



**HAL**  
open science

# Différence interspécifique dans la réponse d'organismes autotrophes à l'exposition à l'atrazine et au S-métolachlore

Laura Malbezin, Nicolas Mazzella, Sébastien Boutry, Isabelle Lavoie, Soizic Morin

## ► To cite this version:

Laura Malbezin, Nicolas Mazzella, Sébastien Boutry, Isabelle Lavoie, Soizic Morin. Différence interspécifique dans la réponse d'organismes autotrophes à l'exposition à l'atrazine et au S-métolachlore. 6èmes Journées Internationales de Limnologie et Océanographie (JILO), Inrae EABX, AFL, Oct 2024, Bordeaux, France. hal-04892840

**HAL Id: hal-04892840**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04892840v1>**

Submitted on 17 Jan 2025

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Différence interspécifique dans la réponse d'organismes autotrophes à l'exposition à l'atrazine ~~et au S-métolachlore~~

MALBEZIN Laura (1), MAZZELLA Nicolas (2), BOUTRY Sébastien (2), LAVOIE Isabelle (1), MORIN Soizic (2)

(1) Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement, Québec, Canada, [laura.malbezin@inrs.ca](mailto:laura.malbezin@inrs.ca)

(2) Unité de recherches « Écosystèmes Aquatiques et changement globaux », Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, Cestas, [soizic.morin@inrae.fr](mailto:soizic.morin@inrae.fr)



**INRAE**



**INRS**

Institut national  
de la recherche  
scientifique

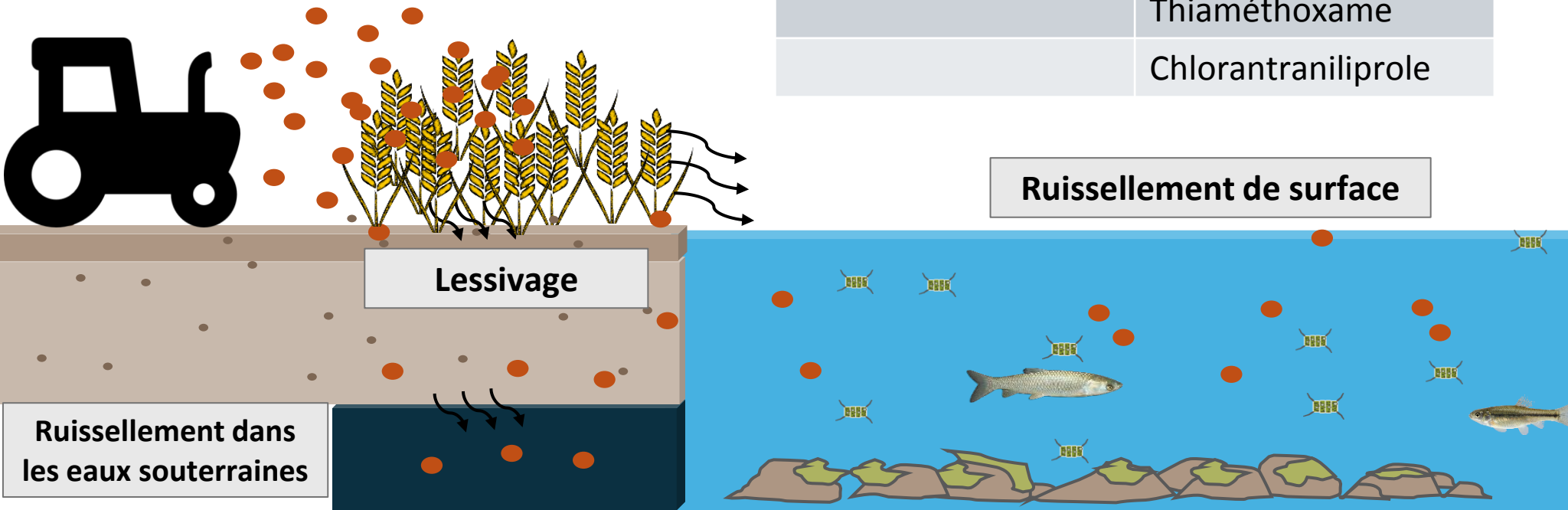
Au Québec

Justification et prescription agronomiques depuis 2018

Type	Pesticide
Herbicide	Atrazine
	(S-)métolachlor
	<i>Glyphosate</i>
Insecticide	Imazéthapyr
	Chlorpyrifos
	Clothianidine
	Thiaméthoxame
	Chlorantraniliprole

Les plus détectés dans les eaux  
 $\mu\text{g.L}^{-1}$  aux centaines  $\mu\text{g.L}^{-1}$

(Battlaglin et al., 2000; Giroux, 2022; Hansen et al., 2019)



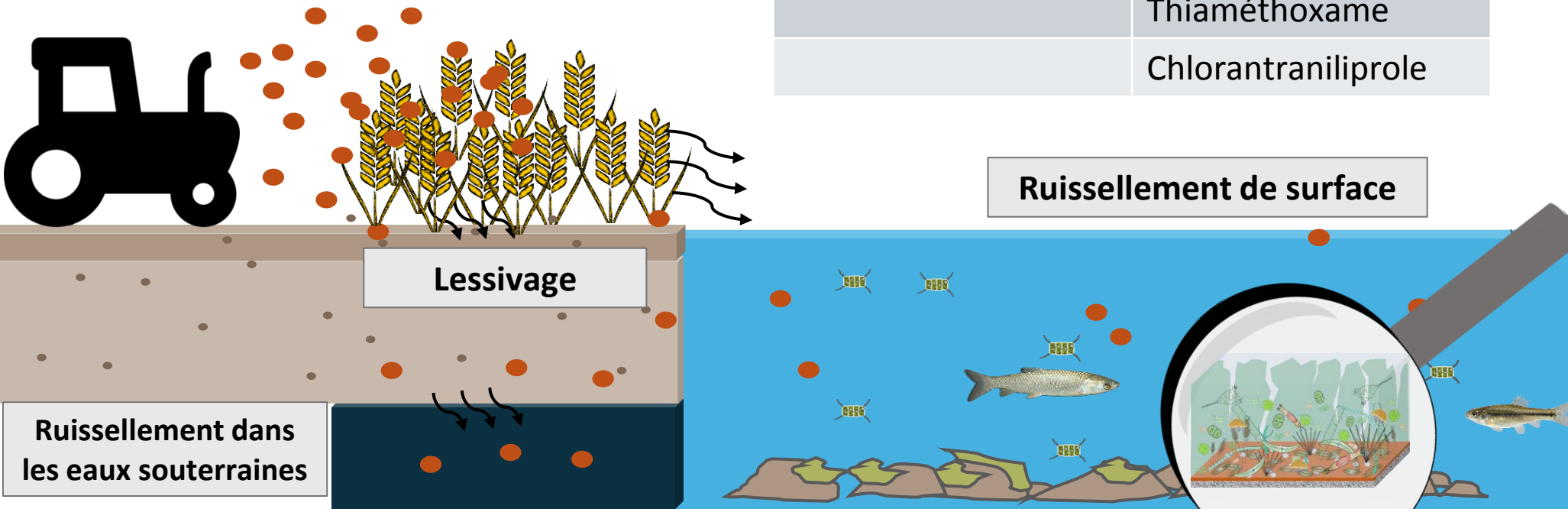
Au Québec

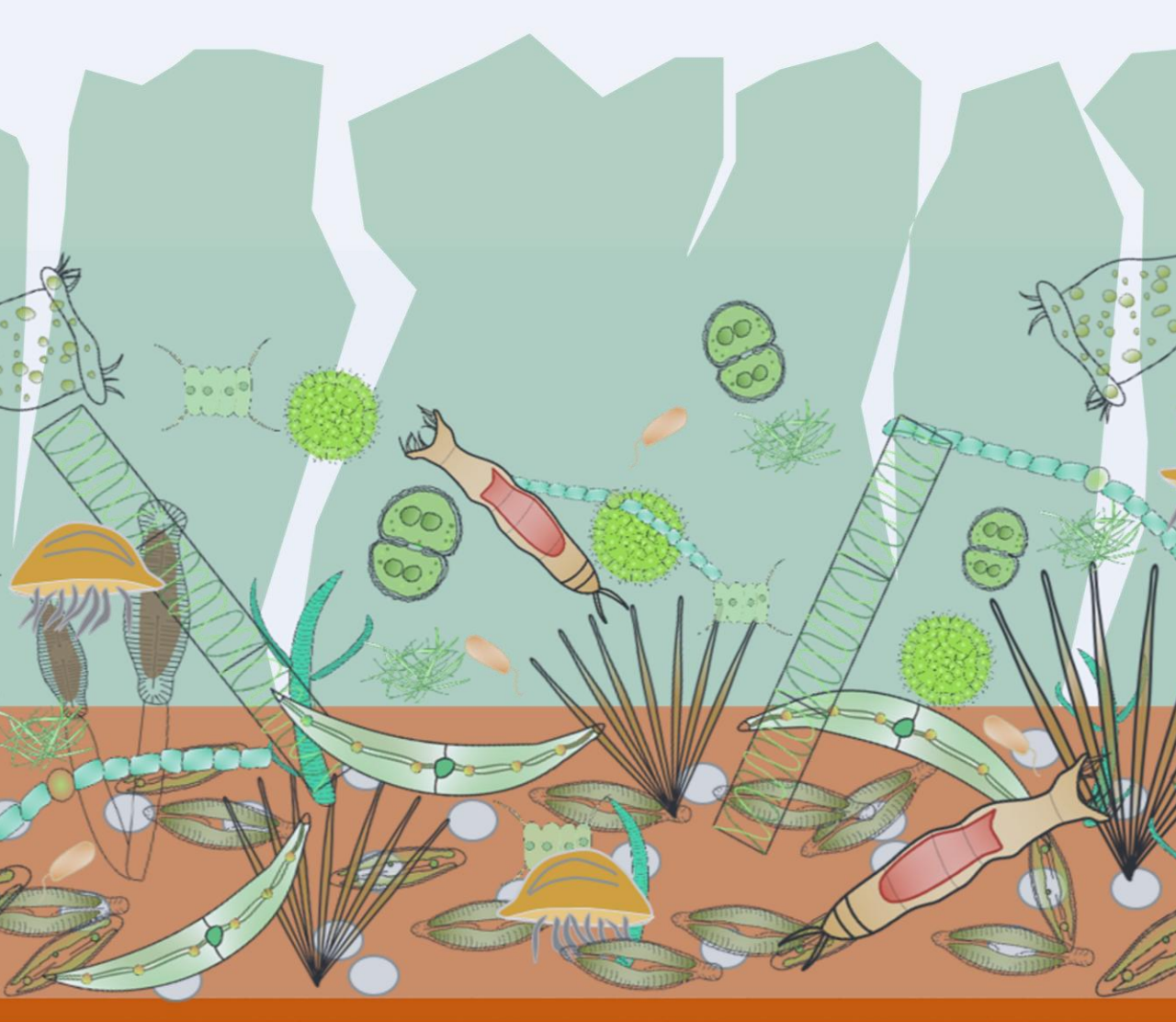
Justification et prescription agronomiques depuis 2018

