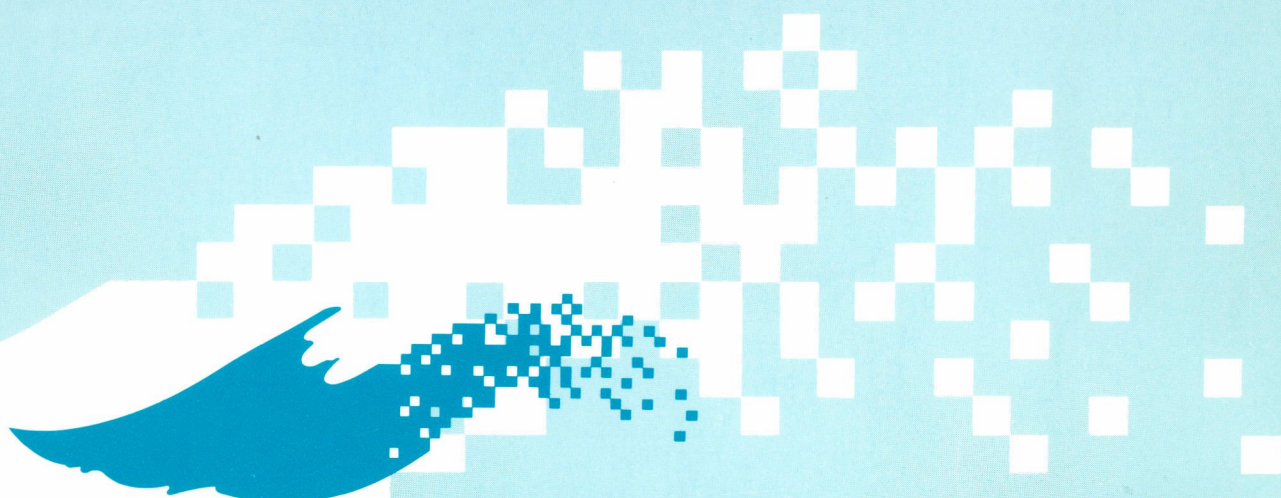
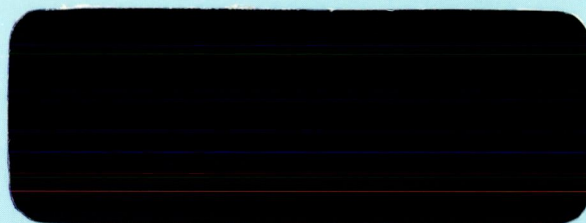


Centre Saint-Laurent

St. Lawrence Center



PLAN D'ACTION SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE ACTION PLAN

243695

SC3506
V35e



Environnement
Canada

Conservation
et Protection

Environment
Canada

Conservation
and Protection

CSL-1925
SC 3506 V35e

Examen de la sensibilité et de la
réplicabilité des bioessais
canadiens et américains utilisés
pour le dépistage de la toxicité
d'effluents industriels complexes



**Examen de la sensibilité et de la répliquabilité
des bioessais canadiens et américains utilisés pour le
dépistage de la toxicité d'effluents industriels complexes**

Raymond van Coillie^{1,5}, Norman Bermingham¹,
Patsy Thompson³, Christian Harvey²,
Raynald Chassé², Daniel Cluis²,
Pierre Couture^{2,3}, Richard Scroggins⁴,
Yves Roy^{5,6}, Pamela Wishart⁶

Février 1991

¹Environnement Canada, Conservation et Protection, Région du Québec, Centre Saint Laurent, Section d'Écotoxicologie, 1001 rue Pierre Dupuy, Longueuil, Québec, G1V 1A1, Canada.

²Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau, 2700 rue Einstein, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7, Canada.

³Université du Québec à Rimouski, Bureau du Doyen des études avancées et de la recherche, 300 Allée des Ursulines, Rimouski, Québec, G5L 3A1, Canada.

⁴Environnement Canada, Conservation et Protection, Bureau central, Direction des programmes industriels, Place Vincent Massey, 351 rue Saint-Joseph, Hull, Québec, Canada.

⁵Analex Inc., 3025 Montée Saint-Aubin, Laval, Québec, H7L 4E4, Canada.

⁶Technitrol-Eco, 121 boulevard Hymus, Pointe Claire, Québec, H9R 1E6, Canada.

Résumé

L'évaluation des dangers environnementaux consiste à dépister la toxicité d'un effluent au moyen de tests de toxicité aiguë et chronique et de génotoxicité. À cette fin, les agences canadienne (Environnement Canada) et américaine (U.S. Environmental Protection Agency) de protection de l'environnement ont adopté des bioessais faisant appel à des organismes et à des paramètres différents. Dans ce contexte, la présente étude a évalué la sensibilité et la répliquabilité de 20 bioessais pour 8 types d'effluents industriels.

Des analyses statistiques univariées (classification des bioessais selon une cote de sensibilité relative) et multi-dimensionnelles (analyse en composantes principales et analyse de groupe) des résultats des bioessais montrent que, parmi les bioessais dont la réponse calculée est une CE_{50} , les seuls à être sensibles aux effluents sont ceux mesurant la mortalité du cladocère Daphnia pulex et l'inhibition de la croissance de l'algue Selenastrum capricornutum. De plus, les bioessais mesurant la plus faible concentration "LOEC" à laquelle est observée une diminution du taux d'éclosion des oeufs embryonnés du méné Tête de Boule Pimephales promelas et du taux de reproduction du cladocère Ceriodaphnia dubia apparaissent intéressants pour le dépistage de la toxicité des rejets industriels.

Parmi les tests de génotoxicité étudiés (SOS Chromotest, Test d'Ames, échange de chromatides soeurs), le test d'échange des chromatides soeurs s'est avéré le plus sensible tandis que le SOS Chromotest s'est avéré le moins sensible.

Table des matières

	<u>Page</u>
Résumé	i
Liste des tableaux	v
Liste des figures	x
Note préliminaire	xii
1. Introduction	1
2. Matériel et méthodes	2
2.1 Identification des industries	2
2.2 Échantillonnage des effluents	2
2.3 Eau de dilution	6
2.4 Tests de toxicité et de génotoxicité effectués avec les effluents	8
2.5 Traitement des résultats	8
2.5.1 Sensibilité des tests de toxicité	8
2.5.2 Réplicabilité des tests de toxicité	15

3.	Résultats	15
3.1	Sensibilité des divers bioessais	15
3.1.1	Sensibilité relative et similitude de comportement des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	15
3.1.2	Sensibilité relative et similitude de comportement des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	21
3.2	Répliquabilité des tests de toxicité	26
3.3	Toxicité des effluents	32
3.4	Génotoxicité des effluents	47
4.	Conclusion	47

Liste des tableaux

	<u>Page</u>
Tableau 1: Identification par procédé industriel des usines ayant participé à l'étude.....	4
Tableau 2: Caractéristiques d'échantillonnage des effluents.....	5
Tableau 3: Caractéristiques chimiques et physiques de l'eau de dilution.....	7
Tableau 4: Tests de toxicité aiguë effectués avec les effluents.....	9
Tableau 5: Tests de toxicité chronique effectués avec les effluents.....	11
Tableau 6: Tests de génotoxicité effectués avec les effluents.....	12
Tableau 7: Cotes de classification des bioessais en fonction de leur sensibilité relative.....	14
Tableau 8: Toxicité relative des effluents obtenue au moyen de bioessais dont la réponse est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	17

Tableau 9:	Coefficients directeurs pour les bioessais à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	18
Tableau 10:	Matrice de corrélations pour les bioessais à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	19
Tableau 11	Cotes de sensibilité attribuées aux bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	23
Tableau 12a:	Toxicité relative des divers effluents et cotes de sensibilité des bioessais dont la réponse est la concentration effective entraînant 50% de mortalité ou une réduction de 50% du paramètre mesuré (CE_{50}): toxicité relative des divers effluents exprimée en CE_{50}	24

Tableau 12b:	Toxicité relative des divers effluents et cotes de sensibilité des bioessais dont la réponse est la concentration effective entraînant 50% de mortalité ou une réduction de 50% du paramètre mesuré (CE_{50}): cotes de sensibilité attribuée aux divers bioessais	25
Tableau 13:	Coefficients directeurs pour les bioessais à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	30
Tableau 14:	Matrice de corrélations pour les bioessais à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	31
Tableau 15:	Analyse de la variabilité des résultats de bioessais aigus effectués avec les effluents	33
Tableau 16:	Analyse de la variabilité des résultats de bioessais chroniques effectués avec les effluents.....	35

Tableau 17:	Analyse de la répliquabilité et comparaison des médianes des coefficients de variation des bioessais regroupés en fonction des types d'organismes utilisés.....	37
Tableau 18:	Coefficients directeurs pour les effluents à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	39
Tableau 19:	Matrice de corrélations pour les effluents à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	41
Tableau 20:	Coefficients directeurs pour les effluents à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	43
Tableau 21:	Matrice de corrélations pour les effluents à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse mesurée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	44

Tableau 22a:	Résultats de génotoxicité obtenus avec le SOS chromotest effectué avec les effluents: sans S9 (T17).....	48
Tableau 22b:	Résultats de génotoxicité obtenus avec le SOS chromotest effectué avec les effluents: avec S9 (T17).....	49
Tableau 23:	Résultats des tests de mutagénicité et de tératogénécité effectués avec les effluents	50

Liste des figures

	<u>Page</u>
Figure 1: Similitude des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	20
Figure 2: Sensibilité relative des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC) et toxicité relative des effluents déterminée au moyen de ces bioessais.....	22
Figure 3: Sensibilité relative des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'efffet (CE_{50}).....	27
Figure 4: Similitude des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	28
Figure 5: Représentation graphique des coefficients directeurs pour les bioessais dont les résultats sont présentés en terme de (CE_{50}).....	29

Figure 6:	Toxicité relative des effluents déterminée au moyen des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	38
Figure 7:	Similitude des effluents lorsque leur toxicité est déterminée au moyen des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).....	42
Figure 8:	Représentation graphique des coefficients directeurs pour les effluents industriels lorsque leur toxicité est évaluée avec les CE_{50}	44
Figure 9	Similitude des effluents lorsque leur toxicité est déterminée au moyen des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).....	46

Note préliminaire

Afin de ne pas alourdir le texte avec de nombreuses références techniques, celles-ci n'y sont pas mentionnées. Elles sont citées dans deux études détaillées préalables à la présente, à savoir:

Environment Canada. 1990. "Comparison of american and canadian bioassays for complex waste waters." Environment Canada, Conservation and Protection, Industrial Program Branch, Place Vincent Massey, 351 rue Saint Joseph, Hull, Québec, Canada.

