction. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 93, 1305-1314.
- Zhao, L., Huang, S. and Wei, Z. (2014). A demonstration of biofiltration for VOC removal in petrochemical industries. *Environ. Sci. Process Impacts* 16, 1001-1007.
- Zuberbuhler, B., and Carifi, G. (2012). *Pseudomonas putida* infection of the conjunctiva. *Infection* 40, 579-580.

A. Annexes

Annexe A. Croissance des souches ATCC 12633, 31800, 31483 et 700369 de *P. putida* dans différents milieux

Tableau A-1. Croissance de la souche ATCC 12633 de *P. putida* en milieu liquide à différentes températures

Milieu	28 °C	32 °C	37 °C	42 °C
Bouillon trypticase-soja	+	+	-	-
Sang de mouton défibriné à 100 %	-	-	-	-
Sérum de fœtus de bovin à 100 %	+	+	-	-
Milieu Eagle modifié de Dulbecco (avec sérum de fœtus de bovin, glucose et glutamine)	~	+	-	-

Données provenant du Bureau de la science de la santé environnementale et de la recherche de Santé Canada
 - : aucune croissance; + : croissance; ~ : faible croissance.

Tableau A-2. Croissance de la souche ATCC 31483 de *P. putida* en milieu liquide à différentes températures

Milieu	28 °C	32 °C	37 °C	42 °C
Bouillon trypticase-soja	+	~	-	-
Sang de mouton défibriné à 100 %	-	-	-	-
Sérum de fœtus de bovin à 100 %	+	+	-	-
Milieu Eagle modifié de Dulbecco (avec sérum de fœtus de bovin, glucose et glutamine)	~	-	-	-

Données provenant du Bureau de la science de la santé environnementale et de la recherche de Santé Canada
 - : aucune croissance; + : croissance; ~ : faible croissance.

Tableau A-3. Croissance de la souche ATCC 31800 de *P. putida* en milieu liquide à différentes températures

Milieu	28 °C	32 °C	37 °C	42 °C
Bouillon trypticase-soja	+	+	+	-
Sang de mouton défibriné à 100 %	-	-	-	-
Sérum de fœtus de bovin à 100 %	+	+	-	-
Milieu Eagle modifié de Dulbecco (avec sérum de fœtus de bovin, glucose et glutamine)	~	~	-	-

^a Données provenant du Bureau de la science de la santé environnementale et de la recherche de Santé Canada
 - : aucune croissance; + : croissance; ~ : faible croissance.

Tableau A-4. Croissance de la souche ATCC 700369 de *P. putida* en milieu liquide à différentes températures

Milieu	28 °C	32 °C	37 °C	42 °C
Bouillon trypticase-soja	+	+	~	-
Sang de mouton défibriné à 100 %	-	-	-	-
Sérum de fœtus de bovin à 100 %	+	+	~	-
Milieu Eagle modifié de Dulbecco (avec sérum de fœtus de bovin, glucose et glutamine)	~	~	-	-

Données provenant du Bureau de la science de la santé environnementale et de la recherche de Santé Canada
 - : aucune croissance; + : croissance; ~ : faible croissance.

Annexe B. Analyse des esters méthyliques d'acides gras des souches ATCC 12633, 31483, 31800 et 700369 de *P. putida*

Les données produites par la Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs de Santé Canada montrent la meilleure correspondance entre l'échantillon et les bases de données cliniques et environnementales MIDI et l'indice de similarité des profils des esters méthyliques d'acides gras (moyenne des correspondances) avec le nombre de correspondances (nombre de correspondances/nombre total de tests, parenthèses). Voir les méthodes et les détails à l'adresse : www.midilabs.com/fatty-acid-analysis. En règle générale, les échantillons groupés à l'intérieur d'une distance euclidienne de 2,5, 6 et 10 sont des échantillons de la même souche, sous-espèce et espèce, respectivement.

