

ÉCOLE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE L'ADMINISTRATION ÉCONOMIQUE



Les Industriels face à leur responsabilité

Le rôle de la pollution industrielle indirecte dans la qualité des eaux de surfaces

Acknowledgments : Nous remercions les encadrants du projet, M. Rathelot et plus particulièrement M. Petev, pour leurs suggestions et conseils avisés tout au long de l'année, qui nous ont permis de mener à bien notre projet d'étude. Nous tenions également à mentionner nos camarades de classe Jérémie Bornet, Vincent de Chaisemartin, Marie-Olive Thaury et Clotilde Voisin pour leurs remarques pertinentes sur notre travail et leurs présentations scientifiques qui nous ont inspirés pour nos analyses.

Abstract : Le niveau de pollution des eaux de surface en France est inquiétant, les sources de ces dégradations sont multiples et difficiles à isoler rendant la tâche du décideur public complexe pour responsabiliser fiscalement les pollueurs en conformité avec le principe "pollueur-payeur". Nous nous intéressons aux limites et aux angles morts de l'application de ce principe en France, et plus particulièrement à l'impunité relative des industries polluantes. Notre étude a établi que l'émission de polluants industriels dans l'air a un impact sur la qualité des cours d'eau du même ordre de grandeur que le rejet direct de polluants industriels dans les eaux. En cela, nous montrons que le cadre législatif actuel d'application de la fiscalité environnementale n'est pas suffisamment contraignant.

Arman Akgönül, Joris Detrain

Encadrant : Ivaylo Petev

14 mai 2024

1 Introduction

L'Acte Unique de 1987 intègre formellement le principe "pollueur-payeur" dans la législation européenne. En pratique, pour faire appliquer ce principe, les autorités ont recours à des instruments de marché appelés "fiscalité environnementale", communément désignés sous le nom de taxes pigouvianes. Ces taxes visent à internaliser les externalités environnementales des agents économiques dans leur propre programme d'optimisation pour rétablir un équilibre de marché : en bref, les coûts sociaux et environnementaux engendrés par une pollution doivent être supportés par le pollueur lui-même. Conformément au principe de primauté du droit européen, la France a également intégré ce principe dans son code de l'environnement. Nous nous intéressons ici à la pollution des eaux de surface, plus précisément à celle de source industrielle, car nous pensons que sa mesure et la manière dont elle est régulée par le principe pollueur-payeur est problématique. Les sources et les déterminants de la pollution des eaux sont multiples et, en observant uniquement le résultat, il est difficile de les dissocier afin de les identifier singulièrement.

Il peut être utile de dresser brièvement un constat de la situation actuelle de la qualité des eaux de surface françaises et des causes globales de leur pollution. Les rapports directifs indiquent un état assez mauvais des masses d'eau de surface. Bien que nous observions une légère amélioration par rapport aux années précédentes, en 2019, 57% des masses d'eau ont un état écologique "médiocre" ou pire⁽¹⁾

Les sources de pollution de ces eaux sont diverses mais connues. La littérature semble en avoir bien défini les facteurs principaux (Owa 2013) : en plus des émissions des industries, les activités agricoles et les activités humaines diverses liées aux villes ou aux transports⁽²⁾ ont un impact. Il existe également certains facteurs naturels qui peuvent affecter le niveau de pollution des eaux comme la météo, le débit des eaux ou encore la topographie (Chaudhry et Malik 2017). Enfin, en France, il y a un grand nombre d'ouvrages de dépollution qui permettent d'assainir les eaux. La Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) estime à 15% la proportion de la pollution des eaux due au secteur industriel.

Étant donné que c'est cette pollution qui nous intéresse dans notre étude, la littérature identifie des grandes familles de sources de pollution industrielle (Areej Malik et Aslam 2020). D'une part, elle peut être directe via un rejet de polluants divers dans l'eau (produits phytosanitaires, métaux lourds, nitrates...) mais également indirecte, par exemple via des émissions de polluants dans l'air (dioxyde de carbone, azote, méthane...) qui se retrouvent *in fine* dans les eaux du fait du cycle de l'eau.

Tâchons de présenter le contexte juridique de l'application du principe pollueur-payeur pour les industries en France. Tout d'abord, il faut savoir que la France est placée 21e pays européen en termes de poids de la fiscalité écologique dans le PIB selon Eurostat⁽³⁾. La littérature existante sur le sujet permet en effet de confirmer ce contexte fiscal très peu contraignant pour les industries polluantes. (Aurelien Baudu 2022), (Chiroleu-Assouline 2015). Au demeurant, conformément au droit européen, certains instruments existent, bien que leur application soit complexe et en deçà des exigences et des objectifs environnementaux. Pour notre étude, seuls deux instruments nous intéressent : la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) ainsi que la redevance "Pollution de l'eau d'origine non domestique et modernisation des réseaux de collecte" des agences de l'eau.