Van Coillie, R., Bermingham, N., Blaise, C., Vézeau, R. et Plumier, Y. 1990. Développement d'une démarche interdisciplinaire progressive d'évaluation des effluents." Environnement Canada, Centre Saint-Laurent, Section d'écotoxicologie, 1001 rue Pierre Dupuy, Longueuil, Québec, J4K 1A1, Canada.

1. Introduction

Les agences gouvernementales, tant canadienne qu'américaine, font appel à une variété de tests biologiques dans le but d'évaluer les impacts environnementaux des effluents déversés dans les cours d'eau.

D'une part, l'agence américaine de protection de l'environnement (U.S. EPA) a établi des critères nationaux de qualité de l'eau (National Ambient Water Quality Criteria) basés sur des mesures de toxicité aiguë et chronique, et de génotoxicité. La toxicité aiguë est déterminée au moyen d'une valeur de $CL_{50} - 96 \text{ h}$ (concentration d'effluent tuant 50% des individus en 96 h) utilisant une espèce de poisson, Pimephales promelas, le Tête de Boule (Fathead minnow) et deux espèces de cladocères (Daphnia pulex et Ceriodaphnia dubia). Pour leur part, les effets chroniques sont évalués à partir des mesures des taux de survie et d'inhibition de la reproduction d'organismes tels que le cladocère Ceriodaphnia dubia, le Tête de Boule Pimephales promelas ainsi que l'algue verte Selenastrum capricornutum. La génotoxicité est déterminée au moyen d'un test bactérien, le test d'Ames, et d'un test de tératogénéicité utilisant l'alevin du Tête de Boule.

D'autre part, Environnement Canada base son évaluation de la toxicité des effluents principalement sur les résultats de tests aigus. À cet effet, le test de létalité ($CL_{50} - 96 \text{ h}$) utilisant la truite arc-en-ciel Salmo gairdneri ainsi que le test Microtox® (atténuation de la lumière émise par une bactérie Photobacter phosphoreum) sont utilisés de façon routinière. Toutefois, le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada développe une approche plus large pour l'évaluation de la toxicité des effluents. La première étape de ce processus d'évaluation des

dangers environnementaux consiste à dépister la toxicité d'un effluent au moyen d'un test de toxicité aiguë, d'un test de toxicité sublétales et d'un test de génotoxicité effectués sur l'effluent original ou filtré. Un effluent qui apparaît toxique à cette première étape est par la suite biodégradé à l'aide de microorganismes aérobies et/ou bioaccumulé par des algues. Cet effluent "traité" est ensuite soumis aux tests de toxicité et de génotoxicité utilisés lors de la première étape.

Les objectifs de la présente étude sont:

- a) évaluer la sensibilité de divers bioessais vis-à-vis divers types d'industriels;
- b) vérifier la répliquabilité de ces bioessais.

2. Matériel et méthodes

2.1 Identification des industries

Des usines représentant divers types de procédés industriels (tableau 1) ont été retenues dans le cadre de la présente étude. Cinq étaient situées au Canada et trois aux États-Unis. Le débit et l'origine de l'effluent ainsi que le type de traitement reçu par l'effluent sont identifiés au tableau 2.

2.2 Échantillonnage des effluents

Dans le cas des industries canadiennes (voir tableaux 1 et 2: CO_x), des échantillons composés d'effluents (24 h) ont été récoltés au moyen d'un échantillonneur automatique Manning.

Tableau 1: Identification par procédé industriel des usines ayant participé à l'étude

Industries (Notre code)	Numéros C.T.I.*	Produits
Produits organiques A (CO ₁)	2869, 2824 2819, 2821	Hexaméthylènediamine, résines, acide adipique, fibre Spandex, hydrocarbures fluo- rés, peroxyde d'hydrogène
Produits organiques B (A ₂)	2821	Chlorure de polyvinyle, résines
Papetière Kraft (CO ₄)	2611, 2421 2621	Pâte blanchie Kraft, papiers fins, bois de charpente
Aluminerie (CO ₇)	3334, 2819 3295, 2812 3399, 3312	Lingots d'aluminium, trifluo- rure d'aluminium, sulfate d'aluminium, cryolite, alumine, granules d'alumi- nium, alpate, coke, anthra- cite, anodes cuites, cathodes
Acierie A (CO ₅)	3312, 3325 3313	Produits d'acier roulé, moules d'acier, acier roulé à chaud et à froid, plaques d'étain, acier galvanisé, fonte en gueuse, aciers électriques, produits de four à coke

* C.I.T.: Classification type des industries (Standard Industrial Classification)

Tableau 1: Identification par procédé industriel des usines ayant participé à l'étude (suite)

Industries (Notre code)	Numéros C.T.I.*	Produits
Acierie B (A ₁)	3312, 3313 3315, 3316 3351	recyclage de fer usagé
Placage métallique (A ₃)	2819	placage métallique
Mine Zn/Cu (CO ₃)	3331, 3339 3333, 3332 2819	cuivre, argent, zinc, cadmium, concentrés de zinc, de plomb, d'étain et d'or, acide sulfurique

* C.I.T.: Classification type des industries (Standard Industrial Classification)

Tableau 2: Caractéristiques d'échantillonnage des effluents

Industries	Débits des effluents (L.h ⁻¹)	Sources des effluents	Traitements subis par les effluents
Produits organiques A (CO ₁)	$5.0 - 9.1 \times 10^6$	Effluent principal après traitement.	Étang standard d'aération.
Produits organiques B (A ₁)	2×10^4	Effluent de résines neutralisées à la chaux.	Traitement secondaire avec 5 étangs d'aération; temps de rétention 3 à 5 jours.
Papetière Kraft (CO ₄)	3.12×10^6	Effluent principal après traitement.	Clarification primaire avec rétention de 3.5 heures, suivie d'un étang d'aération secondaire avec rétention de 12 jours.
Aluminerie (CO ₇)	3.9×10^5	Un effluent parmi plusieurs.	Aucun pour l'effluent échantillonné.
Aciérie A (CO ₅)	1.42×10^7	Un effluent parmi plusieurs.	Effluent traité avec une unité d'oxydation biologique.
Aciérie B (A ₁)	2.5×10^7	Eau de procédé.	Trois lagunes de rétention avec récupération des huiles dans la première et de l'acide de dérouillage dans la seconde et ensuite décharge à la rivière après 24 heures de rétention.
Placage métallique (A ₃)	3.5×10^5	Mélange des effluents.	Pré-traitement primaire par neutralisation à la chaux et clarification au moyen d'un polymère.
Mine Zn/Cu (CO ₃)	1.8×10^6	Effluent principal après traitement.	Déchets liquides et solides épaissis et traités à la chaux.

L'échantillonneur, réglé pour prélever 500 mL d'effluent à chaque 3.6 min, distribuait un total de 200 L d'effluent par 24 h à deux barils en polyéthylène de 45 gallons. À la fin de la période d'échantillonnage, l'effluent était réparti dans des seaux en polyéthylène de 20 L. Les échantillons d'effluent devant servir aux analyses de composés organiques étaient récoltés au moyen d'un seau en acier inoxydable. Ils étaient ensuite répartis dans des contenants en verre. Ceux-ci étaient remplis complètement afin de minimiser la perte de composés volatiles.

Les effluents américains (voir tableaux 1 et 2: A_x) ont été récoltés

sur une période de 3 à 4 heures et conservés dans des contenants en verres.

Le transport de chaque effluent a été effectué à une température de 4°C.

2.3 Eau de dilution

Afin de minimiser les différences dans les protocoles et de permettre les comparaisons inter-laboratoires, tous les effluents ont été dilués pour les besoins des divers bioessais avec de l'eau déchlorée provenant de la ville de Chicago. Les caractéristiques physiques et chimiques de cette eau de dilution apparaissent au tableau 3.

Ce choix a été décidé après que des essais préliminaires avec différentes eaux aient démontré que l'eau de Chicago était la seule dans laquelle tous les organismes se développaient

Tableau 3: Caractéristiques chimiques et physiques de l'eau de dilution

Paramètres	Concentrations [*]
Chlorures	10.6
Solides totaux	172
Solides en suspension	45
Solides dissous	127
Conductivité ($\mu\text{ms/cm}$)	300
pH (unité)	7.7
Azote ammoniacal	<0.1
Carbone organique total	5.5
Dureté	148
Cyanures	<0.01
Sulfures	<0.01
Phosphore total	<0.03
Mercure	<0.1
Arsenic	<1.2
Plomb	12
Cuivre	<50
Chrome	8
Nickel	8
Aluminium	<100
Zinc	<30
Fer	<20
Manganèse	<20
Magnésium	9880
Cadmium	<7

* Toutes les concentrations sont exprimées en mg.L^{-1} sauf lors d'indications contraires

2.4 Tests de toxicité et de génotoxicité effectués avec les effluents

Divers bioessais visant à évaluer la toxicité aiguë et chronique ainsi que la génotoxicité des effluents ont été effectués selon les protocoles préconisés par les agences gouvernementales canadienne (région du Québec) et américaine. Les biotests ainsi que les réponses calculées pour chacun sont identifiés aux tableaux 4, 5 et 6.

2.5 Traitement des résultats

2.5.1 *Sensibilité des tests de toxicité*

L'analyse de la sensibilité a d'abord été effectuée par une classification univariée des divers bioessais qui permet d'attribuer une cote de sensibilité à chacun des tests. Ensuite, afin de dégager les similitudes de comportement des divers bioessais, une analyse multi-dimensionnelle a été faite sur les cotes de sensibilité attribuées aux divers tests.

a) Classification univariée: deux groupes de bioessais ont été considérés dans le cadre de cette analyse. Le premier concerne les bioessais dont la réponse calculée est la concentration effective entraînant 50% d'effet sous forme de mortalité ou de réduction de la croissance (CL_{50} et CE_{50} : tableaux 4 et 5); le deuxième regroupe ceux dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC: tableau 5).