Type	Pesticide
Herbicide	Atrazine
	(S-)métolachlor
	<i>Glyphosate</i>
Insecticide	Imazéthapyr
	Chlorpyrifos
	Clothianidine
	Thiaméthoxame
	Chlorantraniliprole

Les plus détectés dans les eaux  
 $\mu\text{g.L}^{-1}$  aux centaines  $\mu\text{g.L}^{-1}$

(Battlaglin et al., 2000; Giroux, 2022; Hansen et al., 2019)

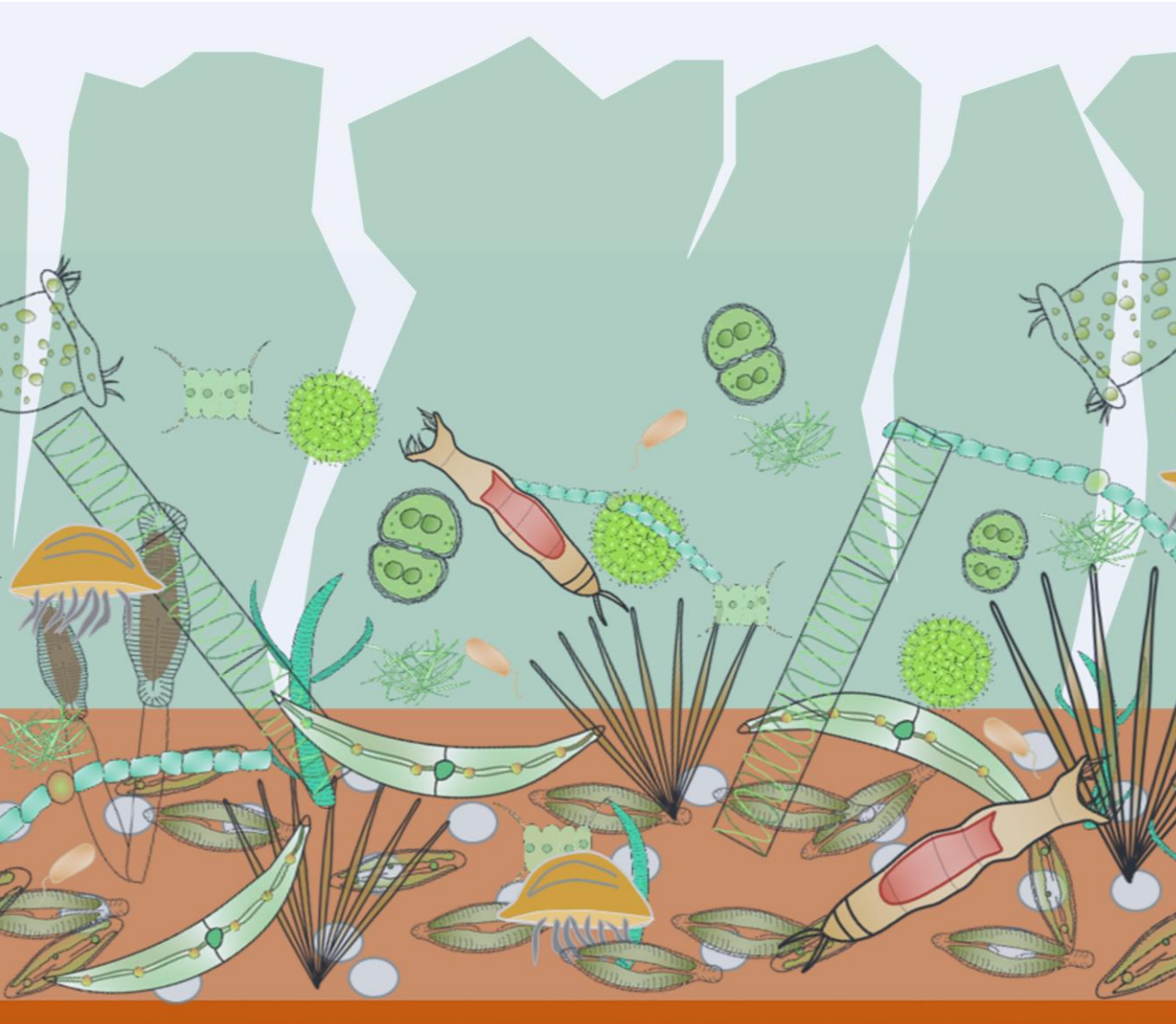




## Les communautés du périphyton...

---

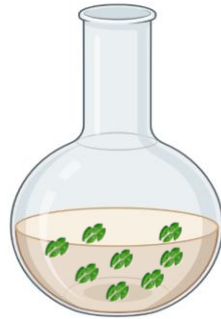
- Communautés complexes avec un haut degré de biodiversité
- Rôle dans la production primaire
- Source d'acides gras essentiels pour les consommateurs primaires



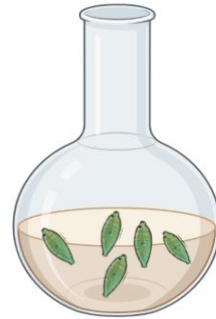
## Les communautés du périphyton... comme biomoniteur

- Ubiquiste
- Accumule une large gamme de composés
- Les organismes le composant répondent rapidement aux changements environnementaux (quelques jours à semaines)
- Possibles d'étudier les réponses à différents niveaux d'organisation (espèces, communautés...) plus hauts que les expériences mono-spécifiques en laboratoire

Le biofilm est majoritairement composé d'organismes autotrophes, capables de réaliser la photosynthèse, et en grande partie représenté par les diatomées, les algues vertes et les cyanobactéries



Algue verte



Diatomée

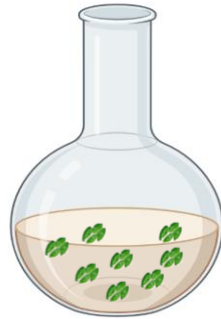


Cyanobactérie

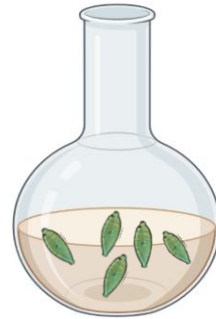
Traditionnellement, les tests de toxicité standardisés sont réalisés:

- Sur une seule espèce
- Sur un composé
- Sur des paramètres classiques de mortalité ou de photosynthèse

Le biofilm est majoritairement composé d'organismes autotrophes, capables de réaliser la photosynthèse, et en grande partie représenté par les diatomées, les algues vertes et les cyanobactéries



Algue verte



Diatomée



Cyanobactérie

Traditionnellement, les tests de toxicité standardisés sont réalisés:

- Sur une seule espèce
- Sur un composé
- Sur des paramètres classiques de mortalité ou de photosynthèse



Mélange des espèces?