Tableau B-1. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 12633 de *P. putida*

Environnement Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)	Clinique Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)
8/21 <i>Pseudomonas putida</i> biotype A (0,861)	7/16 <i>Pseudomonas putida</i> biotype A (0,467)
6/21 sans correspondance	3/16 <i>Pseudomonas putida</i> biotype B (0,719)
4/21 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype A (0,700)	2/16 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotypes G et C (0,875)
1/21 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype B (0,908)	2/16 <i>Aeromonas veronii</i> GC sous-groupe B (biogroupe sobria) (0,128)
1/21 <i>Pseudomonas vancouverensis</i> (0,765)	2/16 sans correspondance
1/21 <i>Pseudomonas putida</i> biotype B (0,023)	sans objet
1/21 <i>Pseudomonas vancouverensis</i> (0,765)	sans objet
1/21 <i>Pseudomonas putida</i> biotype B (0,023)	sans objet

Tableau B-2. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 31483 de *P. putida*

Environnement Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)	Clinique Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)
20/24 <i>Pseudomonas putida</i> biotype A (0,577)	9/17 <i>Pseudomonas putida</i> biotype A (0,698)
2/24 sans correspondance	6/17 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotypes G et C (0,737)
1/24 <i>Variovorax paradoxus</i> GC sous-groupe A (<i>Alcaligenes paradoxus</i>) (0,700)	1/17 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype A
1/24 <i>Corynebacterium diphtheria</i> gravis et mitis (0,205)	1/17 sans correspondance

Tableau B-3. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 31800 de *P. putida*

Environnement Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)	Clinique Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)
10/21 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype C/P. mandelii (0,832)	5/5 <i>Chromobacterium violaceum</i> (0,605)
7/21 <i>Pseudomonas putida</i> biotype B (0,703)	sans objet
2/21 <i>Pseudomonas savastanoi fraxinus</i> (0,814)	sans objet
2/21 <i>Pseudomonas syringaetabaci</i> (0,870)	sans objet

Tableau B-4. Analyse des esters méthyliques d'acides gras de la souche ATCC 700369 de *P. putida*

Environnement Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)	Clinique Fréquence – Meilleure correspondance (indice de similarité)
10/17 <i>Pseudomonas putida</i> biotype A (0,557)	6/7 <i>Pseudomonas putida</i> biotype A (0,801)
5/17 sans correspondance	1/7 <i>Pseudomonas fluorescens</i> biotypes G et C (0,725)
1/17 <i>Paucimonas lemoignei</i> (0,317)	sans objet
1/17 <i>Pseudomonas chlororaphis</i> /aureofaciens/aurantiaca (0,389)	sans objet

Annexe C. Analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S des souches ATCC 12633, 31800, 31483 et 700369 de *P. putida*

Les données sur la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S ont été produites par la Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs de Santé Canada. Les séquences du gène de l'ARN ribosomique 16S des quatre souches de *P. putida* de la LIS ont été comparées à celles inscrites dans les bases de données *Microseq* et *Ribosomal Database project release 11* (Cole et coll., 2014), et les 10 meilleures correspondances sont indiquées dans le tableau. Le format des correspondances est le suivant : code d'identification, score de similarité (s'il y a lieu), score S ab, oligomères uniques communs et nom complet de la séquence.

Tableau C-1. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 12633 de *P. putida*

Code d'identification	Score Seqmatch	Oligomères uniques communs	Nom complet de la séquence
S000127497	0,999	1391	<i>Pseudomonas putida</i> ; KF715; AB109776
S000407787	0,996	1389	<i>Pseudomonas sp.</i> WSCIII; AY344806
S000428777	0,997	1388	<i>Pseudomonas putida</i> ; ATCC 12633; AF094736
S000428786	0,996	1379	<i>Pseudomonas putida</i> ; ATCC 11172; AF094745
S000558712	1,000	1400	uncultured bacterium; MP104-0916-b40; DQ088809
S000649419	0,999	1380	uncultured <i>Pseudomonas sp.</i> ; SQ9_Pitesti; DQ366089
S000774932	0,999	1395	<i>Pseudomonas sp.</i> OCR2; AB240201
S000976786	0,999	1397	uncultured <i>Pseudomonas sp.</i> ; AV_5N-G03; EU341207
S001004690	0,995	1229	uncultured bacterium; Ana200UA-10; EU499717
S001153798	0,993	1361	<i>Pseudomonas sp.</i> WMQ-7; EU807744

Les résultats de l'analyse Seqmatch corroborent l'identification de cette souche comme *P. putida*

Tableau C-2. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 31843 de *P. putida*

Code d'identification	Score Seqmatch	Oligomères uniques communs	Nom complet de la séquence
S000006483	0,997	1392	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> (T); FPC951; AB009457
S000434662	0,997	1418	<i>Pseudomonas sp.</i> HR 13; AY032725
S000752253	0,997	1393	<i>Pseudomonas sp.</i> BJS-X-1; EF068265
S000892479	0,997	1384	<i>Pseudomonas putida</i> ; ISSDS-590; EF620456
S001099019	0,997	1364	<i>Pseudomonas putida</i> ; AS01; EU661866
S001175076	0,997	1392	uncultured bacterium; E33; EU556988
S001794722	0,997	1424	<i>Pseudomonas monteillii</i> ; SB 3067; GU191931
S002199718	0,997	1394	uncultured <i>Pseudomonas sp.</i> ; CapF3B.10; HM152577
S002199755	0,997	1364	uncultured <i>Pseudomonas sp.</i> ; Filt.26; HM152614
S002199766	0,997	1364	uncultured <i>Pseudomonas sp.</i> ; Filt.37; HM152625

Les résultats de l'analyse Seqmatch montrent des correspondances avec *P. putida*, *P. plecoglossicida*, *P. monteillii* et d'autres espèces.