Tableau 4: Tests de toxicité aiguë effectués avec les effluents

Bioessais (Paramètres) (notre code)	Réponses mesurées	Agences utilisatrices
<u>Truite arc-en-ciel</u> <u>Salmo gairdneri</u> , 96h (léthalité) (T9)	CL ₅₀	Env. Can.
<u>Tête de boule</u> <u>Pimephales promelas</u> , 96h (léthalité) (T10)	CL ₅₀	U.S. EPA
<u>Cladocère</u> <u>Daphnia pulex</u> , 48h (mobilité) (T11)	CE ₅₀	U.S. EPA
<u>Cladocère</u> <u>Ceriodaphnia dubia</u> , 48h (léthalité) (T12)	CL ₅₀	U.S. EPA
<u>Microtox®</u> <u>Photobacter phosphoreum</u> 5 min. (bioluminescence) (T13)		
FCS*	CE ₅₀	Env. Can.
BCS*	CE ₅₀	Env. Can.
FCSBKE*	CE ₅₀	Env. Can.
BCSBKE*	CE ₅₀	Env. Can.
<u>Microtox®</u> <u>Photobacter phosphoreum</u> 15 min. (bioluminescence) (T14)		
FCS*	CE ₅₀	Env. Can.
BCS*	CE ₅₀	Env. Can.
FCSBKE*	CE ₅₀	Env. Can.
BCSBKE*	CE ₅₀	Env. Can.
<u>Algue</u> <u>Selenastrum capricornutum</u> , 96h (croissance)		
Microplaque (T15)	CE ₅₀	Env. Can.
Firole (T16)	CE ₅₀	Env. Can.

* Voir page 10 pour la signification des abréviations

Signification des abréviations

- S9: fraction microsomale mammélienne (hépatocytes de rat) avec diverses enzymes du métabolisme
- FCS: effluent filtré
- FCKE: résidu de l'effluent filtré + extraction organique ultérieure
- FCSE: effluent filtré + extraction organique ultérieure
- FCSBKE: effluent filtré et ensuite bioaccumulé dans des algues Selenastrum capricornutum + extraction organique ultérieure
- FCSB: effluent filtré et ensuite bioaccumulé dans des algues Selenastrum capricornutum; portion non bioaccumulée
- FCSBSE: effluent filtré et ensuite bioaccumulé dans des algues Selenastrum capricornutum; portion non bioaccumulée + extraction organique ultérieure
- BCS: effluent biodégradé et ensuite filtré
- BCKE: résidu de l'effluent biodégradé et ensuite filtré + extraction organique ultérieur
- BCSE: effluent biodégradé et ensuite filtré + extraction organique ultérieur
- BCSBKE: effluent biodégradé, filtré et ensuite bioaccumulé dans des algues Selenastrum capricornutum + extraction organique
- BCSB: effluent biodégradé, filtré et ensuite biodégradé dans des algues Selenastrum capricornutum; portion non bioaccumulée
- BCSBSE: effluent biodégradé, filtré et ensuite biodégradé dans des algues Selenastrum capricornutum; portion non bioaccumulée + extraction organique ultérieure

Tableau 5: Tests de toxicité chronique effectués avec les effluents

Bioessais (Paramètres) (notre codes)	Réponses mesurées	Agences utilisatrice
Truite arc-en-ciel <u>Salmo gairdneri</u> , 96h (ATP musculaire) (T1)	LOEC	Env. Can.
Tête de boule <u>Pimephales promelas</u> , 7j (survie des alevins) (T3) (croissance des alevins) (T2)	LOEC LOEC	U.S. EPA U.S. EPA
Tête de boule <u>Pimephales promelas</u> , 8j (éclosion) (T4) (survie des alevins) (T5)	LOEC LOEC	U.S. EPA U.S. EPA
Cladocère <u>Ceriodaphnia dubia</u> , 7j (reproduction) (T6) (survie) (T7)	LOEC LOEC	U.S. EPA U.S. EPA
Algue <u>Selenastrum capricornutum</u> , 96h (croissance) (T8) FCS* BCS* FCSBKE* BCSBKE*	CE ₅₀ CE ₅₀ CE ₅₀ CE ₅₀	U.S. EPA U.S. EPA U.S. EPA U.S. EPA

* Voir page 10 pour la signification des abréviations

Tableau 6: Tests de génotoxicité effectués avec les effluents

Bioessais (Paramètres) (notre code)	Réponses mesurées	Agences utilisatrices
Bactérie		
<u>Escherichia coli</u>		
<u>"SOS Chromotest" avec ou sans S9*</u>		
(réparation d'ADN suite à une agression génotoxique) (T17)		
Sans biodégradation	FCS* Toxicité, génotoxicité	Env. Can.
	FCKE* Toxicité, génotoxicité	"
	FCSE* Toxicité, génotoxicité	"
	FCSBKE* Toxicité, génotoxicité	"
	FCSB* Toxicité, génotoxicité	"
	FCSBSE* Toxicité, génotoxicité	"
Avec biodégradation	BCS* Toxicité, génotoxicité	"
	BCKE* Toxicité, génotoxicité	"
	BCSE* Toxicité, génotoxicité	"
	BCSBKE* Toxicité, génotoxicité	"
	BCSB* Toxicité, génotoxicité	"
	BCSBSE* Toxicité, génotoxicité	"
Bactérie		
<u>Salmonella typhimurium</u>		
(mutagénicité) (T18)		
Test d'Ames avec ou sans S9*	Mutagénécité	U.S. EPA
Cellules mamméliennes		
Échange de chromatides		
soeurs. (T19)		
Génotoxicité		
U.S. EPA		
Tête de boule (alevin)		
<u>Pimephales promelas</u>		
(Tératogénécité) (T20)		
Tératogénécité		
U.S. EPA		

* Voir page 10 pour la signification des abréviations

Les valeurs obtenues (LOEC, CL₅₀ ou CE₅₀) avec l'ensemble des effluents ont été subdivisées en classe d'intervalle régulier selon la règle de Yule:

$$\text{Nombre de classe} = 2.5n^{\frac{1}{4}}$$

où n représente le nombre d'observations par groupe. L'intervalle de classe est obtenu en divisant l'étendue de la variation (écart entre la plus grande et la plus petite valeur) par le nombre de classes obtenu. Un rang a ensuite été attribué à chaque classe de façon à codifier, sur une base qualitative, la sensibilité de chaque bioessai. La cote zéro a été assignée à l'intervalle de la plus grande sensibilité. Le tableau 7 présente les intervalles de classe ainsi que leur cote relative de sensibilité.

Par la suite, une cote moyenne des réponses obtenues (LOEC, CL₅₀ ou CE₅₀) a été calculée pour chaque effluent et chaque bioessai, ce qui permet de considérer les effluents par ordre décroissant de toxicité et les bioessais par ordre décroissant de sensibilité.

b) Analyse multi-dimensionnelle: l'analyse en composantes principales et l'analyse des groupes ont été appliquées pour regrouper les bioessais ou les effluents et mettre en évidence les éléments les plus significatifs et les similitudes de comportements.

La technique utilisée pour l'analyse de groupe est celle du "lien simple" (single linkage) dite agglomérative et procède par regroupements successifs (effluents ou bioessais) sous forme de dendogrammes.

Tableau 7: Cotes de classification des bioessais en fonction de leur sensibilité relative

Cotes	Intervalles des CL_{50} , CE_{50} ou LOEC en %
0	0-15
1	15-30
2	30-45
3	45-69
4	60-75
5	75-90
6	90-100
7	non-toxique

2.5.2 *Répliquabilité des tests de toxicité*

La répliquabilité examine la variabilité des résultats successifs obtenus sur un même échantillon lorsque le bioessai est réalisé dans les mêmes conditions.

Elle a été évaluée au moyen d'une analyse des coefficients de variation (CV) tels que déterminés par l'équation suivante:

$$CV\% = (Sx/\bar{X})100$$

où Sx : écart-type de l'échantillon

$\bar{X}$: moyenne de l'échantillon

La variabilité, considérée comme un indice de la répliquabilité, a été classée comme faible pour $CV < 10\%$, moyenne pour $10 \leq CV < 20\%$, élevée pour $20 \leq CV \leq 30\%$ ou très élevée pour $CV > 30\%$.

3. **Résultats**

3.1 Sensibilité des divers bioessais

3.1.1 *Sensibilité relative et similitude de comportement des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).*

Les résultats des quatre bioessais (7 paramètres mesurés; réponse exprimée en LOEC) réalisés avec les effluents industriels sont présentés au tableau 8.

Tableau 8: Toxicité relative des effluents obtenue au moyen de bioessais dont la réponse est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC)

BIOESSAIS			EFFLUENTS							
Description		Codes d'identification	Produits organique A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Truite arc-en-ciel, <u>Salmo gairdneri</u> ATP musculaire		T1	40%	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Méné Tête de Boule, Alevin, <u>Pimephales promelas</u>	croissance	T2	-	-	-	100%	NS	NS	NS	10%
	survie, 7j	T3	-	-	100%	NS	NS	NS	100%	3%
Méné Tête de Boule, embryon/alevin, <u>Pimephales promelas</u>	éclosion	T4	10%	NS	60%	30%	NS	NS	10%	10%
	survie, 8j	T5	10%	NS	60%	NS	NS	NS	100%	10%
Cladocère, <u>Ceriodaphnia dubia</u>	reproduction	T6	10%	12.5%	25%	-	NS	NS	-	-
	survie	T7	NS	100%	NS	-	NS	50%	100%	1.6%

NS: non-significatif (les concentrations utilisées ne permettent pas de déceler de toxicité); - : aucune donnée disponible

Une analyse en composante principales effectuées sur l'ensemble de ces données montre que les deux premières composantes expliquent 82% de la variance totale dont 52% correspond à la première composante. Celle-ci est principalement liée aux bioessais examinant la survie et la croissance de l'alevin de la Tête de Boule Pimephales promelas (tests T2 et T3) et la survie de l'embryon de cette espèce (test T5); la deuxième composante discrimine surtout les bioessais examinant l'ATP musculaire de la truite arc-en-ciel (T1) et l'inhibition de la reproduction et la survie de Ceriodaphnia dubia (T6 et T7) (tableau 9). La matrice de corrélation générée par cette analyse suggère que les bioessais évaluant la survie et la croissance de l'alevin de la Tête de Boule Pimephales promelas (T2 et T3) ainsi que la survie du cladocère Ceriodaphnia dubia (T7) présentent des comportements forts similaires face à l'ensemble des effluents (tableau 10).