## Objectifs

---

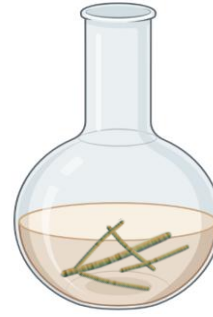
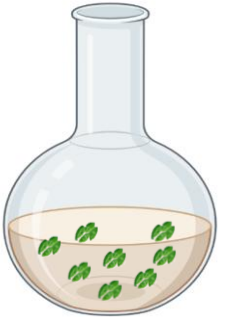
- Caractériser les effets de l'atrazine sur des organismes autotrophes en utilisant des descripteurs classiques et de lipidomique
- Evaluer les différences de sensibilité entre les organismes autotrophes et leur interaction dans une co-culture

Algue verte = GREEN

Diatomée = DIATO

Cyanobactéries = CYANO

Mélange des espèces = SP.MIX



*Scenedesmus costatus* *Gomphonema parvulum*

*Phormidium* sp. et  
*Microcystis aeruginosa*

Mélange initial:  
Diatomée > cyanobactérie ~  
algue verte

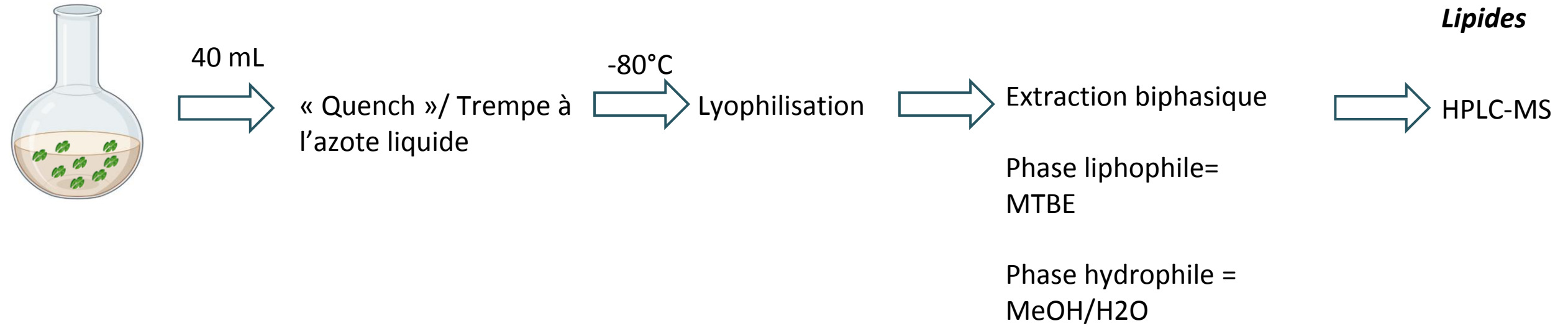
Organismes d'eau douce communs

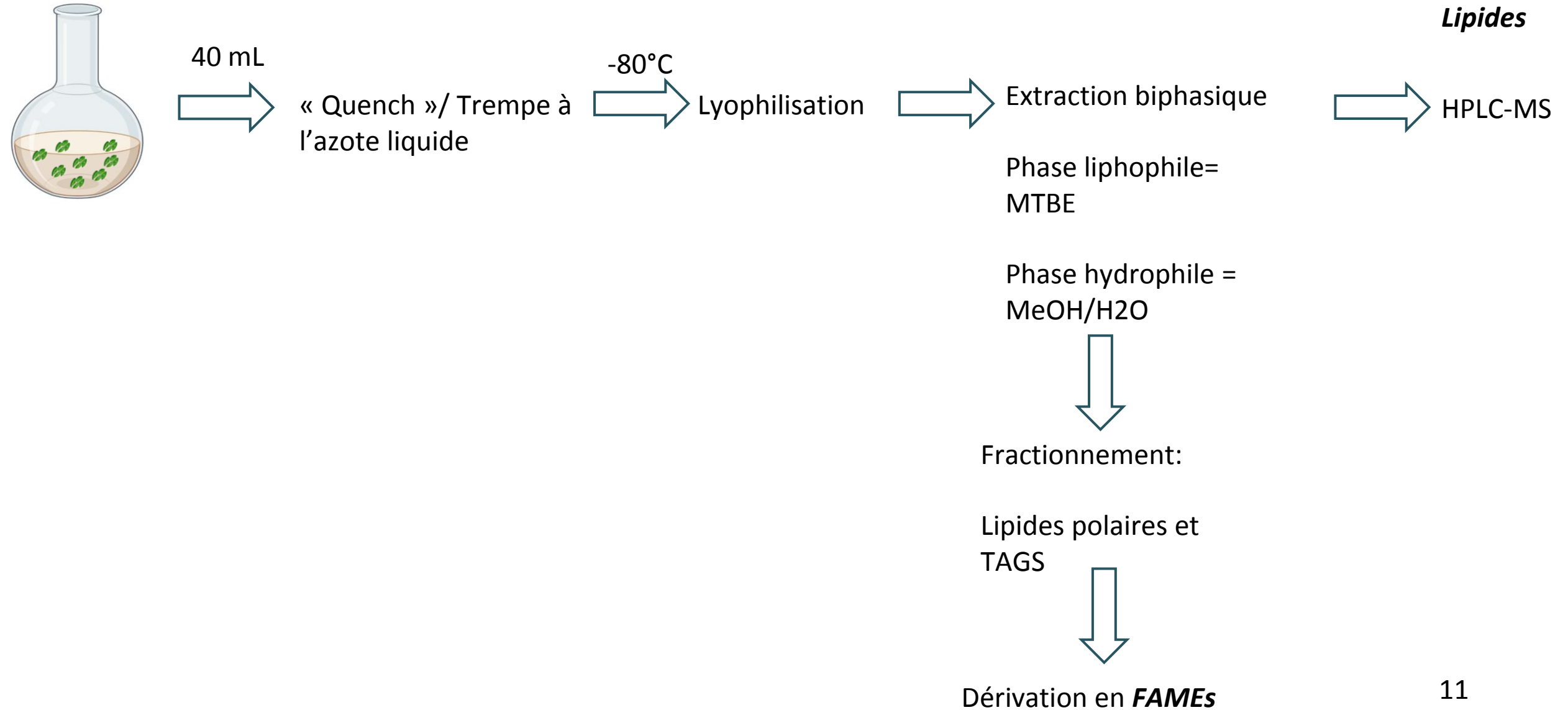
0, 10, 100, 1000 µg/L

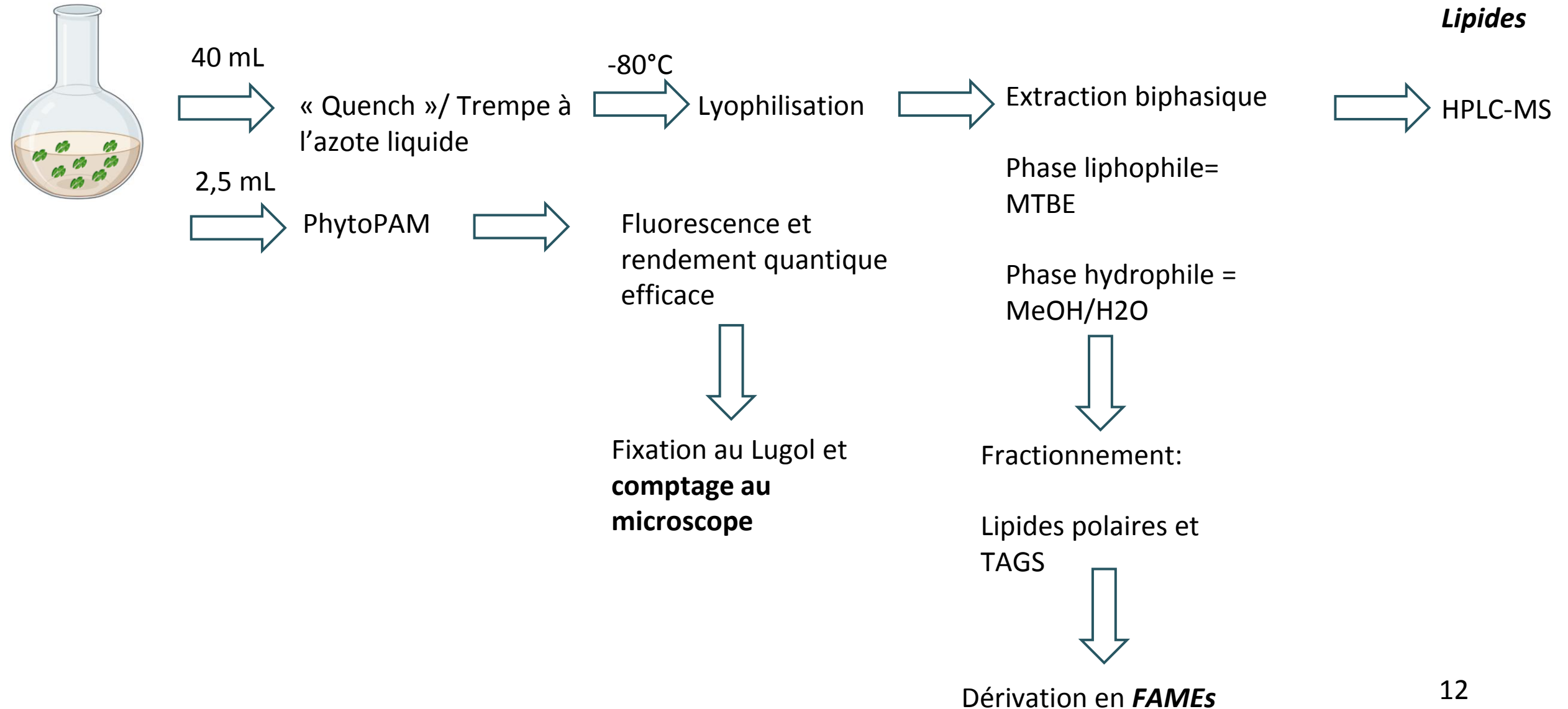
**Atrazine**

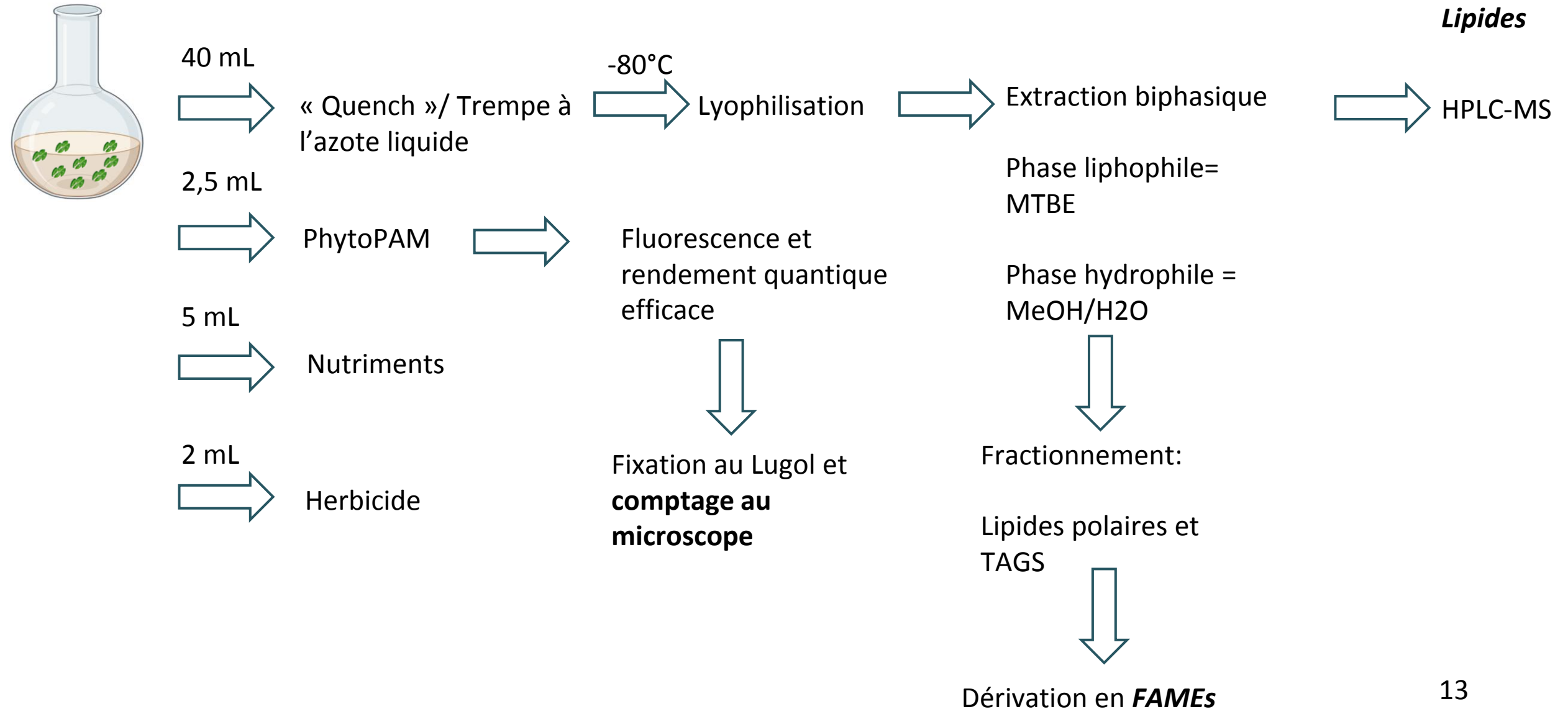
7 jours, 20°C, cycle 16:8

- Paramètres photosynthétiques : rendement quantique effectif et fluorescence de chlorophylle a
- Densité cellulaire et composition du mélange
- Profils en lipides et en acides gras

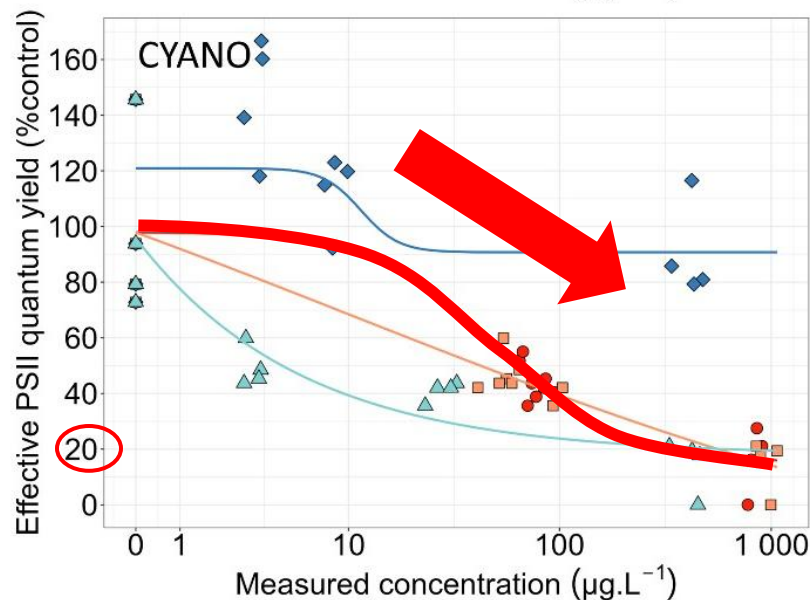
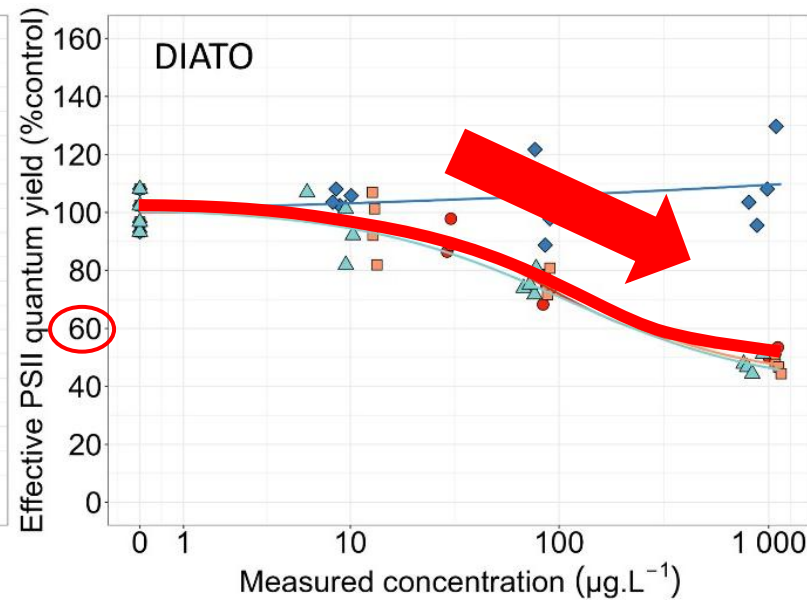
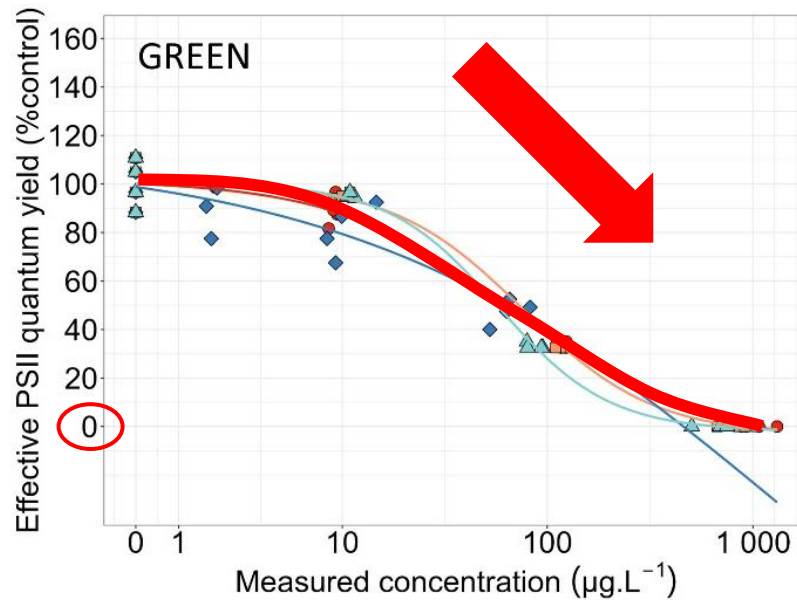