La TGAP introduite en 2000 est l'instrument le plus global permettant de rendre fiscalement responsables les pollueurs. Les industries y sont soumises dans le cadre de leur pollution de l'air mesurée comme ayant un impact sur la pollution atmosphérique. Par ailleurs, les agences de l'eau peuvent mettre en place une redevance en fonction des rejets directs de polluants dans les eaux. Toutefois, l'application de cette redevance reste relativement rare même si elle a le mérite d'exister. Enfin, il existe des sanctions économiques particulières qui peuvent être appliquées par des tribunaux lorsque des syndicats ou des associations de particuliers parviennent à réunir des preuves de dommages causés par la pollution d'une industrie⁽⁴⁾.

En revanche, nous remarquons à l'issue de cette liste d'instruments l'absence de taxation qui permettrait de rendre responsables les industries de leur pollution de l'eau indirecte. En conclusion, le contexte de fiscalité environnementale apparaît comme faible dans son importance et incomplet dans sa couverture.

C'est en cela que nous souhaitons répondre à la question suivante : quel rôle joue la pollution industrielle

(1). Synthèse 2019 des états des lieux des bassins

(2). Une étude du Cerema a récemment montré pour la première fois comment la seule pollution des routes avait un impact clair sur la qualité des rivières à courte et moyenne distances via le cycle de l'eau.

(3). Eurostat - Tendances de la fiscalité dans l'Union européenne

(4). Pour avoir pollué un cours d'eau, Nestlé condamné à 500 000€ d'amende et 475 000€ de dédommagement des pêcheurs locaux

indirecte dans la qualité des eaux de surfaces ? Cet angle de recherche nous permettra de comparer l'importance de la pollution industrielle indirecte des eaux de surface pour analyser à quel point la fiscalité environnementale actuelle est lacunaire.

Notre étude s'inscrit évidemment dans un contexte scientifique existant, il existe différentes études qui proposent des analyses proches de notre objectif sans pour autant répondre exactement à notre problématique. L'impact des rejets d'eau polluée directement dans les rivières a été longuement étudié (Boeglin et Roubaty 2007). De même, l'impact de la pollution diffuse, donc indirecte, de l'agriculture et celui des activités domestiques sur la qualité des eaux de surface ont fait l'objet d'études quantitatives (Phu Nguyen et Villeneuve 2018), (Mellander et al. 2018). L'impact de l'utilisation de produits phytosanitaires agricoles a d'ailleurs fait l'objet d'études plus précises (Chow et al. 2020). Enfin, notre travail s'approche plus, dans l'esprit mais pas dans la méthode, d'une analyse au Kazakhstan qui visait à regarder l'impact global des émissions de polluants métalliques par les fermes et les industries (Guillou 2009). Toutefois, cette étude n'étant pas spécifiquement centrée sur l'eau, les résultats ne sont pas très précis et ne permettent pas de répondre à notre question qui nécessite une comparaison claire entre l'impact de la pollution diffuse et directe. L'absence d'étude systématique et qualitative de l'impact de la pollution diffuse industrielle sur la qualité des eaux de surface tient en partie à la difficulté d'obtenir des données nécessaires et d'en tirer des analyses satisfaisantes (Ortolano et Shepherd 1995). En cela, notre travail n'a pas l'ambition de proposer un modèle sans faille de méthode d'évaluation de l'impact de cette pollution mais plutôt de dresser un comparaison quantitative de la magnitude des impacts de la pollution directe et indirecte pour en tirer des conclusions en termes de politiques publiques.

2 Construction de la base de données

La base de données que nous utilisons pour produire nos analyses est construite à partir de nombreuses données qu'il nous a fallu traiter et réunir.

2.1 Variable d'intérêt - État écologique des rivières

Notre variable d'intérêt est l'état écologique des rivières métropolitaines. Nous utilisons les données de Qualité-rivière et plus précisément "l'indicateur d'état écologique".

2.1.1 Présentation de l'indicateur

Cet indicateur est défini dans le code de l'environnement comme la mesure officielle de l'état écologique des rivières françaises⁽⁵⁾. C'est un agrégat de différents indicateurs signalant la qualité des rivières en termes biologique, hydromorphologique ou physio-chimique. C'est un indicateur discret entre 1 et 5, 1 désignant une rivière en très bon état et 5 en très mauvais état.