Toutefois, cette analyse n'explique guère l'influence du type d'organisme et du paramètre mesuré dans un bioessai face à un ensemble d'effluents, sauf pour l'association du premier axe aux bioessais qui utilisent la Tête de Boule Pimephales promelas (T2, T3 et T5) comme organisme cible. Le dendrogramme illustrant le degré de similitude entre les bioessais (figure 1) confirme cette association en regroupant les bioessais T2, T3 et T5. On remarque également que les bioessais mesurant l'ATP musculaire de la truite arc-en-ciel Salmo gairdneri (T1), la reproduction et la survie de Ceriodaphnia dubia (T6 et T7) ainsi que l'éclosion des oeufs de la Tête de Boule Pimephales promelas (T4) répondent de façon différente à chacun des effluents, à l'exception des effluents de l'aciérie A et de l'aluminerie pour lesquels tous les bioessais sauf le test de survie de Ceriodaphnia dubia (T7) ne présentent aucune sensibilité.

Tableau 9: Coefficients directeurs pour les bioessais à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composante principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC)

Première composante		Deuxième composante	
Variables [*]	Coeff.directeurs	Variables	Coeff.directeurs
T3	0.48	T1	0.58
T2	0.47	T7	-0.44
T5	0.44	T6	0.40
T4	0.38	T4	0.33
T7	0.36	T3	-0.29
T6	0.25	T5	0.27
T1	0.10	T2	-0.23

* Voir le tableau 8 (p.: 16) pour les codes d'identification des bioessais

Tableau 10: Matrice de corrélation pour les bioessais à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC)

	T1 [*]	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T1	1.0	-0.16	-0.13	0.41	0.62	0.31	-0.28
T2		1.0	0.96	0.44	0.58	0.20	0.84
T3			1.0	0.48	0.66	0.28	0.80
T4				1.0	0.68	0.63	0.18
T5					1.0	0.46	0.34
T6						1.0	-0.11
T7							1.0

* Voir le tableau 8 (p.: 16) pour les codes d'identification des bioessais

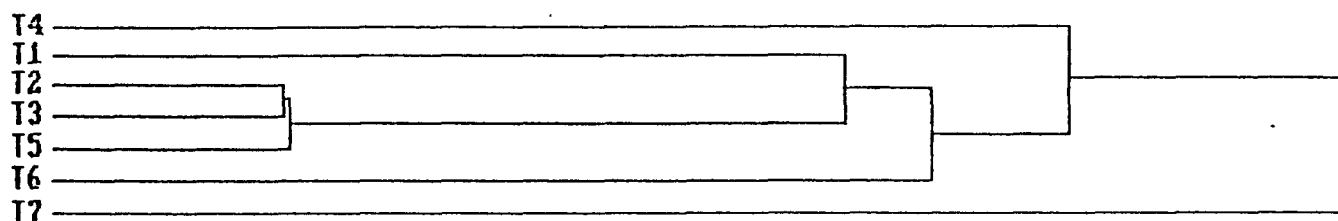


Figure 1: Similitude des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC): la signification des codes T1 à T7 apparaît au tableau 8 (p.: 16)

Une classification univariée des bioessais avec réponse LOEC ainsi qu'une représentation graphique de la cote moyenne de sensibilité obtenue par chaque bioessai permettent de mieux visualiser les tendances mises en évidence par les analyses multi-dimensionnelles. Les résultats montrent que, pour l'ensemble des effluents, le bioessai (T1) mesurant l'ATP musculaire de la truite arc-en-ciel Salmo gairdneri est insensible à la majorité des effluents, entre autres à l'effluent de l'usine d'électro-placage A3 qui s'est avéré très toxique pour la majorité des organismes et paramètres mesurés (figure 2; tableau 11).

Les tests mesurant la survie et la croissance d'alevins de la Tête de Boule Pimephales promelas (T2, T3), la survie d'embryons de cette espèce (T5) ainsi que la survie de Ceriodaphnia dubia (T7) présentent généralement une faible sensibilité vis-à-vis des effluents testés (figure 2A; tableau 11).

Les tests d'inhibition de la reproduction de Ceriodaphnia dubia (T6) et d'éclosion de Pimephales promelas (T4) présentent une sensibilité variable aux divers effluents (figure 2A; tableau 11).

3.1.2 *Sensibilité relative et similitude de comportement des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}).*

La toxicité des effluents testés, exprimée en CE_{50} et présentée au tableau 12A, ainsi que la représentation graphique des cotes de sensibilité relative attribuées à ces bioessais (tableau 12B) montrent que la majorité des bioessais sont insensibles à l'ensemble des effluents sauf à celui provenant de l'effluent de l'usine d'électro-placage A3. Seuls les tests d'inhibition de la croissance de Selenastrum capricornutum (T8) et

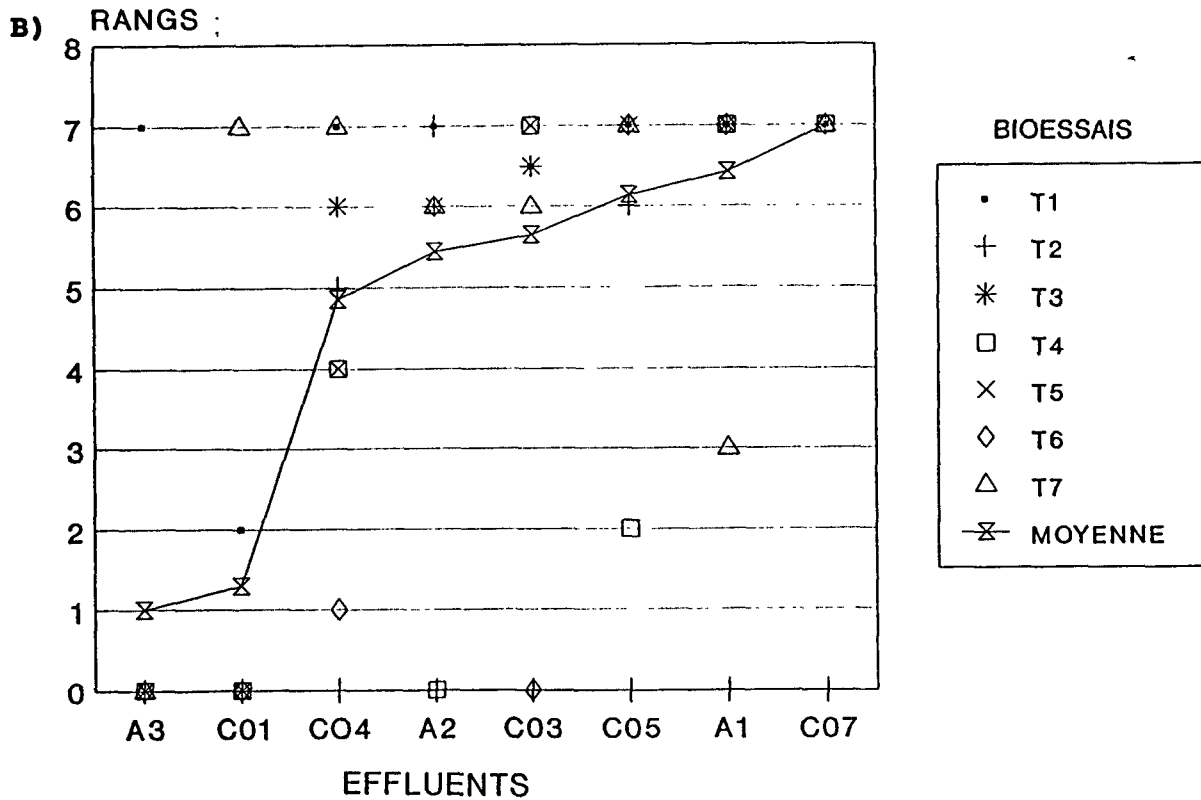
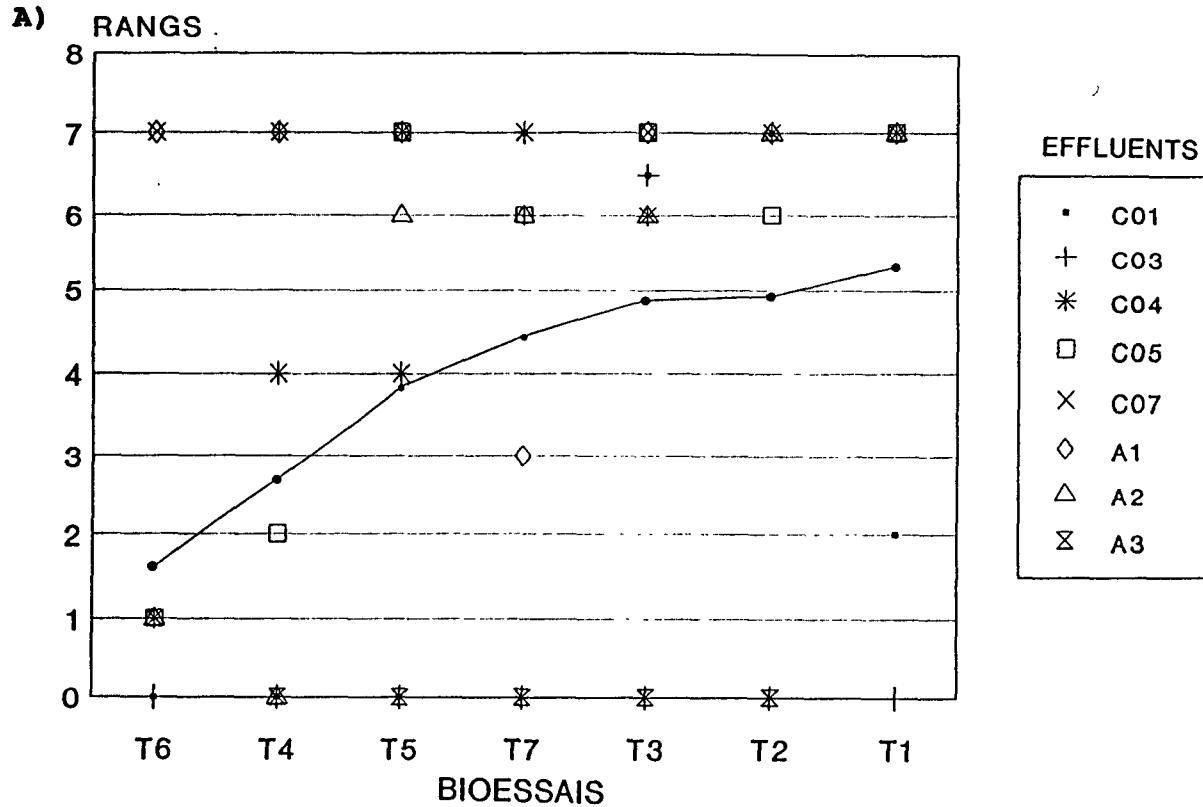


Figure 2: Sensibilité relative des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC) et toxicité relative des effluents déterminée au moyen de ces bioessais

tableau 11: Cotes ^{*} de sensibilité attribuées aux bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC).