Tableau C-5. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 31800 de *P. putida*

Code d'identification	Score Seqmatch	Oligomeres uniques communs	Nom complet de la séquence
S000426303	0,970	1196	<i>Pseudomonas sp. E3</i> ; AY745742
S000536080	0,970	1399	<i>uncultured bacterium</i> ; rRNA003; AY958776
S000536117	0,974	1414	<i>uncultured bacterium</i> ; rRNA040; AY958813
S000536122	0,969	1415	<i>uncultured bacterium</i> ; rRNA045; AY958818
S000769445	0,971	1228	<i>Pseudomonas sp. RBE1CD-131</i> ; EF111137
S000901674	0,969	1405	<i>Pseudomonas veronii</i> ; MPU43; AB334768
S000980300	0,971	1411	<i>Pseudomonas sp. Hg4-06</i> ; EU304252
S001351336	0,970	1296	<i>Pseudomonas sp. IMER-B4-19</i> ; FJ796439
S001416054	0,968	1440	<i>Pseudomonas fluorescens SBW25</i> ; AM181176
S001575909	0,976	1319	<i>Pseudomonas sp. N54.43.896</i> ; GQ214545

Les résultats de l'analyse Seqmatch montrent des correspondances avec *P. veronii* et *P. fluorescens*.

Tableau C-6. Résultats de l'analyse de la séquence du gène de l'ARN ribosomique 16S de la souche ATCC 700369 de *P. putida*

Code d'identification	Score Seqmatch	Oligomères uniques communs	Nom complet de la séquence
S000537373	0,998	1404	<i>Pseudomonas putida</i> ; DQ060242
S000557499	0,998	1402	<i>Pseudomonas sp. ONBA-17</i> ; DQ079062
S000558711	0,998	1396	<i>uncultured bacterium</i> ; MP104-0927-b22; DQ088808
S000626304	0,998	1402	<i>Pseudomonas sp. PHD-8</i> ; DQ301785
S000711306	0,998	1365	<i>Pseudomonas putida</i> ; WAB1889; AM184230
S001095516	0,998	1374	<i>Pseudomonas taiwanensis (T)</i> ; BCRC 17751; EU103629
S001265294	0,998	1404	<i>Pseudomonas sp. BJQ-D4</i> ; FJ600361
S001577029	0,998	1405	<i>Pseudomonas sp. TSWCW20</i> ; GQ284465
S001577035	0,998	1408	<i>Pseudomonas sp. PCWCW2</i> ; GQ284471
S001794716	0,998	1428	<i>Pseudomonas monteillii</i> ; SB 3091; GU191925

Les résultats de l'analyse Seqmatch montrent des correspondances avec *P. putida*, *P. taiwanensis*, *P. monteillii* et d'autres espèces.

Annexe D. Liste des toxines et des métabolites secondaires produits par *P. putida*

Tableau D-7. Liste des toxines et des métabolites secondaires produits par *P. putida*

Toxines	Action	Références
Lipopolysaccharide (LPS), endotoxine	<ul style="list-style-type: none"> • Endotoxine associée aux bactéries à Gram négatif • Molécule amphiphile complexe essentielle aux fonctions de la paroi cellulaire, notamment dans les interactions hôte-pathogène • Facteur de virulence majeur du processus d'infection responsable de la dépolarisation de la membrane des grains du cervelet (type de neurone). Cause la réduction de deux importants flux de potassium qui dépendent du voltage. • Dans la septicémie, la composante lipidique A stimule la réponse immunitaire innée en se liant au récepteur LPS du phagocyte, ce qui active la libération des cytokines inflammatoires TNF, IL-1, IL-6, IL-8 et IL-12, qui, une fois dans la circulation, peuvent causer un choc septique. 	(Balaji et coll., 2004; Berndt et coll., 2003; Hernandez Duquino et Rosenberg, 1987; Yildiz, 1998)
Acide cyanhydrique	<ul style="list-style-type: none"> • Produit par des isolats cliniques de <i>P. aeruginosa</i> de patients atteints de fibrose kystique, lorsque la tension en oxygène est faible et la densité cellulaire, élevée, pendant la transition entre la phase exponentielle de croissance et la phase stationnaire. • Inhibiteur de la croissance des racines des plantes et d'un vaste éventail de composés. • Puissant inhibiteur de la respiration cellulaire produit en microaérobiose lorsque la densité cellulaire est élevée. • La concentration de cyanure est liée à l'altération de la fonction pulmonaire. 	(Blumer et Haas, 2000; Castric, 1983; Flores-Vargas et O'Hara, 2006; Pessi et Haas, 2000; Ryall et coll., 2008)
Pyoverdine	<ul style="list-style-type: none"> • Sidérophore fluorescent jaune-vert, de 	(Gross et