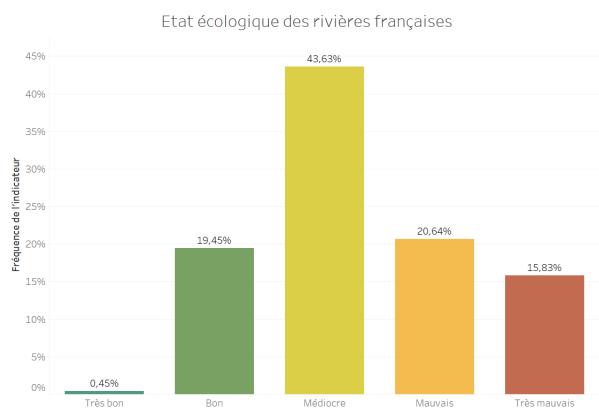


FIGURE 1 – Distribution de l'état écologique des rivières

(5). Articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement

2.1.2 Intégration dans la base de données

Nous avons donc différents points de mesures sur les rivières françaises, plusieurs par an au même endroit. Pour lisser les effets stochastiques de la saisonnalité ou de la météo, nous prenons la moyenne de l'indicateur discret sur les 5 derniers prélèvements ce qui en fait un indicateur pseudo-continu entre 1 et 5. Nous avons 12171 points de prélèvements différents pour 6542 masses d'eau différentes (rivières, fleuves, ruisseaux...). Ces 12171 points constituent les lignes de notre dataframme.

Par ailleurs, nous ajoutons une colonne "etat_precedent" désignant la valeur de l'indicateur d'état écologique sur la même rivière en amont s'il y a une autre mesure. Par exemple, si un point de prélèvement sur l'Yvette à Orsay indique un état écologique de 2 puis à Palaiseau de 3, le point situé à Palaiseau, aura comme valeur dans la colonne "etat_precedent" 2.

2.2 Pollution industrielle

2.2.1 Présentation des données

Notre variable dépendante principale réside dans la pollution industrielle. Nous utilisons les données du Registre des rejets et des transferts de polluants qui liste, pour 9790 industries polluantes françaises, leurs émissions de 99 différents polluants (Co2, Méthane, Plomb, Zinc, Azote...) dans différents milieux (Eau, Sol, Air).

2.2.2 Intégration dans la base de données

Nous avons décidé d'intégrer ces données de manière agrégée dans notre base. C'est-à-dire que pour chaque point de prélèvement de rivière, nous avons dessiné un demi-cercle de 10km de rayon⁽⁶⁾ en amont au-dessus de notre point et nous avons sommé la quantité de chaque polluant émis dans cette zone par milieu. Par exemple, si une première industrie proche et au-dessus en terme d'altitude émet X_1 kg/an de Co2 dans l'air ainsi que Y_1 kg/an d'Azote dans l'eau, et qu'une seconde industrie émet X_2 kg/an de Co2 dans l'air ainsi que Y_2 kg/an d'Azote dans l'air, alors pour ce point de prélèvement, nous aurons trois colonnes de polluants : Co2 (Air), Azote (Eau) et Azote (Air) dont les valeurs respectives seront $X_1 + X_2$, Y_1 et Y_2 . Par ailleurs, nous avons décidé de ne garder que les polluants principaux, soit dans leur présence, soit dans leur importance environnementale selon la littérature.

2.3 Pollution agricole

Les données sur la pollution agricole étant plus complexes à obtenir, nous allons utiliser comme proxy de cette pollution le Registre parcellaire graphique qui, sous forme de données vectorielles, représente toutes les parcelles agricoles françaises. De plus, en faisant une jointure spatiale avec le Registre des Parcelles en Agriculture Biologique, nous sommes capables de lister quelles exploitations agricoles sont bio ou non.

Pour intégrer ces données dans notre base, nous avons procédé de manière similaire aux industries avec un demi-cercle en amont cette fois de 5km de diamètre⁽⁷⁾. Dans ce demi-cercle, nous regardons la proportion de la surface qui est occupée par des exploitations agricoles et également la proportion occupée par des exploitations agricoles biologiques.

2.4 Ouvrages de dépollution

L'intégration des Ouvrages de dépollution est plus simple, en utilisant les données de Sandre, il nous suffit d'ajouter, pour chaque point de prélèvement, s'il y a une station d'épuration entre le point en question et le point de prélèvement précédent sur la même rivière, ou le début de la rivière.

2.5 Débit des cours d'eau

De même, nous introduisons dans notre base de données le débit de chaque cours d'eau grâce aux données de l'Hydroportail.