BIOESSAIS			EFFLUENTS							
Description		Codes d'identification	Produits organique A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Truite arc-en-ciel, <u>Salmo gairdneri</u> ATP musculaire		T1	2	* A 7	* B 6.5	7	7	7	7	7
Méné Tête de Boule, Alevin, <u>Pimephales promelas</u>	croissance	T2	A B 7 0	A B 7 6.5	A B 7 5	6	7	7	7	0
	survie	T3	A B 6.5 0	A B 7 6.5	6	7	7	7	6	0
Méné Tête de Boule, embryon/alevin, <u>Pimephales promelas</u>	éclosion	T4	0	7	4	2	7	7	0	0
	survie	T5	0	7	4	7	7	7	6	0
Cladocère, <u>Ceriodaphnia dubia</u>	reproduction	T6	0	0	1	A B 1 7	7	7	A B 1 6	A B 1 6
	survie	T7	7	6	7	A B 6 7	7	3	6	A B 6 0

* Cotes: voir tableau 7 (p.:14): 0 très toxique à 7 non toxique.

A: cote médiane de la rangée

B: cote médiane de la colonne

Tableau 12a: Toxicité relative des divers effluents et cotes de sensibilité des bioessais dont la réponse est la concentration effective entraînant 50 % de mortalité ou une réduction de 50% du paramètre mesuré (CE₅₀): toxicité relative des divers effluents exprimée en CE₅₀

BIOESSAIS*	EFFLUENTS								
	Codes d'identification	Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Algue, <u>Selenastrum capricornutum</u> croissance, 96h (U.S. EPA)	T8	144%**	38%	15%	179%**	115%**	30%	87%	0.3%
Truite arc-en-ciel, <u>Salmo gairdneri</u> , survie 96h	T9	-	NS	NS	NS	NS	-	NS	-
Méné Tête de Boule, <u>Pimephales promela</u> , survie 96h	T10	25%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cladocère, <u>Daphnia pulex</u> , survie 48h	T11	85%	52%	61%	-	NS	NS	92%	6%
Cladocère, <u>Ceriodaphnia dubia</u> , survie 48h	T12	-	-	-	-	-	96%	NS	<6%
Bactérie, <u>Photobacter phosphoreum</u> bioluminescence, 5min	T13	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%
Bactérie, <u>Photobacter phosphoreum</u> bioluminescence, 15min	T14	-	-	-	-	-	>50%	>50%	10%
Algue, <u>Selenastrum capricornutum</u> croissance, 90h Microplaque (Env. Can.)	T15	143%**	58%	157%**	-	112%**	-	-	-
Fiole (Env.Can.)	T16	130%**	172%**	179%**	186%**	-	-	-	1%

* Voir tableau 4 et 5 (p.: 9 et 10); ** Stimulation de la croissance au lieu d'une inhibition à cause de la présence de nutriments dans l'effluent
NS: les concentrations utilisées ne permettent pas de déceler de toxicité ; -: aucune donnée disponible

Tableau 12b: Toxicité relative des divers effluents et cotes de sensibilité des bioessais dont la réponse est la concentration effective entraînant 50% de mortalité ou une réduction de 50% du paramètre mesuré (CE₅₀): cotes* de sensibilité attribuées aux divers bioessais

BIOESSAIS **		EFFLUENTS							
	Codes d'identification	Produits organiques A	Mine Zn/Cu	Papetière Kraft	Acierie A	Aluminerie	Acierie B	Produits organiques B	Électro-placage
		CO ₁	CO ₃	CO ₄	CO ₅	CO ₇	A ₁	A ₂	A ₃
Algue, <u>Selenastrum capricornutum</u> croissance, 96h (U.S. EPA)	T8	7	2	0	7	7	2	5	0
Truite arc-en-ciel, <u>Salmo gairdneri</u> , survie 96h	T9	*** A 7	*** B 7	7	7	7	A B 7 7	7	A B 7 0
Méné Tête de Boule, <u>Pimephales promela</u> , survie 96h	T10	1	7	7	7	7	7	7	7
Cladocère, <u>Daphnia pulex</u> , survie 48h	T11	5	3	4	A B 5 7	7	7	6	0
Cladocère, <u>Ceriodaphnia dubia</u> , survie 48h	T12	A B 6 7	A B 6 7	A B 6 7	A B 6 7	A B 6 7	6	7	0
Bactérie, <u>Photobacter phosphoreum</u> bioluminescence, 5min	T13	7	7	7	7	7	7	7	7
Bactérie, <u>Photobacter phosphoreum</u> bioluminescence, 15min	T14	A B 7 7	A B 7 7	A B 7 7	A B 7 7	A B 7 7	7	7	0
Algue, <u>Selenastrum capricornutum</u> croissance, 90h Microplaque (Env. Can.)	T15	7	7	7	A B 7 7	7	A B 7 7	A B 7 7	A B 7 7
Fiole (Env.Can.)	T16	7	7	7	7	A B 7 7	A B 7 7	A B 7 7	0

* Cotes: voir tableau 7 (p.: 14): 0 très toxique à 7 non toxique; ** voir tableau 4 et 5; *** A est la cote médiane de la rangée et B est la cote médiane de la colonne

de létalité de Daphnia pulex (T11) démontrent une sensibilité variable face aux effluents analysés (tableau 12; figure 3).

Les analyses multi-dimensionnelles effectuées sur l'ensemble des résultats de ces bioessais révèlent une relative similitude de comportement de la majorité des tests biologiques (figures 4 et 5). L'analyse en composantes principales indique que les deux premiers axes permettent d'expliquer 76% de la variation totale dont 49% est reliée au premier axe. Ce dernier discrimine les bioessais T9 (truite arc-en-ciel, 96h), T13 (Microtox, 5 min.), T14 (Microtox, 15 min.), T15 (Selenastrum capricornutum sur microplaque, 96h), T16 (Selenastrum capricornutum en fiole, 96h) et T12 (Ceriodaphnia dubia, 48h); le second axe fait ressortir les bioessais T8 (Selenastrum capricornutum, 96h, U.S.A.) et surtout T10 (Tête de boule, 96h) (tableau 13). L'examen de la matrice de corrélation (tableau 14) et des deux axes (figure 5) met en évidence une agrégation de la majorité des bioessais à l'exception des tests T8 (Selenastrum capricornutum, 96h, U.S.A.), T11 (Daphnia pulex, 48h) et T16 (Selenastrum capricornutum en fiole, 96h, Env.Can.): les tests T8 et T11 ont déjà été pointés comme des bioessais sensibles dans l'analyse univariée (voir ci-haut).

3.2 Répliquabilité des tests de toxicité

Un organisme peut être jugé biologiquement sensible pour un type de réponse parce qu'il répond à de faibles niveaux de produits toxiques. Cependant, si l'amplitude de la réponse des organismes est très variable, ce bioessai ne sera pas statistiquement sensible parce qu'un grand nombre d'observations sera nécessaire pour établir la signification des réponses mesurées (CE_{50} , CL_{50} , LOEC). Cette variabilité (sensibilité statistique) se

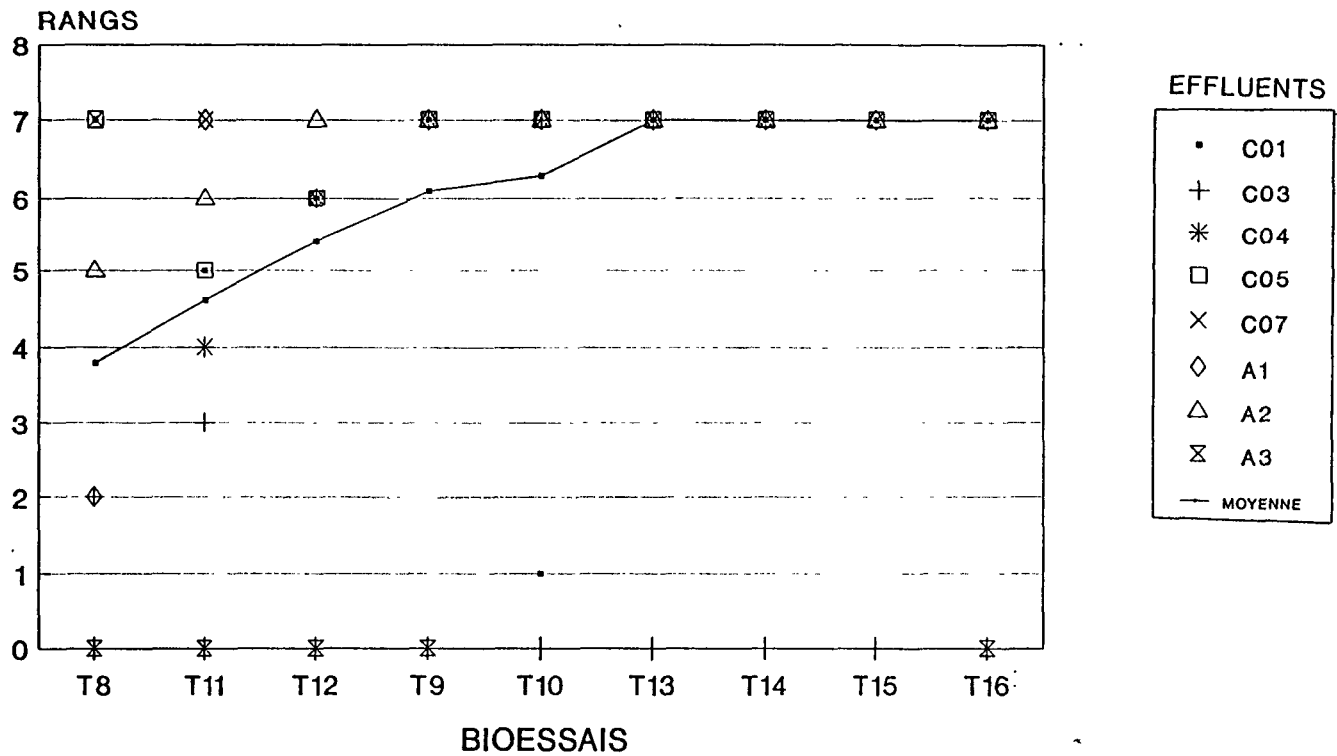


Figure 3: Sensibilité relative des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}): la signification des codes d'identification des bioessais et des effluents apparaît au tableau 12a (p.: 24)