## Descripteurs « classiques » : Rendement quantique effectif en mono-culture

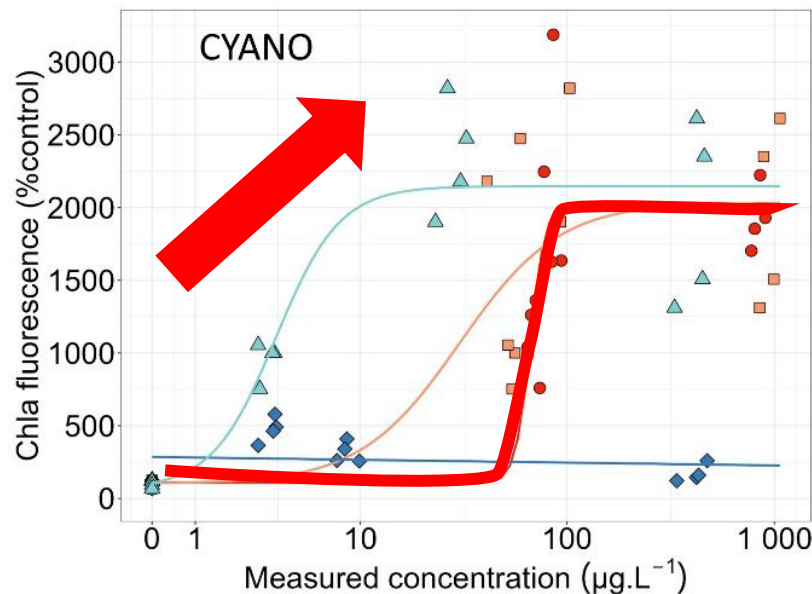
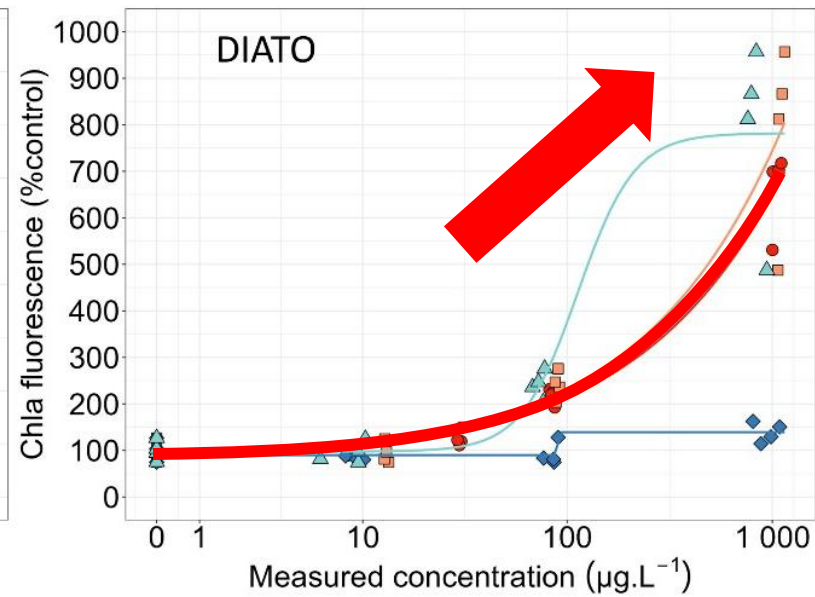
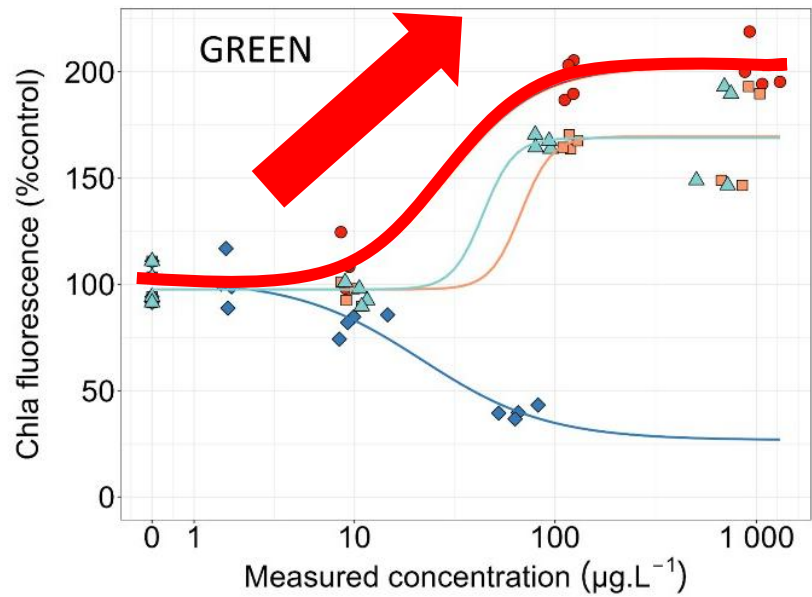


Herbicide condition

- Atrazine alone
- Atrazine in mixture
- ◆ S-metolachlor alone
- ▲ S-metolachlor in mixture

- Effet de l'atrazine sur le rendement quantique effectif
- La plus forte concentration d'atrazine a mené à l'inhibition totale du rendement de GREEN, à une inhibition d'environ 80% chez CYANO et d'environ 40% pour DIATO

## Descripteurs « classiques » : Fluorescence de la chlorophylle en mono-culture



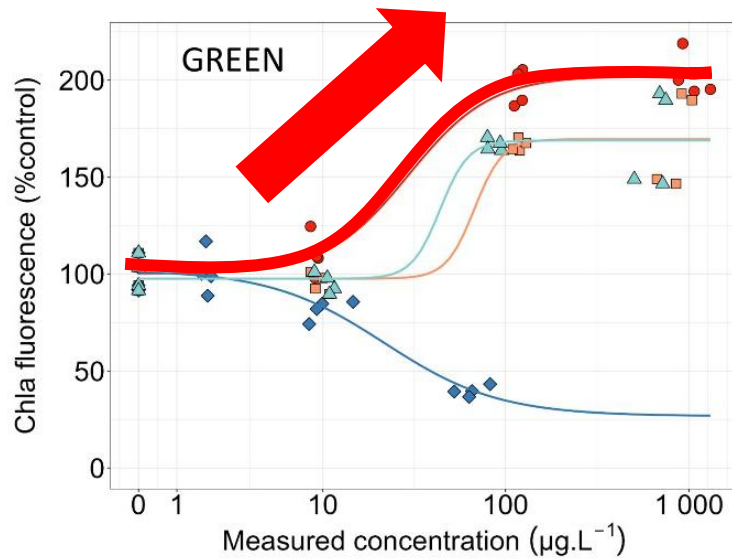
### Herbicide condition

- *Atrazine alone*
- *Atrazine in mixture*
- *S-metolachlor alone*
- *S-metolachlor in mixture*

- Parallèlement, la fluorescence de la chlorophylle a augmenté



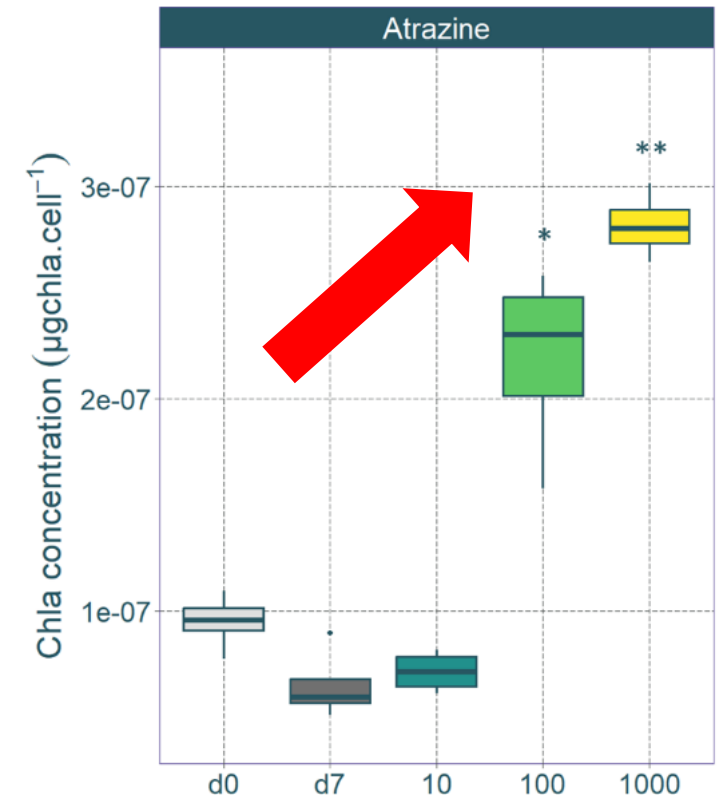
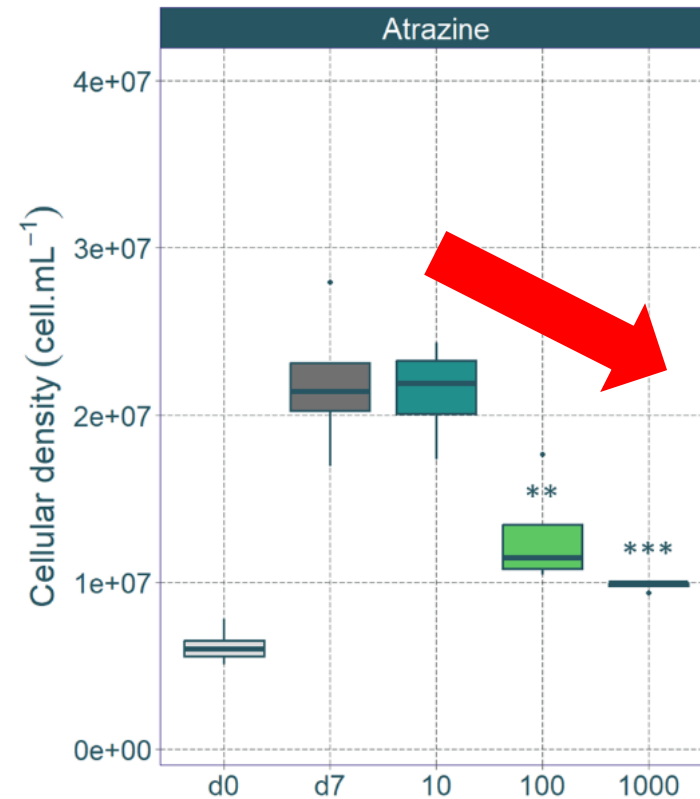
## Descripteurs « classiques » : Densité cellulaire en mono-culture



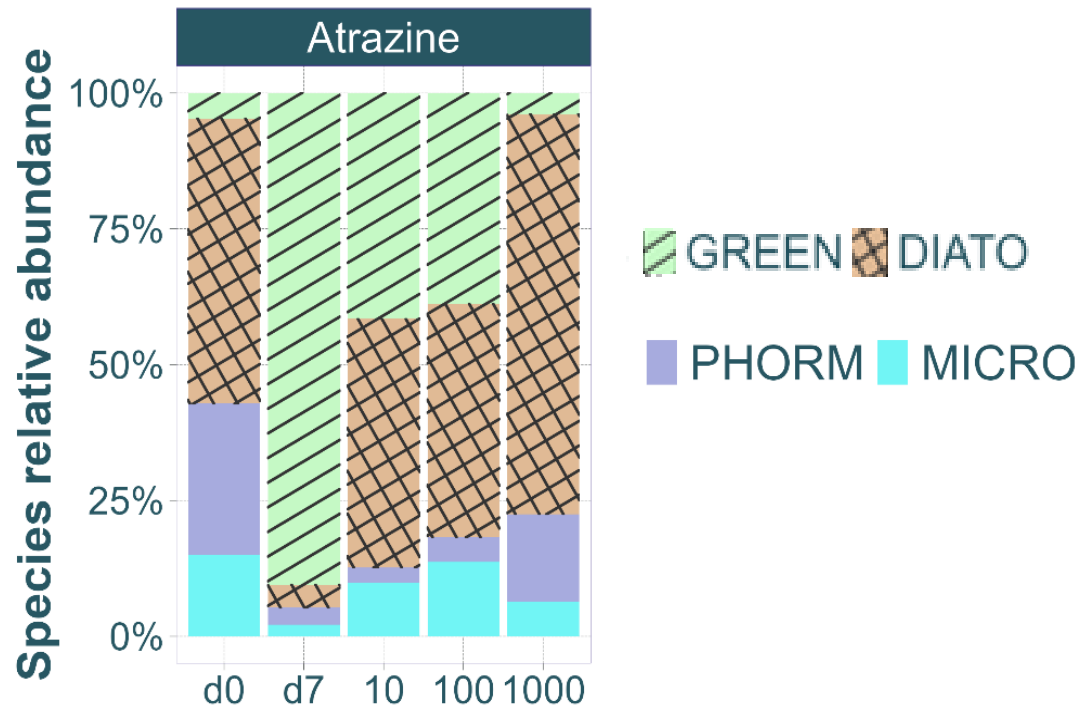
- Augmentation de la fluorescence mais diminution de la densité cellulaire...