(6). Cette distance a été choisie selon des études déjà existantes (Skorbiłowicz et Skorbiłowicz 2016), (Guillou 2009)

(7). Selon l'étude du Cerema précédemment citée

2.6 Pollution routière

Pour intégrer la pollution routière précédemment mentionnée, nous utilisons les données de Trafic moyen journalier annuel sur le réseau routier national. Comme son nom l'indique, pour les routes françaises, nous avons accès au trafic moyen journalier annuel mesuré en nombre de voitures moyen par jour sur la route sur l'année. Comme pour les industries et les parcelles agricoles, nous traçons cette fois un demi-cercle de 2km de rayon⁽⁸⁾ et nous faisons la somme du TMJA de toutes les routes dans ce demi-cercle autour du point de prélèvement de la rivière.

2.6.1 Densité de population

Comme proxy de l'activité humaine produisant une pollution domestique non négligeable, nous avons opté pour la densité de population dans la commune où est situé le point de prélèvement. Nous utilisons pour cela les données de l'INSEE.

2.7 Visualisation & hypothèses

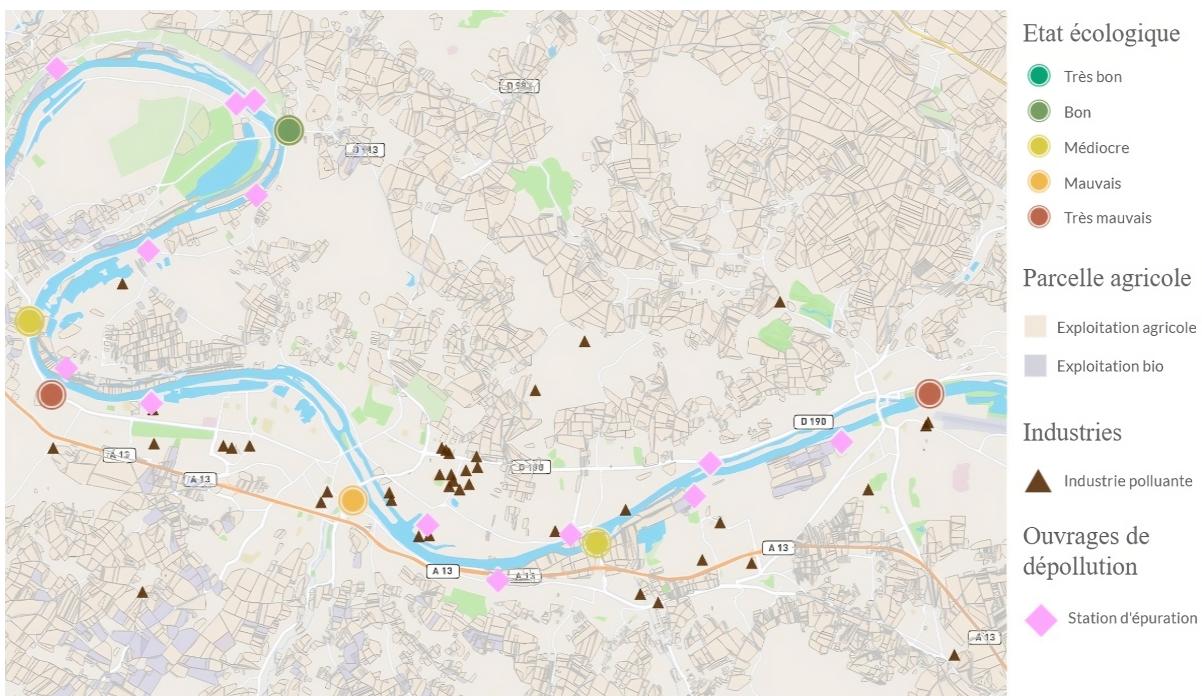


FIGURE 2 – Etat écologique de la Seine à Mantes-la-Jolie

Pour illustrer les données précédemment décrites ainsi que nos hypothèses de travail, voici une visualisation de nos données autour de Mantes-la-Jolie dans les Yvelines. La Seine se jetant dans la Manche, elle coule d'est en ouest à la sortie de Paris. On voit grâce aux indicateurs d'état écologique une forte pollution à la sortie de la capitale qui va être relativement atténuée grâce à différentes stations d'épuration. Toutefois, il s'ensuit une zone industrielle dense qui, malgré la présence de nombreux ouvrages de dépollution, va détériorer grandement l'état écologique de la Seine. Ce n'est qu'au sortir de cette zone industrielle et un passage dans différentes stations d'épurations que la Seine retrouve un bon état écologique. De manière générale, nous nous attendons à observer un effet positif entre les différents polluants (industriels, agricoles, routiers, domestiques) et l'état écologique des rivières. A l'inverse, nous nous attendons à des effets négatifs avec le débit et les stations d'épuration.