Toxines	Action	Références
	<p>haute affinité, spécifique des souches.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lorsque la quantité de fer est restreinte, la pyoverdine sécrétée permet la chélation du fer du milieu résultant en un complexe ferropyoverdine qui, grâce à un récepteur protéique situé à la surface de la bactérie, sera transporté à l'intérieur de la bactérie. 	Loper, 2009; Moon et coll., 2008)
Pyochéline	<ul style="list-style-type: none"> • Métabolite récupérateur de fer. 	(article de synthèse de Gross et Loper, 2009)
Pseudomonine	<ul style="list-style-type: none"> • Sidérophore secondaire à fonction similaire. Comprend un acide salicylique et deux acides aminés hétérocycliques. 	(article de synthèse de Gross et Loper, 2009)
Pyocines	<ul style="list-style-type: none"> • Agents antibactériens (actifs contre des souches ou des espèces étroitement apparentées) habituellement associés à <i>P. aeruginosa</i> et existant sous trois types (R, F et S). • Les pyocines de types R et F ressemblent à une queue de bactériophage. Les pyocines de type R ont une structure en forme de bâtonnet non flexible, mais contractile, et celles du type F sont en forme de bâtonnet flexible, mais non contractile. • Les pyocines de type R empêchent la synthèse des macromolécules, libèrent le matériel intracellulaire et entraînent la mort des cellules par dépolarisation de la membrane cytoplasmique. • La production commence lorsque les conditions du milieu entraînent des dommages à l'ADN aux températures optimales de croissance (37 °C). 	(Iwalokun et coll., 2006; Mavrodi et coll., 2009; Michel-Briand et Baysse, 2002)
Lipopeptides cycliques (comme la viscosine, le massetolide et l'orfamide)	<ul style="list-style-type: none"> • Classe de composés de structures différentes contenant des résidus d'acyles gras de C₅-C₁₆ de longueur et des chaînes de 7-25 acides aminés, dont 4-14 en anneau lactone. 	(article de synthèse de Gross et Loper, 2009)

Toxines	Action	Références
	<ul style="list-style-type: none"> • Divisés en 6 groupes : viscosine, syringomycine, amphisine, putisolvine, tolaasine et syringopeptine. • Abaissent la tension superficielle et altèrent l'intégrité de la membrane cellulaire en raison de leurs propriétés amphiphiles. • Augmentent la biodisponibilité des substrats insolubles dans l'eau, favorisent l'essaimage et accroissent la virulence ou l'antagonisme à l'égard d'autres micro-organismes. 	
Pyrrrolnitrine	<ul style="list-style-type: none"> • Forte activité antifongique qui inhibe la chaîne respiratoire des champignons. • Composé utilisé comme antimycosique topique chez l'humain. 	(article de synthèse de Gross et Loper, 2009)
Phénazines	<ul style="list-style-type: none"> • Cette famille de composés comprend plus de 50 molécules azotées, tricycliques, colorées. • Activités antibiotiques, antitumorales et antiparasitiques dues à leurs interactions avec des polynucléotides; substances inhibant la topoisomérase et générant des radicaux libres. • Substances de signalisation intracellulaire influant sur la régulation de la transcription et ayant des effets généraux sur la physiologie et l'adaptabilité des bactéries. 	(article de synthèse de Gross et Loper, 2009)
Pyolutéorine	<ul style="list-style-type: none"> • Substance comportant un dichloro-pyrrole lié à un groupement résorcinol. • Possède des propriétés antifongiques. • Modère les maladies des végétaux causées par d'autres pathogènes comme les champignons oomycètes. 	(Hammer et coll., 1997; Nowak-Thompson et coll., 1999)