=> augmentation de la fluorescence de la chlorophylle a intracellulaire

- Shade adaptation chez GREEN?



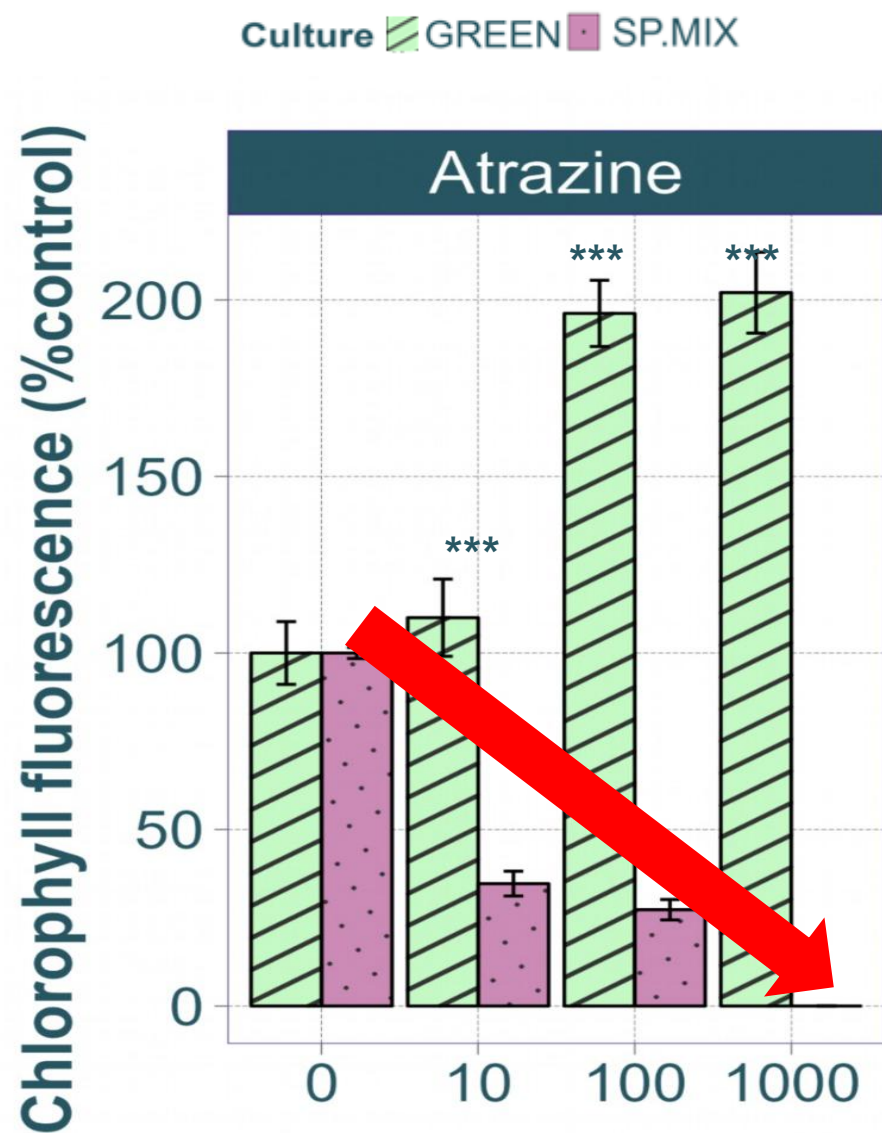
## Descripteurs « classiques » : Densité cellulaire en culture plurispécifique



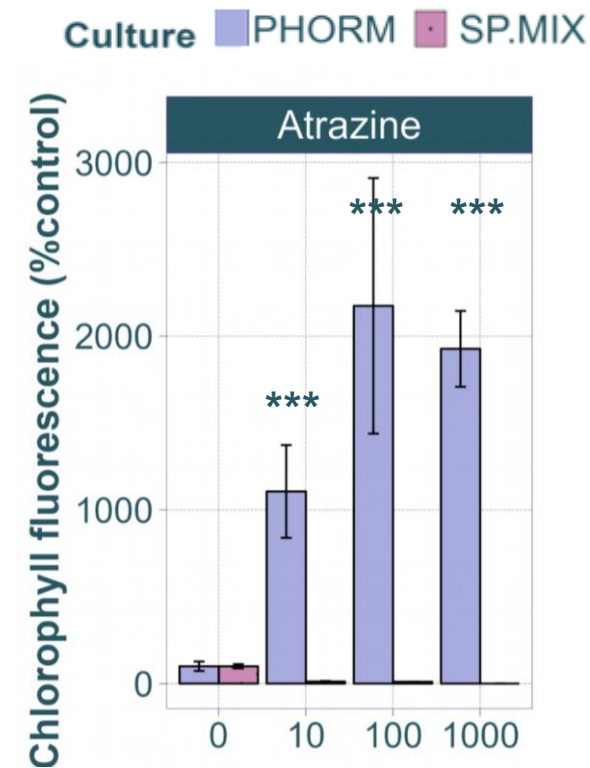
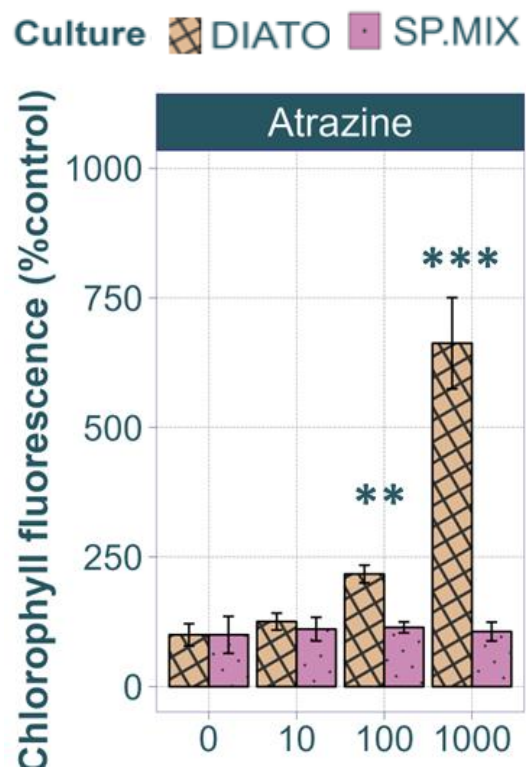
- Augmentation importante de GREEN dans les témoins entre le début et la fin de l'expérience (7 jours)
- Diminution significative de la densité cellulaire de GREEN aux plus fortes concentrations d'atrazine mais pas de modification de la densité cellulaire des autres espèces dans la co-culture SP.MIX
- En mono- comme en co-culture, l'algue verte semble être le groupe le plus sensible, comparé à DIATO et CYANO (Bérard et al., 2003; Weiner et al., 2004)

Figure 1 : Abondance relative des différentes espèces dans le mélange de culture, aux différentes concentrations d'exposition. Ces résultats sont issus des observations microscopiques.

Descripteurs « classiques » : Fluorescence de la chlorophylle en culture plurispécifique



Différence entre la fluorescence de la chlorophylle (en fonction de la réponse du témoin) en mono- et co-culture

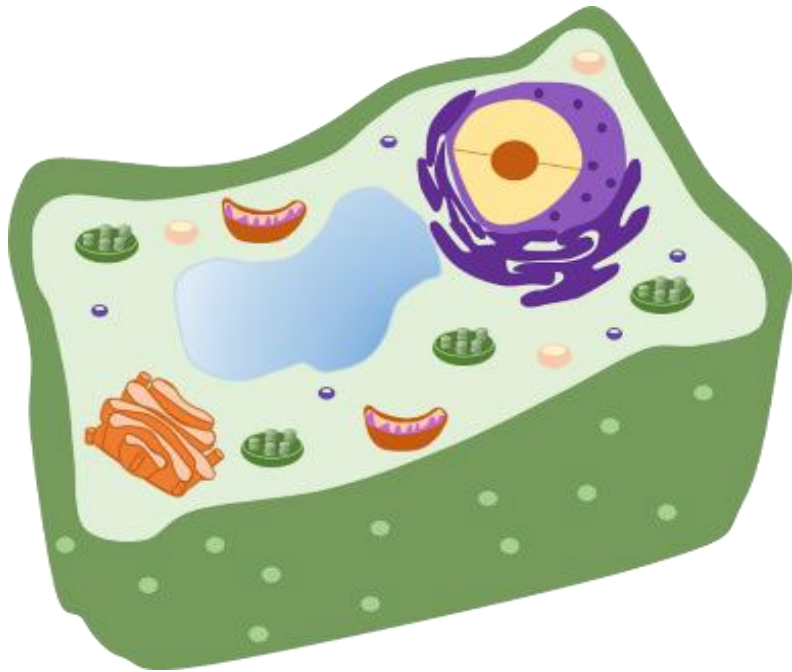


Les effets observés des contaminants et leur toxicité diffèrent si on considère les espèces en mono- ou en co-culture.