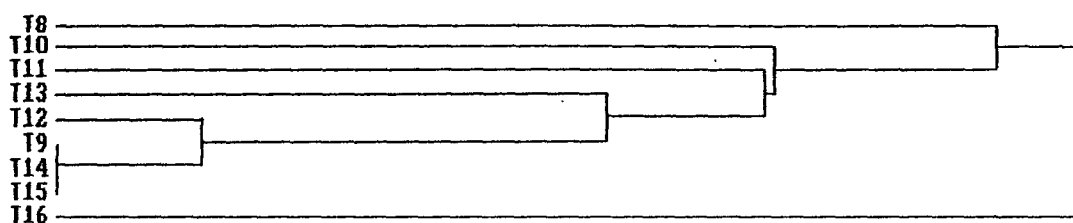


Figure 4: Similitude des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}): la signification des codes T8 à T16 apparaît au tableau 12a (p.:24)

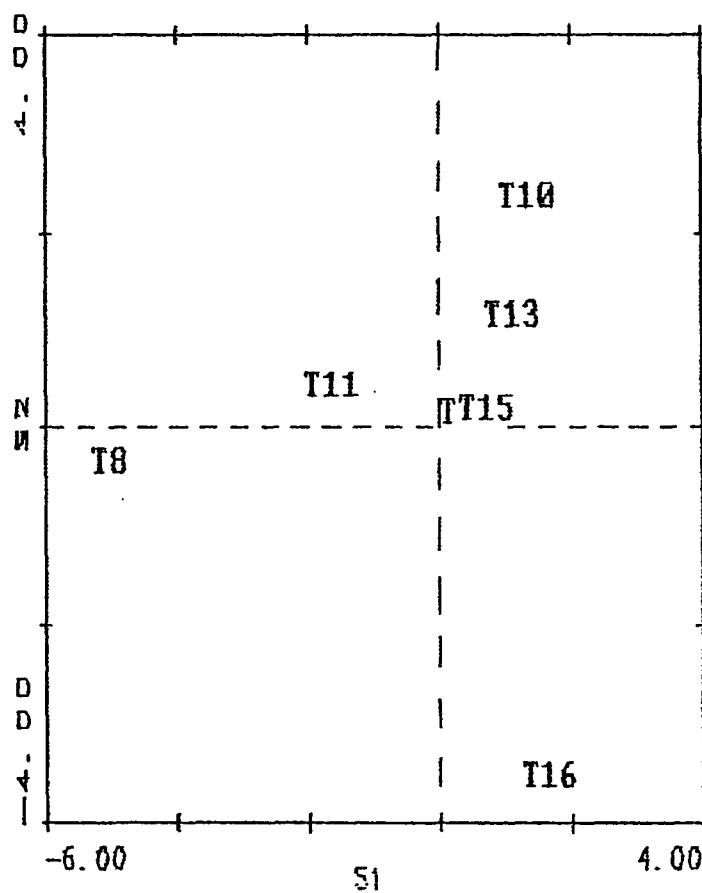


Figure 5: Représentation graphique des coefficients directeurs pour les bioessais dont les résultats sont présentés en terme de (CE_{50}) : la signification des codes d'identification des bioessais apparaît au tableau 12a (p.: 24)

Tableau 13: Coefficients directeurs pour les bioessais à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50})

Première composante		Deuxième composante	
Variables	Coeff.directeurs	Variables	Coeff.directeurs
T9	0.37	T10	0.82
T13	0.37	T8	-0.55
T14	0.37	T12	0.09
T15	0.37	T9	0.08
T16	0.37	T13	0.08
T12	0.37	T14	0.08
T11	0.32	T15	0.08
T8	0.22	T16	0.08
T10	-0.07	T11	0.01

* Voir tableau 12 (p.: 24) pour les codes d'identification des bioessais

Tableau 14: Matrice de corrélations pour les bioessais à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse calculée est la concentration effective entraînant 50% d'effet (CE_{50})

	T9*	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T8*	0.49	-0.42	0.60	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49
T9	1.0	0.14	0.80	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
T10		1.0	-0.07	-0.11	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14
T11			1.0	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80
T12				1.0	0.99	0.99	0.99	0.99
T13					1.0	0.99	0.99	0.99
T14						1.0	0.99	0.99
T15							1.0	0.99
T16								1.0

* Voir le tableau 12 (p.: 24) pour codes d'identification des bioessais

mesure via la réplicabilité obtenue pour un même échantillon.

Les valeurs moyennes des concentrations de toxicité (LOEC, CL_{50} ou CE_{50}) et leurs coefficients de variation pour les bioessais aigus et chroniques apparaissent aux tableaux 15 et 16. Les bioessais avec algues ne présentent pas une variabilité significativement différente de celle constatée pour le bioessai avec poissons et crustacés dont la variabilité était élevée avec des valeurs médianes des coefficients de variation respectives de 26.3 et 20.4. Par contre, les bioessais avec bactéries (Microtox®) ayant 11.3 pour cette valeur présentent une variabilité significativement plus faible que celle des bioessais précédents (tableau 17).

3.3 Toxicité des effluents

La classification générale des effluents selon leur toxicité décroissante (figure 6), telle qu'évaluée par l'ensemble des bioessais, révèle qu'à l'exception de l'effluent A_3 , les effluents testés sont peu toxiques.

Les analyses multidimensionnelles suggèrent certaines similitudes de comportement des effluents. L'analyse en composante principales des bioessais, dont la réponse mesurée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC), indique que la première composante, expliquant 44% de la variation totale, est particulièrement corrélée aux effluents de l'usine de produits organiques CO_1 , de l'aciérie A_1 et de l'aluminerie CO_7 (tableau 18). La deuxième composante est plutôt liée aux effluents de l'usine de produits organiques A_2 , de l'aciérie CO_5 et de la mine CO_3 . La matrice de

Tableau 15: Analyse de la variabilité des résultats de bioessais effectués avec les effluents

Bioessais (paramètres)(notre code)		Traitement de l'effluent *	Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Truite arc-en-ciel, <u>Salmo gairdneri</u> (survie, 96h)(T9)	(CE50)	FCS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Méné Tête de Boule, <u>Pimephales promela</u> (survie, 96h)(T10)	(CE50)	FCS	25%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	(CV)		14%							
Cladocère, <u>Daphnia pulex</u>	(CE50)	FCS	85%	52%	61%	-	NS	NS	92%	6%
(mobilité, 48h)(T11)	(CV)		7%	21%	14%				14%	123% ^{**}
Cladocère, <u>Ceriodaphnia dubia</u> (survie, 48h)(T12)	(CE50)	FCS	-	-	-	-	-	96%	NS	<6%
	(CV)							12%		
Bactérie, <u>Photobacter phosphoreum</u> (bioluminescence, 5min)(T13)	(CE50)	FCS	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%
	(CE50)	BCS	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	>50%	49%
	(CV)									12%
	(CE50)	FCSBKE	18%	15%	21%	NS	27%	74%	71%	-
	(CV)		20%	3%	14%		11%	11%	7%	
	(CE50)	BCSBKE	14%	-	46%	20%	59%	70%	68%	>50%
	(CV)				14%	12%	7%	13%	5%	

* Traitement de l'effluent: voir légende p.: 10; ** Stimulation de la croissance au lieu d'une inhibition de celle-ci à cause de la présence de nutriments dans l'effluent; CV: coefficient de variation; NS: non significatif (les concentrations utilisées ne permettent pas de déceler de toxicité); -: aucune donnée disponible

Tableau 15: Analyse de la variabilité des résultats de bioessais effectués avec les effluents (suite)

Bioessais (paramètres)(notre code)		Traitement de l'effluent *	Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Acierie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Acierie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Bactérie, <u>Photobacter phosphoreum</u> (bioluminescence, 15min)(T14)	(CE ₅₀) (CV)	FCS	-	-	-	-	-	>50%	>50%	10% 11%
	(CE ₅₀) (CV)	BCS	-	-	-	>50%	-	>50%	>50%	9% 12%
	(CE ₅₀) (CV)	FCSBKE	-	-	-	-	-	69% 15%	83% 10%	-
	(CE ₅₀) (CV)	BCSBKE	-	-	-	-	-	93%	75% 8.0%	NS
Algue, <u>Selenastrum capricornutum</u> (microplaque)(T15)	(CE ₅₀) (CV)	FCS	43% 49%	58% 24%	57% 5.0%	NS	12%	-	-	-
	(CE ₅₀) (CV)	FCS	30% 3.0%	72% 10%	79% 79%	186% 17	NS	-	-	1.0% <10%

* Traitement de l'effluent: voir légende p. 10; ** Stimulation de la croissance au lieu d'une inhibition de celle-ci à cause des nutriments dans l'effluent; CV: coefficient de variation; NS: non significatif (les concentrations utilisées ne permettent pas de déceler de toxicité); -: aucune donnée disponible

Tableau 16: Analyse de la variabilité des résultats des bioessais chroniques effectués avec les effluents

Bioessais (paramètres)(notre code)	Traitement * de l'effluent		Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Truite arc-en-ciel, <u>Salmo gairdneri</u> (ATP musculaire, 96h)(T1)	(LOEC)	FCS	40%	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS
éné Tête de Boule, <u>Pimephales promela</u> (croissance de l'alevin, 7j)(T2)	(LOEC) (CV)	FCS	-	-	NS	100%	NS	NS	NS	10% 34%
(survie de l'alevin, 7j)(T3)	(LOEC) (CV)	FCS	-	-	100%	NS	NS	NS	100% 4%	3%
Méné Tête de Boule, <u>Pimephales promela</u> (éclosion, 8j)(T4)	(LOEC) (CV)	FCS	10% 34%	NS	60% 10%	30% 18%	NS	NS	10% 34%	10% 34%
(survie de l'embryon, 8j)(T5)	(LOEC) (CV)	FCS	10% 34%	NS	60% 10%	NS	NS	NS	100% 4%	10% 34%