Nous n'avons pas ici représenté le trafic routier pour plus de visibilité; en revanche, on voit sur la carte les différentes parcelles agricoles ainsi que les industries polluantes qui sont les données clés de notre travail pour comprendre la pollution des cours d'eau. Toutefois, on ne peut pas faire la différence sur cette carte entre la pollution directe et diffuse, mais elle permet d'avoir un bon aperçu de nos données.

(8). (Skorbiłowicz et Skorbiłowicz 2016)

3 Analyses de l'impact de la pollution diffuse

Notre base de données étant complète, nous pouvons passer à l'analyse, notre objectif étant d'évaluer l'impact de la pollution industrielle diffuse et de le comparer à celui de la pollution industrielle direct (polluants rejetés directement dans l'eau).

3.1 Analyses économétriques

3.1.1 Régression clusterisée

Pour modéliser le phénomène, nous avons opté pour une régression linéaire clusterisée au niveau des bassins versants afin de prendre en compte les spécificités territoriales. Nos données sont ainsi séparées en 8 clusters : 'Escaut-Somme', 'Meuse', 'Rhin', 'Rhône', 'Adour-Garonne', 'Loire', 'Seine', 'Corse'. Notre modélisation correspond à une résolution Residual maximum likelihood (REML) avec des termes d'erreurs aléatoires par clusters.

Finalement, voici l'équation de modélisation :

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} + \boldsymbol{\epsilon} \quad (1)$$

où :

- \mathbf{Y} est le vecteur de la variable dépendante (État écologique).
- $\boldsymbol{\beta}$ est le vecteur des coefficients inconnus.
- \mathbf{u} est le vecteur des effets aléatoires de bassin versant.
- $\boldsymbol{\epsilon}$ est le vecteur des erreurs aléatoires.
- \mathbf{X} est la matrice des variables indépendantes.

Le vecteur \mathbf{X} est défini comme suit :

$$\mathbf{X} = (X_{\text{densité}}, X_{\text{débit}}, X_{\text{NbIndustries}}, X_{Co2_{Air}}, X_{Azote_{Eau}}, \dots, X_{Cuivre_{Eau}}, X_{Cuivre_{Air}}, X_{\text{Agri}}, X_{\text{AgriBio}}, X_{\text{TMJA}})$$

Avec :

- $X_{\text{densité}}$: Densité de population.
- $X_{\text{débit}}$: Débit du cours d'eau.
- $X_{\text{NbIndustries}}$: Nombre d'industries polluantes dans le demi-cercle en aval.
- $X_{Co2_{Air}}$: Co2 émis dans l'air par les industries proches en aval (kT/an).
- $X_{Azote_{Eau}}$: Azote rejeté dans l'eau par les industries proches en aval (kT/an).
- \vdots
- X_{Agri} : Proportion de surface agricole dans le demi-cercle en aval.
- X_{AgriBio} : Proportion de surface agricole biologique dans le demi-cercle en aval.
- X_{TMJA} : somme du Trafic moyen journalier annuel dans le demi-cercle en aval.

En faisant tourner cette régression, sous les hypothèses habituelles de Gauss-Markov, nous obtenons ces résultats :

TABLE 1 – Mixed Linear Model Regression Results

Model :	MixedLM	Dependent Variable :	ETATPOT_ECO			
No. Observations :	7710	Method :	REML			
No. Groups :	8	Scale :	0.7263			
	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
const	2.444	0.070	34.833	0.000	2.307	2.582
Estat_precedent	0.050	0.009	5.482	0.000	0.032	0.068
dens_pop	0.001	0.000	3.098	0.002	0.000	0.001
débit	-0.0003	0.000	-1.617	0.106	-0.001	7.28e-05
Nombre_ind	0.008	0.002	3.392	0.001	0.003	0.012
Usine_Traitement	0.075	0.029	2.597	0.009	0.018	0.132
Azote (Eau (direct))	0.004	0.001	3.779	0.000	0.002	0.007
CH4 (Air)	0.002	0.000	7.922	0.000	0.001	0.002
CO2 (Air)	13.832	2.799	4.942	0.000	8.347	19.317
Cuivre (Air)	0.214	0.066	3.237	0.001	0.084	0.344
Cuivre (Eau (direct))	0.212	0.061	3.482	0.000	0.093	0.332
HFC (Air)	0.176	0.026	6.816	0.000	0.126	0.227
Phosphore (Eau (direct))	-0.076	0.024	-3.177	0.001	-0.123	-0.029
Plomb (Air)	0.0936	0.038	2.485	0.013	0.020	0.167
Plomb (Eau (direct))	0.2493	0.081	3.070	0.002	0.090	0.409
total_agri_area	0.005	0.000	10.380	0.000	0.004	0.006
bio_agri_area	-0.002	0.002	-0.874	0.053	-0.005	0.002
TMJA_sum	0.001	0.000	3.565	0.000	0.000	0.001
Group Var	0.022	0.015				

