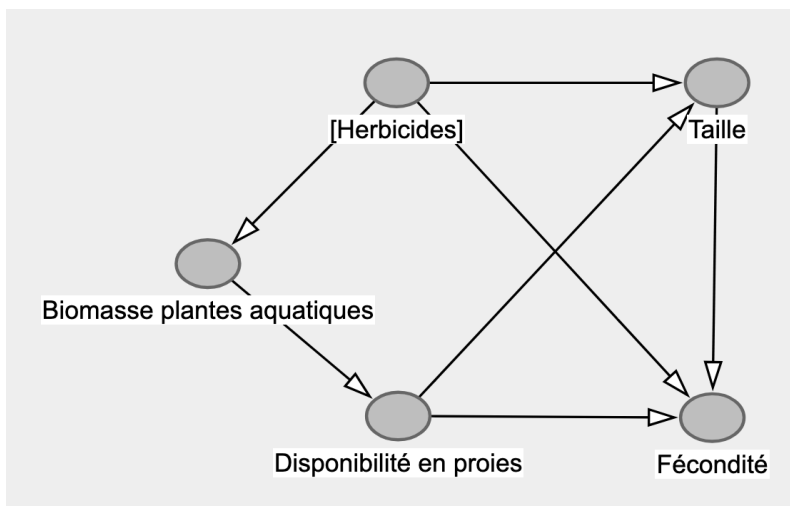


## ECL750 – Analyses avancées des données écologiques

### Exercice sur l'inférence causale 2025

#### Problème

Dans le cadre de votre prochain emploi, vous travaillez pour un organisme de bassin versant (OBV) situé en Montérégie. L'OBV s'inquiète du fait que la pollution agricole, et notamment la présence d'herbicides dans l'eau, puisse affecter la capacité reproductrice du Méné d'herbe (*Notropis bifrenatus*), une espèce classée vulnérable par le Gouvernement du Québec. Plus précisément, l'OBV pose l'hypothèse que les fortes concentrations en herbicides peuvent réduire la biomasse en plantes aquatiques, ce qui affectera négativement la disponibilité en proies des ménés. Par conséquent, s'il y a moins de proies, les femelles ménés seront plus petites et devraient avoir moins de réserves énergétiques à investir dans leur reproduction. Or la taille des femelles poissons est réputée être corrélées positivement à leur fécondité, soit le nombre d'œufs qu'elles peuvent pondre. Ce paramètre est probablement crucial pour la démographie du Méné d'herbe du fait que les individus atteignant la maturité sexuelle ne se reproduisent qu'une ou deux fois. Par ailleurs, l'OBV pense aussi que les herbicides peuvent aussi avoir un effet toxicologique sur les poissons et affecter directement leur croissance et leur fécondité. Cette cascade d'effets hypothétique est résumée par le graphe acyclique dirigé (DAG) de la figure suivante.



Votre premier mandat repose sur une base de données incluant notamment le nombre d'œufs trouvé chez 120 femelles Méné d'herbe gravides capturées aléatoirement sur le territoire dont l'OBV est responsable. À chaque site de capture, un échantillon d'eau a permis de mesurer la concentration totale ( $\mu\text{g/L}$ ) de quatre herbicides (i.e., glyphosate, imazéthapyr, S-métolachlore et atrazine), ainsi que la densité en crustacés zooplanctoniques (individus/L), proies des ménés. De plus, on y a mesuré la biomasse moyenne ( $\text{kg/m}^2$ ) en plantes aquatiques sur la base de relevés faits dans cinq parcelles de  $1 \text{ m}^2$ . Enfin, la longueur à la fourche (mm) des Méné d'herbe a été mesurée. Vous trouverez cette base de données issue d'une campagne d'échantillonnage effectuée en mai et juin des années 2023 et 2024 dans le fichier « meneherbe.txt » sur Moodle.

Voici les questions auxquelles l'OBV aimerait bien que vous répondiez à l'aide de vos analyses :

1. En supposant que le DAG ci-dessus représente correctement les processus en action, quel est l'effet total d'une augmentation d'un  $(1) \mu\text{g/L}$  de la concentration totale en herbicides (i.e., en glyphosate, imazéthapyr, métolachlore et atrazine) sur (a) la biomasse en plantes aquatiques et (b) sur la fécondité des Méné d'herbe?

2. Toujours en supposant que le DAG ci-dessus représente correctement les processus en action, y a-t-il une évidence que les herbicides ont un effet toxicologique (i.e., affectent directement) la fécondité des Méné d'herbe? Si oui, quel est cet impact et quelle est la proportion de la variance en fécondité dont il est responsable? Comment cette proportion se compare-t-elle à celle expliquée par les effets indirects?

3. Est-ce que le fait de ne pas considérer que la concentration en herbicides puisse affecter directement la disponibilité en proies des Méné d'herbe peut biaiser les effets mesurés aux points 1 et 2? Le cas échéant, quelle est l'ampleur de ce biais? De plus, dans l'éventualité où le type d'agriculture pratiquée près du site de capture influence à la fois la concentration en herbicides et en matières fertilisantes (i.e., en azote et phosphore) retrouvées dans l'eau, et que ces dernières influencent à leur tour la biomasse en plantes aquatiques, faudrait-il revoir les estimations faites aux points 1 et 2?