* Traitement de l'effluent: voir légende p.: 10; CV: coefficient de variation; NS: non significatif (les concentrations utilisées ne permettent pas de deceler de toxicité); -: aucune donnée disponible

Tableau 16: Analyse de la variabilité des résultats des bioessais chroniques avec les effluents (suite)

Bioessais (paramètres)(notre code)		Traitement * de l'effluent	Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Cladocère, <u>Ceriodaphnia dubia</u> (reproduction, 7j)(T6)	(LOEC)	FCS	50%	12%	25%	-	NS	NS	NS	NS
	(CV)		35%	84%	57%					
	(survie, 7j)(T7)	FCS	NS	100%	NS	-	NS	50%	100%	2%
	(CV)			17%				35%	20%	<2%
Algue, <u>Selenastrum capricornutum</u> (croissance, 96h)(T8)	(CE50)	FCS	144%**	37%	14%	179%**	15%	30%	86%	0.3%
	(CV)		56%	49%	11%	3%	78%	6%	5%	0%
	(CE50)	BCS	25-50%	25-50%	22%	10%	22%	50-100%	51%	0.8%
	(CV)				23%	34%			15%	14%
	(CE50)	FCSBKE	50-100%	67%	47%	20%	100-200**	42%	100-200**	92%
	(CV)				44%	40%		30%		
	(CE50)	BCSBKE	50-100%	-	58%*	48%	100%	100-200**	64%	50-200**
	(CV)				20%		20%		33%	

* Traitement de l'effluent: voir légende p.: 10; ** Stimulation de la croissance au lieu d'une inhibition de celle-ci à cause de la présence de nutriments dans l'effluent; CV: coefficient de variation; NS: non significatif (les concentrations utilisées ne permettent pas de déceler de toxicité); -: aucune donnée disponible

Tableau 17: Analyse de la répliquabilité et comparaison des médianes des coefficients de variation des bioessais regroupés en fonction des types d'organismes utilisés

A- Répliquabilité des bioessais

Groupes d'organismes	Médianes des C.V.	Nombres d'observations	Classes de variation
poissons	26.3	12	élevée
algues	19.7	26	moyenne
crustacés	20.4	13	élevée
bactéries	11.3	17	moyenne

B- Comparaison des médianes

	Algue	Crustacé	Bactérie
poisson	$X^2_{me=0}$	$X^2_{me=0}$	$X^2_{me=4.53*}$
algue		$X^2_{me=0.33}$	$X^2_{me=7.20*}$
crustacé			$X^2_{me=6.25*}$

* Significativement différent; CV coefficient de variation

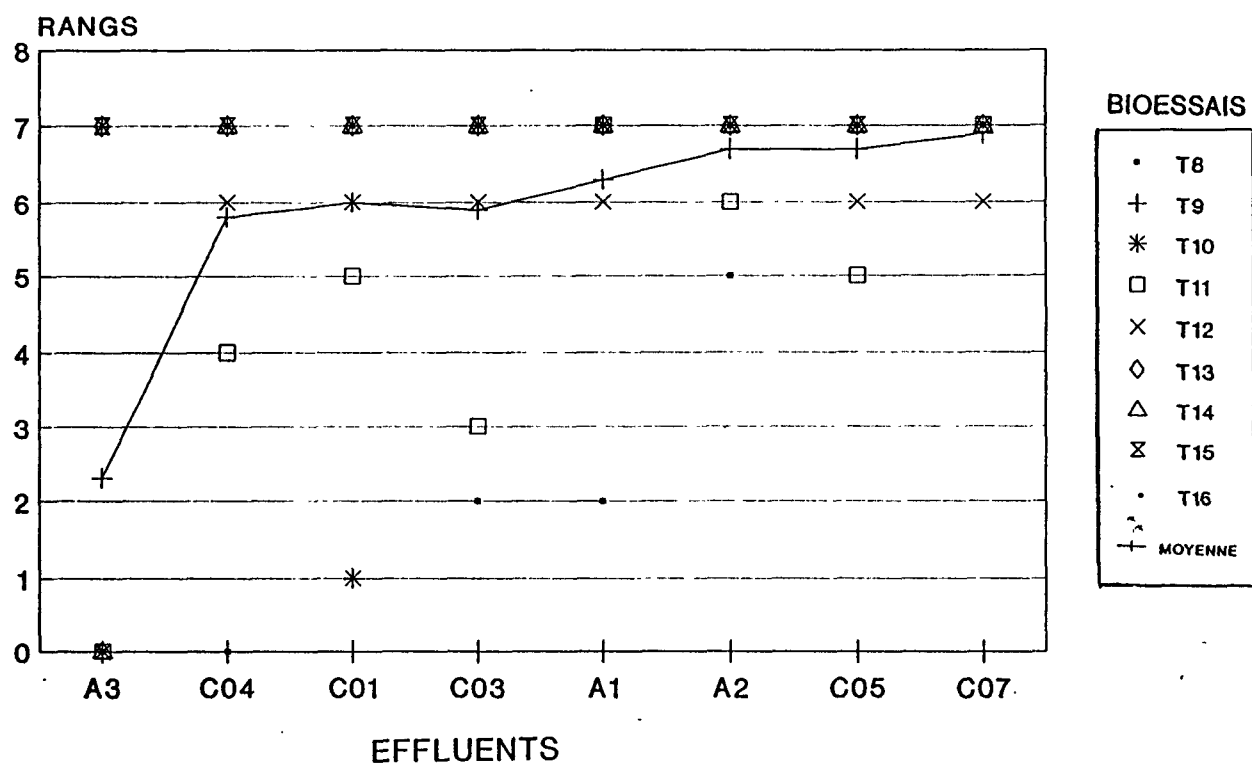


Figure 6: Toxicité relative des effluents déterminée au moyen des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}): la signification des codes d'identification des effluents et des bioessais apparaît au tableau 12a (p.: 24)

Tableau 18: Coefficients directeurs pour les effluents à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composantes principales des résultats de bioessais dont la réponse calculée est la concentration à laquelle un effet est observé (LOEC)

Première composante		Deuxième composante	
variables [*]	Coeff.directeurs	Variables	Coeff.directeurs
CO ₁	0.51	A ₂	0.62
A ₁	-0.49	CO ₅	0.61
CO ₇	-0.49	CO ₃	-0.32
CO ₄	0.38	A ₃	0.26
CO ₅	0.23	A ₁	0.17
A ₂	0.20	CO ₇	0.17
CO ₃	0.12	CO ₁	-0.10
A ₃	0.08	A ₃	-0.07

* Voir tableau 16 (p.: 35) pour les codes d'identification des effluents

corrélation confirme la grande similitude entre les effluents de l'aluminerie CO_7 et de l'aciérie A_1 et entre les effluents de l'aciérie CO_5 et de l'usine de produits organiques A_2 (tableau 19).

Le dendogramme résultant de l'analyse des groupes permet d'identifier deux groupes d'effluents: le premier formé par les effluents de la mine CO_3 , de la papetière CO_4 , de l'aciérie CO_5 et de l'usine de produits organiques A_2 , et un deuxième formé par les effluents de l'aciérie A_1 et de l'aluminerie CO_7 (figure 7). L'effluent d'électro-placage A_3 , qui est le seul à s'être avéré toxique selon la classification univariée (figure 6), se démarque de l'ensemble (figure 7).

L'analyse en composantes principales des effluents montre que le premier axe, qui explique 78% de la variation totale est lié aux effluents de la papetière Kraft CO_4 , de l'usine des produits organiques A_2 , de l'aciérie A_1 et de la mine CO_3 (tableau 20 et figure 8). Ce regroupement est également confirmé par l'examen de la matrice de corrélation (tableau 21) et du dendogramme (figure 9). Notons que les effluents de l'aciérie CO_5 et de l'aluminerie CO_7 , deux effluents inorganiques, présentent des comportements similaires entre eux mais différents par rapport à l'effluent organique CO_1 . On remarque également que l'effluent d'électro-placage A_3 , le plus toxique selon la classification univariée, s'isole complètement des autres effluents, ce qui révèle une toxicité particulière de la part de celui-ci.

Tableau 19: Matrice de corrélations pour les effluents à partir de l'analyse en composantes principales des résultats de bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC)

Industries	Code	Produits organique A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Produits organiques A	(CO ₁)	1.0	0.11	0.58	0.26	-0.96	-0.96	0.19	0.12
Mine Zn/Cu	(CO ₃)		1.0	0.73	-0.27	-0.06	-0.06	-0.18	0.15
Papetière Kraft	(CO ₄)			1.0	0.18	-0.45	-0.45	0.24	0.45
Aciérie A	(CO ₅)				1.0	-0.20	-0.20	0.94	0.20
Aluminerie	(CO ₇)					1.0	0.99	-0.10	0.17
Aciérie B	(A ₁)						1.0	-0.10	0.17
Produits organiques B	(A ₂)							1.0	0.28
Électro-placage	(A ₃)								1.0

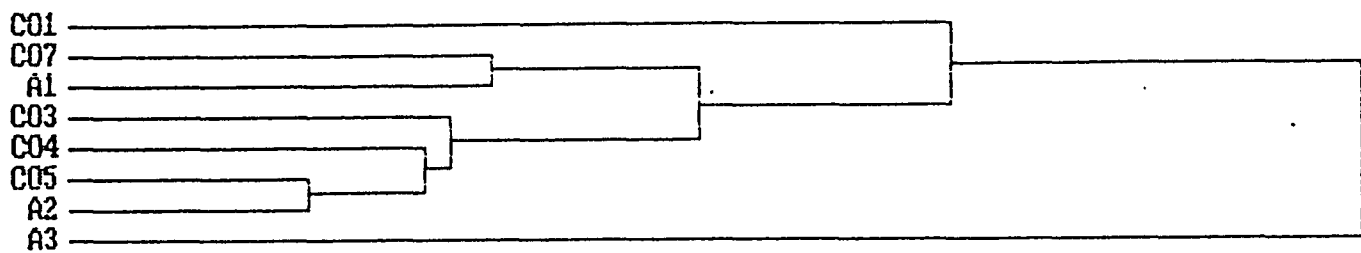


Figure 7: Similitude des effluents lorsque leur toxicité est déterminée au moyen des bioessais dont la réponse calculée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC): la signification des codes d'identification des effluents apparaît au tableau 12a (p.: 24)