La magnitude des coefficients nous intéresse ici moins que le signe et la significativité statistique car les unités de mesure ne sont pas les mêmes pour chaque variable, ce qui rend l'interprétation difficile. Cependant, nous observons que pour un bon nombre de polluants différents, nous obtenons une significativité statistique satisfaisante à différents seuils, nous assurant que leur effet sur notre variable dépendante, l'état écologique des rivières n'est pas nul. Il faut toutefois être prudent et éviter de surinterpréter ces résultats ; nous ne pouvons pas affirmer l'existence d'un effet causal.

Les signes des coefficients corroborent avec les mécanismes de pollution que nous attendions. Seul le coefficient des usines de traitement des eaux usées est surprenant : nous nous attendions à un effet négatif. L'effet positif peut s'expliquer comme suit ; les ouvrages de dépollution ne sont installés qu'aux endroits où il y a un besoin car l'eau est polluée, de sorte qu'en moyenne une rivière passant dans un ouvrage de dépollution est plus pollué qu'une rivière n'y passant pas. Par ailleurs, les statistiques de test pour la variable de proportion d'exploitation agricole bio ainsi que le débit sont trop faibles pour assurer la non nullité du coefficient, toutefois l'effet apparaît comme majoritairement négatif. Cela permet de nuancer les résultats et nous voyions que même les variables pour lesquels nous attendions des résultats importants ne sont pas à l'abri d'être faussés par les différents biais de notre modèle, principalement celui de variables omises. En effet, le R² du même modèle mais sans la clusterisation one-way était seulement de 7.3%, on comprend alors que notre modèle reste limité et qu'il ne faut pas en conclure des résultats qui ne peuvent être induits par ce modèle.

3.1.2 Régression standardisée

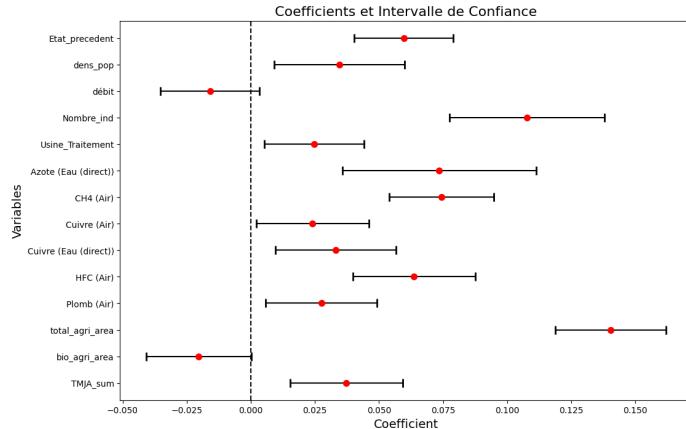


FIGURE 3 – Coefficients de la régression standardisée

rects et directs. Par exemple, nous voyons que la pollution en cuivre dans l'air et dans l'eau ont tous deux un effet positif relativement similaire sur l'indicateur écologique, nous pouvons alors en conclure que, pour le cuivre, le fait d'émettre le polluant indirectement via les airs ou directement dans l'eau ont tous deux un effet significatif sur la qualité des eaux de surface. Plus généralement, si on compare les résultats de différents polluants, on se rend compte que la différenciation du milieu de pollution (air/eau) semble relativement négligeable quant à l'importance de l'effet. Par exemple le CH4 et le HFC émis dans l'air ont des effets comparables à l'Azote rejeté dans l'eau. D'ailleurs le coefficient de Co2 n'apparaissant pas sur le graphique par soucis de visibilité et d'échelle, est très important alors que le Co2 est exclusivement rejeté dans l'air.

On peut donc en conclure que les émissions de polluants par les airs ont des effets comparables en ordre de grandeur sur la qualité des eaux aux rejets de polluants directement de l'eau.

3.2 Random forest

Pour examiner les résultats sous un autre angle, nous avons également décidé d'utiliser un random forest et un arbre de décision simple. Pour la forêt aléatoire, nous obtenons une précision, mesurée par l'erreur quadratique moyenne (MSE), de 0,65 et pour l'arbre de décision, une précision de 0,7.