### Avantage de la « vie en communauté »?

- La présence d'autres espèces peut diminuer la disponibilité/l'absorption des contaminants pour les autres algues
- Certaines espèces sécrétant des exopolysaccharides pourraient influencer la disponibilité des herbicides pour les autres organismes de la co-culture
- Les résultats montrent alors que les cultures ont des réponses différentes si elles sont en mono- ou co-culture donc possiblement une modulation de la toxicité... mais des analyses supplémentaires sont nécessaires pour déterminer si la co-culture entraîne une toxicité plus ou moins importante qu'en mono-culture

## Descripteurs lipidomiques : teneur en lipides



### Lipides chloroplastiques

Photo-protection et fonctionnement des thylacoïdes

- MGDG
- DGDG
- SQDG
- PG



### Lipides extra-chloroplastiques

Structure et fonctionnement des membranes cellulaires

- PE
- PC

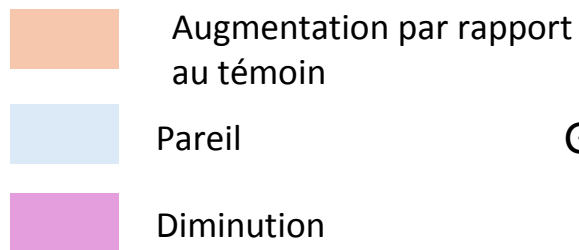
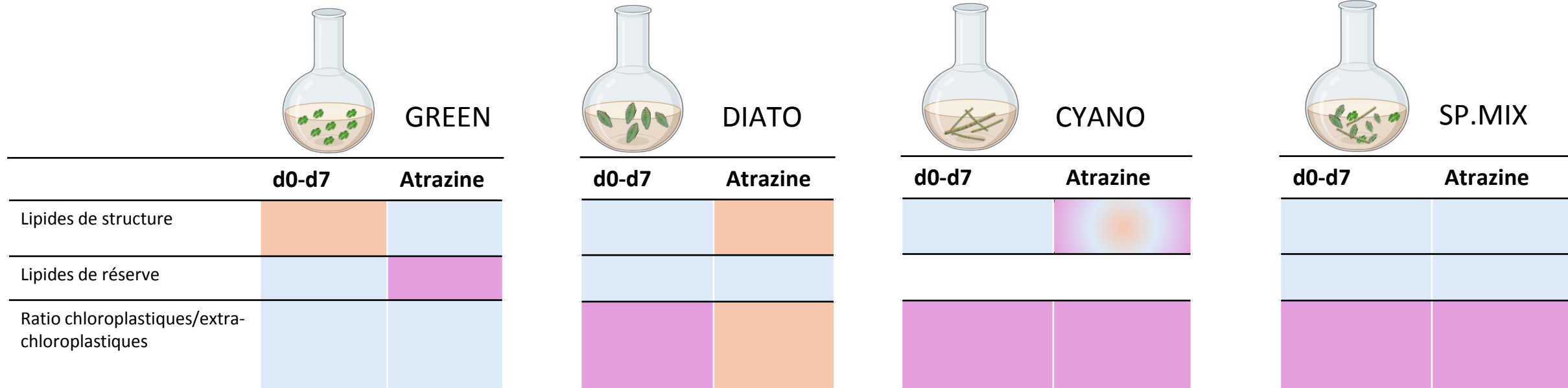


### Lipides de réserve

Stockage de carbone et d'énergie

- TAG

## Descripteurs lipidomiques : teneur en lipides



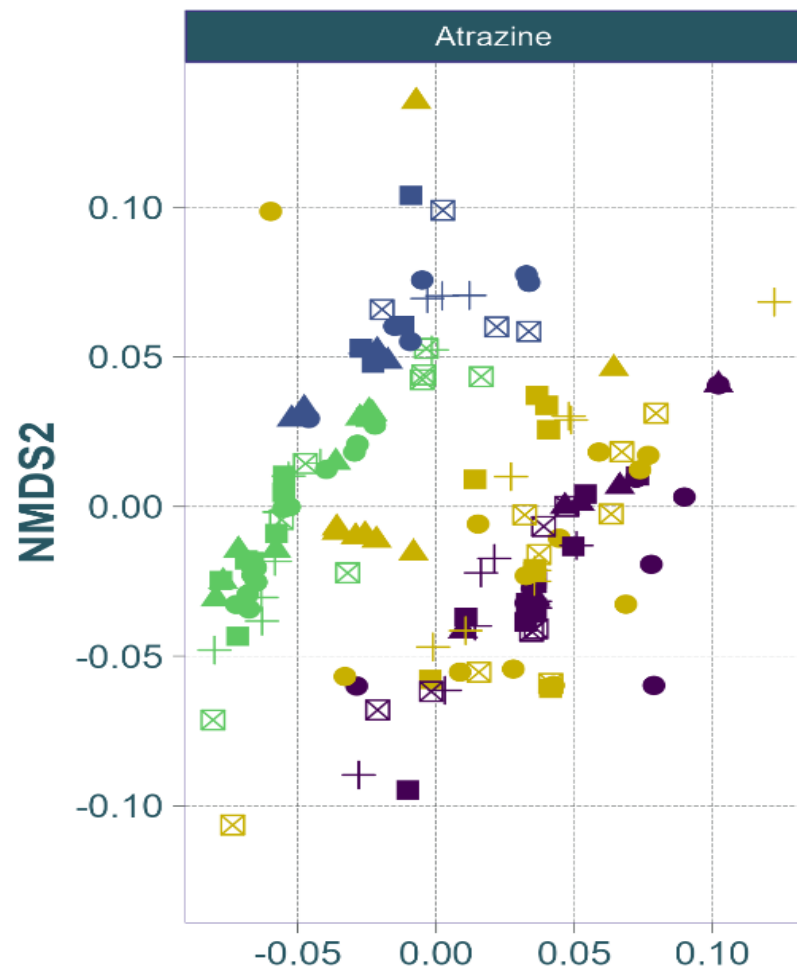
Globalement, l'atrazine affecte les teneurs en lipides pour les différentes cultures.

Des effets atténués en communauté

### Descripteurs lipidomiques : acides gras (constitutifs des lipides)

Culture    ● SP.MIX    ● CYANO    ● DIATO    ● GREEN

Condition    ● Initial control (d0)    ▲ Final control (d7)    ■ 10    + 100    ⊠ 1000



- La NMDS permet d'observer que les différences dans les FAMES s'expliquent essentiellement par l'espèce en culture considérée
- En effet, certains acides gras sont des marqueurs plutôt spécifiques de certains groupes

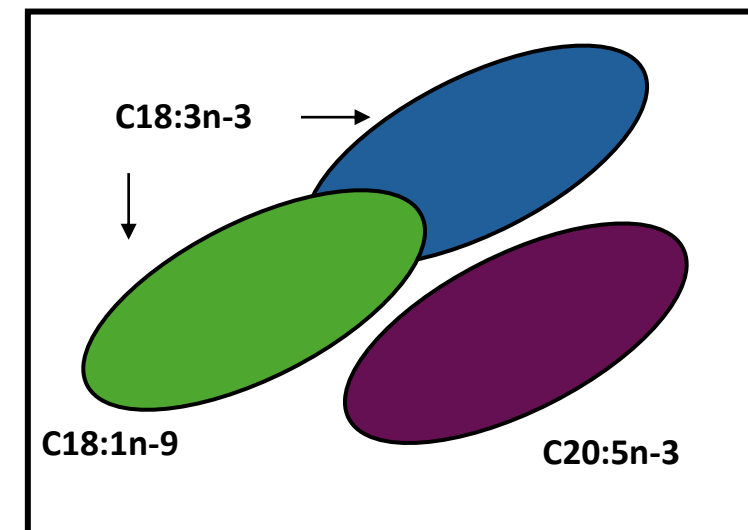


Figure 5: Non-metric Multi Dimensional Scaling (distance matrix) performed on FAMES relative proportion of all fatty acids from both TAG and polar lipids (Stress<0.18).

## Descripteurs lipidomiques : lipides et acides gras

- Ces acides gras peuvent donc être différents selon la culture considérée mais peuvent aussi être directement affectés par la contamination
- L'atrazine a affecté les teneurs et profils de lipides



Ce qui a été observé:



- Les effets de l'atrazine sur les paramètres photosynthétiques et le remodelage lipidique sont cohérents avec leurs modes d'action toxique respectifs
- Différence interspécifique de toxicité avec l'algue verte qui est globalement plus sensible que la diatomée et les cyanobactéries:
  - Des stratégies peuvent être adoptées comme la stratégie de shade-adaptation = augmentation de la chlorophylle pour contre-balancer l'inhibition de la photosynthèse ou encore accroissement de la population?
- En se basant sur les données de fluorescence, la condition en mono- vs. co-culture mène à une évaluation différente de la toxicité des composés, d'où l'importance de prendre en compte les interactions interspécifiques dans les études écotoxicologiques



Ce qui est à développer:

- Des tests de toxicité prenant en compte les effets de contaminants au mode d'action différent
- Le mode de vie en biofilm/communauté est privilégié par de nombreuses espèces de microorganismes. Les interactions inter-spécifiques ne sont pas souvent pris en compte dans les études de toxicité : intérêt d'étudier des co-cultures ou des biofilms périphytiques
- Des descripteurs comme la lipidomique pourraient permettre de diagnostiquer des effets des composés, parfois, de manière plus précoce que des descripteurs classiques. De plus, les lipides et les acides gras ont un intérêt écologique étant donné que ce sont des composés nutritionnels essentiels pour le bon fonctionnement et le développement des consommateurs primaires

Merci de votre attention!