Tableau 20: Coefficients directeurs pour les effluents à partir des deux premières composantes principales de l'analyse en composante principale des résultats de bioessais dont la réponse calculée est la concentration effective entraînant 50% d'effet (CE_{50})

Première composante		Deuxième composante	
Variables*	Coeff.directeurs	Variables	Coeff.directeurs
CO ₄	0.50	CO ₅	0.58
A ₂	0.50	CO ₇	0.58
CO ₃	0.48	A ₃	0.41
A ₁	0.45	CO ₁	-0.38
A ₃	0.17	A ₁	0.07
CO ₇	-0.15	CO ₄	0.04
CO ₅	-0.15	A ₂	0.04
CO ₁	-0.07	CO ₃	0.22

* Voir tableau 19 (p.: 41) pour les codes d'identification des effluents

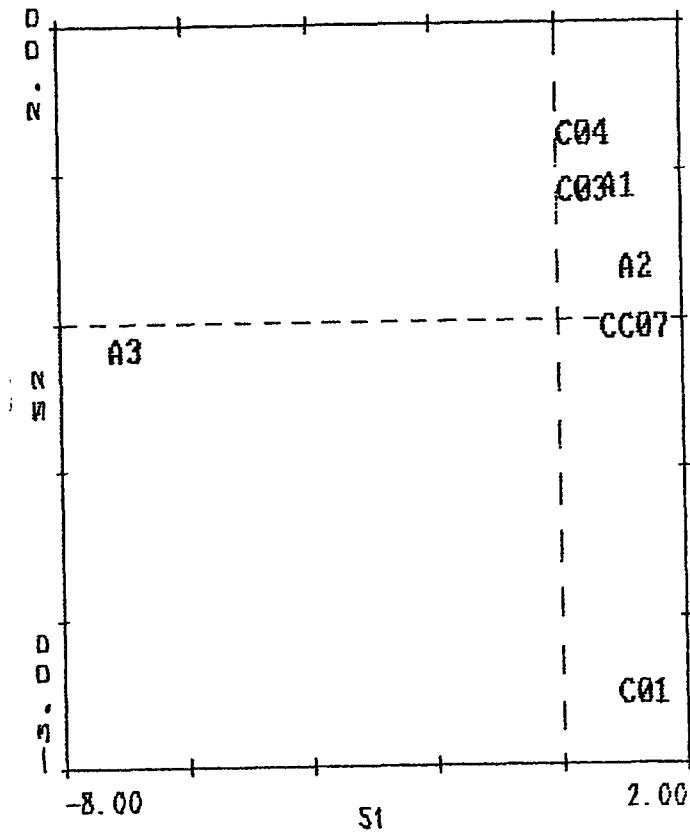


Figure 8: Représentation graphique des coefficients directeurs pour les effluents industriels lorsque leur toxicité est évaluée avec les CE_{50} : la signification des codes d'identification des effluents apparaît au tableau 12a (p.: 24)

Tableau 21: Matrice de corrélations pour les effluents à partir de l'analyse en composantes principales des résultats des bioessais dont la réponse mesurée est la concentration effective entraînant 50% d'effet (CE_{50})

	CO ₁	CO ₃	CO ₄	CO ₅	CO ₇	A ₁	A ₂	A ₃
CO ₁ *	1.0	0	-0.07	-0.16	-0.16	-0.20	-0.06	-0.59
CO ₃		1.0	0.96	-0.19	-0.19	0.71	0.97	0.28
CO ₄			1.0	-0.17	-0.17	0.88	-0.99	0.26
CO ₅				1.0	1.0	-0.15	-0.18	0.19
CO ₇					1.0	1.0	-0.18	0.23
A ₁						1.0	0.85	0.23
A ₂							1.0	0.27
A ₃								1.0

* Voir le tableau 19 (p.: 41) pour codes d'identification des bioessais

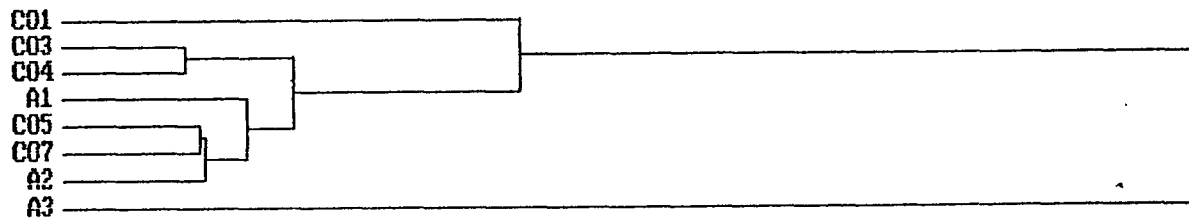


Figure 9 Similitude des effluents lorsque leur toxicité est déterminée au moyen des bioessais dont la réponse calculée est la concentration entraînant 50% d'effet (CE_{50}): la signification des codes d'identification des effluents apparaît au tableau 12a (p.: 24)

3.4 Génotoxicité des effluents

Une génotoxicité est constatée dans les effluents organiques CO₁ et CO₄, l'effluent d'électro-placage A₃ et l'effluent minier CO₃ (tableau 22). L'ajout du facteur métabolique S9 ne semble pas avoir beaucoup d'influence sur la toxicité de ces effluents sauf dans le cas de l'effluent minier CO₃ où il élimine la génotoxicité (tableau 23).

Une génotoxicité a également été détectée par le test d'échange de chromatides soeurs dans trois effluents inorganiques (CO₃, CO₅ et CO₇) et un effluent organique (CO₄) (tableau 24). La mutagénicité (Test d'Ames) s'est manifestée dans deux effluents inorganiques (CO₅ et CO₇) et dans un effluent organique (CO₁) (tableau 24). Des effets tératogènes ont été observés dans deux effluents organiques (CO₁ et A₂).

4. Conclusion

Parmi les sept bioessais dont la réponse mesurée est la plus faible concentration à laquelle un effet est observé (LOEC), les tests examinant l'ATP musculaire de la truite arc-en-ciel Salmo gairdneri (T1), la croissance (T2) et la survie (T3) de l'alevin du méné Tête de Boule Pimephales promelas, ainsi que la survie (T5) du stade embryon/alevin de cette même espèce sont insensibles aux effluents testés. Par contre, les bioessais mesurant le taux d'éclosion d'oeufs embryonnés du méné Tête de Boule Pimephales promelas (T4) et le taux de reproduction du cladocère Ceriodaphnia dubia (T6) se révèlent sensibles pour certains rejets industriels.

Tableau 22a: Résultats de génotoxicité obtenus avec le SOS Chromotest effectué avec les effluents: sans S9 (T17)

	Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Acierie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Acierie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Sans biodégradation *								
FCS	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	GT
FCKE	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
FCSE	GT	NG	GT	NG	NG	NG	NG	NG
FCSBKE	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
FCSB	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	GT
FCSBSE	GT	-	GT	NG	NG	NG	NG	NG
avec biodégradation *								
BCS	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	GT
BCKE	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
BCSE	NG	GT	GT	NG	NG	NG	NG	NG
BCSBKE	NG	-	NG	NG	NG	NG	NG	NG
BCSB	NG	-	NG	NG	NG	NG	NG	GT
BCSBSE	GT	-	GT	NG	NG	NG	NG	NG

* Traitement de l'effluent: voir légende p.: 10; NG: non génotoxique; GT: génotoxique; -: aucune donnée disponible

Tableau 22b: Résultats de génotoxicité obtenus avec le SOS Chromotest effectué sur les effluents industriels (suite): avec S9* (T17)

	Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
sans biodégradation**								
FCS	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
FCKE	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
FCSE	NG	NG	GT	NG	NG	NG	NG	NG
FCSBKE	NG	NG	NG	NG	NG	NG	V	NG
FCSB	NG	NG	NG	NG	NG	V	V	NG
FCSBSE	GT	-	GT	NG	NG	NG	NG	NG
avec biodégradation**								
BCS	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
BCKE	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
BCSE	NG	NG	GT	NG	NG	NG	NG	NG
BCSBKE	NG	-	NG	NG	NG	NG	NG	NG
BCSB	NG	-	NG	NG	NG	V	NG	NG
BCSBSE	GT	-	GT	NG	NG	NG	NG	NG

* S9: fraction microsomale mammélienne; ** Traitement de l'échantillon: voir légende p.: 10; NG: non génotoxique; GT: génotoxique; V: problème de variabilité; -: aucune donnée disponible

Tableau 23: Résultats des tests de mutagénicité et de tératogénicité effectués avec les effluents

Bioessais (Paramètres)(notre code)		Produits organiques A CO ₁	Mine Zn/Cu CO ₃	Papetière Kraft CO ₄	Aciérie A CO ₅	Aluminerie CO ₇	Aciérie B A ₁	Produits organiques B A ₂	Électro-placage A ₃
Bactérie, <u>Salmonella typhimurium</u>	-S9	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
(test d'Ames)(T18)	+S9 [*]	+ TA98 ^{**}	NM	NM	+	+	NM	NM	NM
					TA98	TA98	TA98		
Cellules mammaires, (échange de chromatides soeurs)(T19)		NC	GT	GT	GT	GT	NG	NG	-
Méné Tête de Boule, <u>Pimephales promela</u> (tératogénicité)(T20)		GT	NS	NS	NS	NS	NS	GT	NS

* Fraction microsomale mammaire; ** Souche bactérienne de Salmonella typhimurium TA 98; NC: non calculé; GT: génotoxique;
NG: non génotoxique; NS: non significatif; NM: non mutagène; +: mutagène

Parmi les 9 biotests donnant une réponse calculée pour une concentration d'effet à 50% (CE_{50}), les bioessais évaluant la mortalité du cladocère Daphnia pulex (T11) et l'inhibition de la croissance de l'algue Selenastrum capricornutum (T8) s'avèrent ceux qui apparaissent relativement sensibles aux effluents étudiés.

Si l'on considère que les bioessais de la présente étude ont été faits dans des conditions retrouvées dans les laboratoires gouvernementaux et privées habituellement chargés de tels travaux, les bioessais utilisant les algues Selenastrum capricornutum et les bactéries Photobacter phosphoreum (Microtox®) présentent des coefficients de variation acceptables (< 20%) par rapport à d'autres biotests.

Les résultats obtenus pour la génotoxicité des 8 effluents étudiés suggèrent que le "SOS Chromotest" semble le moins sensible des tests de génotoxicité tandis que le test d'échange de chromatides soeurs serait le plus sensible.