Ce modèle nous aide à évaluer l'impact des polluants émis dans l'air et pourrait également servir à prédire les conséquences sur la qualité des eaux environnantes liées à l'implantation de nouvelles industries polluantes.

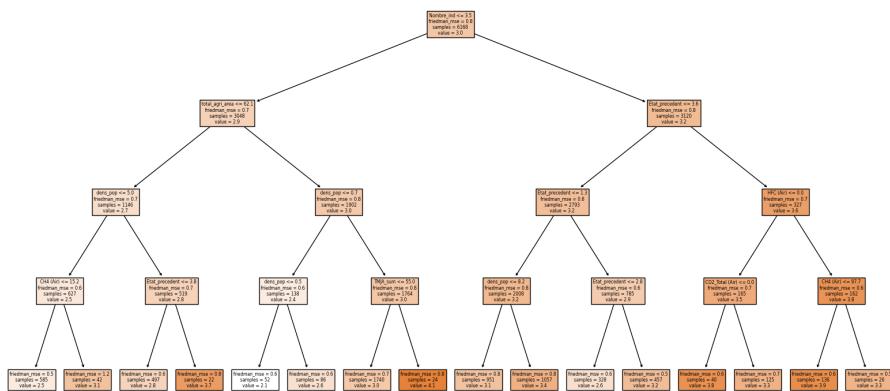


FIGURE 4 – Arbre de décision

Maintenant que nous avons confirmé la significativité statistique des coefficients, pour comparer l'importance de chaque variable dans le modèle, nous procérons à une régression similaire avec des données standardisées, ce qui nous permet de comparer la magnitude des coefficients.

Voici les résultats les plus importants de notre travail. Outre les résultats attendus comme les effets positifs des variables densité de population ou Etat précédent, nous pouvons enfin comparer la magnitude des effets des polluants indi-

En visualisant simplement l'arbre, on sélectionne les variables les plus déterminantes par rapport à la forêt complète. Il est intéressant de constater la présence des polluants HFC, CH4 et CO2, tous trois émis dans l'air et l'absence d'un quelconque polluant rejeté directement dans l'eau. Cela s'explique probablement par la fréquence plus élevée de ces polluants dans nos données, mais nous révèle l'impact significatif de ces émissions.

4 Conclusion

Les résultats obtenus valident notre hypothèse initiale qui postulait un lien direct entre la pollution industrielle émise dans l'air et la qualité des eaux de surface. Plus précisément, nous avons pu établir que l'ampleur de l'effet de la pollution industrielle diffuse sur l'état écologique des eaux de surface est, en moyenne et toutes choses égales par ailleurs, comparable à celle des rejets directs de polluants dans l'eau.

Cette interprétation confirme donc notre seconde hypothèse, qui soutenait la défaillance du cadre d'application du principe pollueur-payeur en France. Comme expliqué précédemment, en plus de leur montant très faible sur le plan financier, les taxes pigouvianes françaises relatives à la pollution des eaux de surface ne couvrent effectivement pas l'intégralité des externalités et des dommages environnementaux.

Toutefois, il est difficile pour le décideur public d'introduire des taxes environnementales dans ce type de situations en raison du manque d'information. Il est compliqué, dans la pratique, d'obtenir une mesure précise de l'impact environnemental d'une activité industrielle particulière (Ortolano et Shepherd 1995). Isoler un effet est toujours complexe. De plus, même si l'on parvient à obtenir des résultats sur l'impact environnemental d'une activité, il est tout aussi difficile de traduire cet impact en coût économique social (Gadrey et Lalucq 2016).

Cela sort du cadre quantitatif de notre étude, mais une solution à ce problème serait de mettre en place une "taxe ambiante" selon la terminologie de l'économiste Kathleen Segerson (Poe et al. 2004) (Segerson 1988). Elle propose un nouvel instrument de marché pour internaliser les dommages environnementaux dans les programmes des pollueurs, permettant ainsi de rétablir l'équilibre. Le principe de cette taxe est une punition collective, car il est impossible d'identifier quelle part du coût environnemental est causée par qui. Ainsi, les agents ne peuvent optimiser que leur propre pollution, qui sera inévitablement réduite si le niveau de la taxe est bien choisi. Cette solution est théoriquement efficace, mais pose le problème de l'acceptabilité politique d'une telle mesure. Elle a surtout le mérite d'exister, ce qui, dans notre cadre, prouve que des solutions de politiques publiques existent et qu'il n'y a pas de fatalité dans la non-application rigoureuse du principe pollueur-payeur tant plébiscité par les économistes de l'environnement (Sandmo 1975).