Fonds de recherche  
Nature et  
technologies

Québec 



14-17 octobre 2024



# Références

- Battaglin WA, Furlong ET, Burkhardt MR, Peter CJ. 2000. Occurrence of Sulfonylurea, Sulfonamide, Imidazolinone, and Other Herbicides in Rivers, Reservoirs and Ground Water in the Midwestern United States, 1998. *Science of The Total Environment* 248: 123-33. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00536-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00536-7).
- Bérard A, Dorigo U, Mercier I, Becker-van Slooten K, Grandjean D, Leboulanger C. 2003. Comparison of the Ecotoxicological Impact of the Triazines Irgarol 1051 and Atrazine on Microalgal Cultures and Natural Microalgal Communities in Lake Geneva. *Chemosphere* 53: 935-44. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00674-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00674-X).
- Giroux I. 2022. Présence de pesticides dans l'eau au Québec: portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya : 2018 à 2020. Environnement et lutte contre les changements climatiques, Québec.
- Hansen SP, Messer TL, Mittelstet AR. 2019. Mitigating the Risk of Atrazine Exposure: Identifying Hot Spots and Hot Times in Surface Waters across Nebraska, USA. *Journal of Environmental Management* 250: 109424. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109424>.
- Malbezin L, Morin S, Lavoie I. 2024. Effects of atrazine and S-metolachlor on stream periphyton taxonomic and fatty acid compositions. *Ecotoxicology* 33:190-204. [doi: 10.1007/s10646-024-02738-y](https://doi.org/10.1007/s10646-024-02738-y).
- Roux C, Madru C, Millan Navarro D, Jan G, Mazzella N, Moreira A, Vedrenne J, Carassou L, Morin S. 2024. Impact of Urban Pollution on Freshwater Biofilms: Oxidative Stress, Photosynthesis and Lipid Responses. *Journal of Hazardous Materials* 472: 134523. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134523>.
- Špoljarić Maronić D, Čamagajevac IŠ, Horvatić J, Pfeiffer TŽ, Stević F, Žarković N, Waeg G, Jaganjac M. 2018. S-Metolachlor Promotes Oxidative Stress in Green Microalga *Parachlorella Kessleri* - A Potential Environmental and Health Risk for Higher Organisms. *Science of The Total Environment* 637-638: 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.433>.
- Weiner JA, DeLorenzo ME, Fulton MH. 2004. Relationship between Uptake Capacity and Differential Toxicity of the Herbicide Atrazine in Selected Microalgal Species. *Aquatic Toxicology* 68: 121-28. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.03.004>.

## Concentration en nutriments pour GREEN, DIATO et CYANO

	Nominal concentration (µg.L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Cl (mg.L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Na (mg.L <sup>-1</sup> )	K (mg.L <sup>-1</sup> )	Ca (mg.L <sup>-1</sup> )	Mg (mg.L <sup>-1</sup> )
GREEN	<b>Initial control</b>	0.36 ± 0.05	60.27 ± 1.66	2.78 ± 0.22	5.27 ± 0.08	11.71 ± 0.03	0.00	32.59 ± 0.09	84.50 ± 0.22	5.70 ± 0.07	1.29 ± 0.03
	<b>Final control</b>	0.01	0.00	0.04	0.12	12.06	0.00	34.18	84.92	1.68	0.81
Atrazine	10	0.01	0.00	0.04	0.29	12.078	0.00	34.06	84.75	2.01	0.84
	100	0.01	0.00	0.03	2.02	12.01	0.00	33.94	85.80	2.56	0.94
	1000	1.05	31.92	0.02	4.50	12.04	0.00	33.97	87.61	6.26	1.37
S-metolachlor	10	0.01	0.00	0.04	0.25	11.99	0.00	32.33	80.53	2.01	0.82
	100	0.01	0.01	0.026	0.06	12.20	0.00	34.35	86.49	2.43	0.97
	1000	0.01	0.01	0.03	0.14	12.16	0.00	35.13	86.66	3.73	1.21
Mixture	10	0.01	0.00	0.04	0.14	11.96	0.00	34.02	84.73	2.02	0.85
	100	0.01	0.00	0.02	1.72	11.97	0.00	34.01	86.05	2.69	1.01
	1000	7.55	11.07	0.02	3.71	12.15	0.00	34.22	88.89	6.12	1.53
DIATO	<b>Initial control</b>	0.24 ± 0.01	120.96 ± 0.37	8.16 ± 0.06	8.88 ± 0.02	11.70 ± 0.01	0.00	34.03 ± 0.09	88.43 ± 0.29	5.97 ± 0.20	1.62 ± 0.03
	<b>Final control</b>	0.57	102.85	6.31	8.04	12.14	0.02	35.19	90.82	6.41	2.12
Atrazine	10	0.56	101.37	6.22	7.84	12.11	0.02	33.52	89.78	6.38	1.97
	100	0.61	100.91	5.99	7.88	12.15	0.02	33.56	90.00	6.33	1.91
	1000	0.69	100.48	6.91	7.73	12.06	0.02	33.48	89.51	6.47	2.14
S-metolachlor	10	0.56	101.84	6.35	7.81	12.14	0.02	33.68	90.21	6.41	2.00
	100	0.68	100.31	6.05	7.76	12.31	0.02	33.89	90.91	6.45	1.99
	1000	4.40	78.36	4.91	6.99	12.22	0.02	33.69	90.25	6.45	2.12
Mixture	10	0.55	101.46	6.24	8.02	12.06	0.02	35.15	90.55	6.38	2.08
	100	0.58	99.63	6.01	7.95	12.06	0.02	35.09	90.46	6.36	2.04
	1000	0.58	101.60	7.15	8.03	12.13	0.02	35.00	90.79	6.56	2.28
CYANO	<b>Initial control</b>	0.27 ± 0.06	56.21 ± 1.05	4.68 ± 0.08	6.84 ± 0.05	12.32 ± 0.05	0.00	44.86 ± 0.08	88.10 ± 0.14	5.48 ± 0.07	0.87 ± 0.02
	<b>Final control</b>	0.18	0.01	0.24	4.84	12.70	0.03	47.26	91.33	5.69	0.37
Atrazine	10	0.25	0.01	0.67	4.49	12.67	0.03	45.29	91.20	5.97	0.35
	100	0.30	0.04	0.92	4.49	13.13	0.03	46.60	91.26	6.06	0.67
	1000	0.43	28.38	2.87	5.80	12.38	0.03	45.33	92.09	6.84	1.34
S-metolachlor	10	0.36	0.00	0.51	4.85	12.72	0.04	47.18	91.42	5.79	0.52
	100	0.37	0.04	0.18	4.95	12.79	0.03	45.57	91.94	5.78	0.59
	1000	0.38	0.03	0.03	4.63	12.98	0.03	45.80	91.71	5.74	0.70
Mixture	10	0.29	0.09	2.18	4.81	12.63	0.04	47.06	92.20	5.69	0.62
	100	0.34	0.00	2.19	4.53	12.50	0.03	47.07	91.77	5.93	0.75
	1000	0.26	18.19	0.96	5.37	12.40	0.04	46.90	92.86	6.34	1.37

## SP.MIX

	Concentration ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	NO2 (mg.L <sup>-1</sup> )	NO3 (mg.L <sup>-1</sup> )	PO4 (mg.L <sup>-1</sup> )	SO4 (mg.L <sup>-1</sup> )	Cl (mg.L <sup>-1</sup> )	NH4 (mg.L <sup>-1</sup> )	Na (mg.L <sup>-1</sup> )	K (mg.L <sup>-1</sup> )	Ca (mg.L <sup>-1</sup> )	Mg (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Initial control</b>		0.48	108.24	6.59	8.06	12.67	0.00	38.61	86.54	4.77	1.04
<b>Final control</b>		0.00	0.01	0.16	2.44	11.97	0.01	39.59	84.82	3.85	0.49
Atrazine	10	0.97	66.51	3.84	6.61	11.96	0.00	0.00	87.54	5.17	1.37
	100	1.05	70.24	4.29	6.84	11.93	0.00	0.00	87.76	5.29	1.50
	1000	1.27	85.90	6.84	7.46	11.90	0.00	0.00	87.90	5.74	1.92
S- metolachlor	10	0.15	4.69	0.08	3.02	12.03	0.00	0.00	86.09	4.35	0.64
	100	0.97	54.02	2.81	5.98	11.83	0.00	0.00	86.45	4.68	1.24
	1000	3.94	58.75	4.18	6.63	12.04	0.00	0.00	88.43	5.32	1.67
Mixture	10	1.22	50.08	2.75	6.11	11.90	0.00	0.00	87.39	5.10	1.31
	100	2.14	75.29	5.80	7.13	11.88	0.00	0.00	88.74	5.90	2.08
	1000	2.05	75.4	5.71	7.13	11.86	0.00	0.00	87.85	5.29	1.66

- Les concentrations des nutriments les plus basses sont pour le témoin après 7 jours d'exposition et aux plus faibles concentrations d'exposition = cohérent avec la présence importante de l'algue verte