Références

- Areej Malik, Somia Liaqat, Muhammad Faheem et Asifa Aslam. 2020. "Water pollution and industries". *Pure and Applied Biology* 9 (4) : 2214-2224. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90237>.
- Baudu, Aurélien. 2021. "La fiscalité environnementale française ou le cycle de l'absurde ?" *Gestion & Finances Publiques*, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:240871227>.
- Baudu, Aurelien. 2022. "À quand une fiscalité environnementale florissante en France ?" *G&FP - Gestion & finances publiques : la revue*, 36-40. <https://doi.org/10.3166/gfp.2022.ns.008>.
- Boeglin et Roubaty. 2007. "Pollution industrielle de l'eau - Caractérisation, classification, mesure". *Indicateurs de Pollution*, <https://books.google.fr/books?id=W-FK0AEACAAJ>.
- Chaudhry, F.N. et Mohammad Fawad Malik. 2017. "Factors Affecting Water Pollution : A Review". *Journal of Ecosystem & Ecography* 07. https://www.researchgate.net/publication/316347962_Factors_Affecting_Water_Pollution_A_Review.
- Chiroleu-Assouline, Mireille. 2015. "La fiscalité environnementale en France peut-elle devenir réellement écolo-gique ?" *Revue de l'OFCE*, 129-165. <https://doi.org/10.3917/reof.139.0129>.
- Chow, R., R. Scheidegger, T. Doppler, A. Dietzel, F. Fenicia et C. Stamm. 2020. "A review of long-term pesticide monitoring studies to assess surface water quality trends". *Water Research X* 9 : 100064. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100064>.
- Douenne, Thomas et Adrien Fabre. 2022. "Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion". *American Economic Journal : Economic Policy*, 81-110. <https://doi.org/10.1257/pol.20200092>.
- Gadrey, Jean et Aurore Lalucq. 2016. "Que valent les méthodes d'évaluation monétaire de la nature ?" *L'Économie politique*, 76. <https://doi.org/10.3917/leco.069.0076>.
- Guillou, Maëla Le. 2009. "Diagnostic et cartographie des risques de pollution de l'environnement (eau, plantes, sol), par les métaux lourds, autour de fermes camelines, au Kazakhstan", http://agritrop.cirad.fr/555068/1/document_555068.pdf.
- Mellander, Per-Erik, Phil Jordan, Marianne Bechmann, Ophélie Fovet, Mairead M. Shore, Noeleen T. McDonald et Chantal Gascuel. 2018. "Integrated climate-chemical indicators of diffuse pollution from land to water". *Scientific Reports* 8 : 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19143-1>.
- Ortolano, Leonard et Anne Shepherd. 1995. "Environmental impact assessment : challenges and opportunities". *Impact Assessment*, 3-30. <https://doi.org/10.1080/07349165.1995.9726076>.
- Owa, F.D. 2013. "Water Pollution : Sources, Effects, Control and Management". *Mediterranean Journal of Social Sciences*, <https://doi.org/10.5901/mjss.2013.v4n8p65>.
- Phu Nguyen, Sophie Duchesne, Babacar Toumbou et Jean-Pierre Villeneuve. 2018. "Évaluation de l'impact de la pollution diffuse sur la qualité de l'eau en rivière avec données restreintes : cas d'application du bassin versant de la rivière Cau". *Revue des sciences de l'eau* 31 : 293. <https://doi.org/10.7202/1054308ar>.
- Poe, Gregory, William Schulze, Kathleen Segerson, Jordan Suter et Christian Vossler. 2004. "Exploring the Performance of Ambient-Based Policy Instruments When Nonpoint Source Polluters Can Cooperate". *American Journal of Agricultural Economics* 86 : 1203-1210. <https://doi.org/10.1111/j.0002-9092.2004.00665.x>.
- Sandmo, Agnar. 1975. "Optimal Taxation in the Presence of Externalities", <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:151090302>.
- Segerson, Kathleen. 1988. "Uncertainty and incentives for nonpoint pollution control". *Journal of Environmental Economics and Management* 15 (1) : 87-98. [https://doi.org/10.1016/0095-0696\(88\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0095-0696(88)90030-7).
- Skorbiłowicz, Mirosław et Elżbieta Skorbiłowicz. 2016. "Identification of danger zones for surface water using GIS (SIP) - mapinfo system on an example of upper Narew river catchment". *Journal of Ecological Engineering* 17 : 161-168. <https://doi.org/10.12911/22998993/63311>.
- Wang, Mark, Michael Webber, Brian Finlayson et Jon Barnett. 2008. "Rural industries and water pollution in China". *Journal of Environmental Management*, 648-659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.019>.