

LIBERATION ENVIRONNEMENT – Nos Nappes phréatiques françaises sont-elles une marée toxique ou pouvons-nous encore espérer ?

Par Léa Longo et Raphaël Sérougne.

Dans le cadre de nos investigations sur l'état des ressources naturelles du territoire français, notre étude portera sur le bilan de l'état des nappes d'eau souterraines en France. Ce rapport fait suite à la publication par le gouvernement des données des stations de mesures des milieux aquatiques sous-terrain implantées sur tout le territoire de 2007 à 2012. Ce choix de rendre accessible ces jeux de données provient d'un engagement de l'état français quant à la transparence concernant la transition écologique. Il s'agit donc d'étudier avec des données aussi bien officielles – émises par le gouvernement - que scientifiques – données issues du réseau de surveillance des nappes souterraine - la contamination par les pesticides des réserves d'eau.

Le premier aspect intéressant de ces données est qu'elles sont temporelles et continues. Avec un total de six années de données de mesures, nous avons les moyens de prendre du recul et d'évaluer les données en termes d'évolution.

L'autre axe intéressant est l'aspect géographique de ces données, nous pouvons les diviser dans des portions de territoires précises et mesurer plus localement les impacts, les 2 200 stations de mesures effectuant au moins un prélèvement annuel.

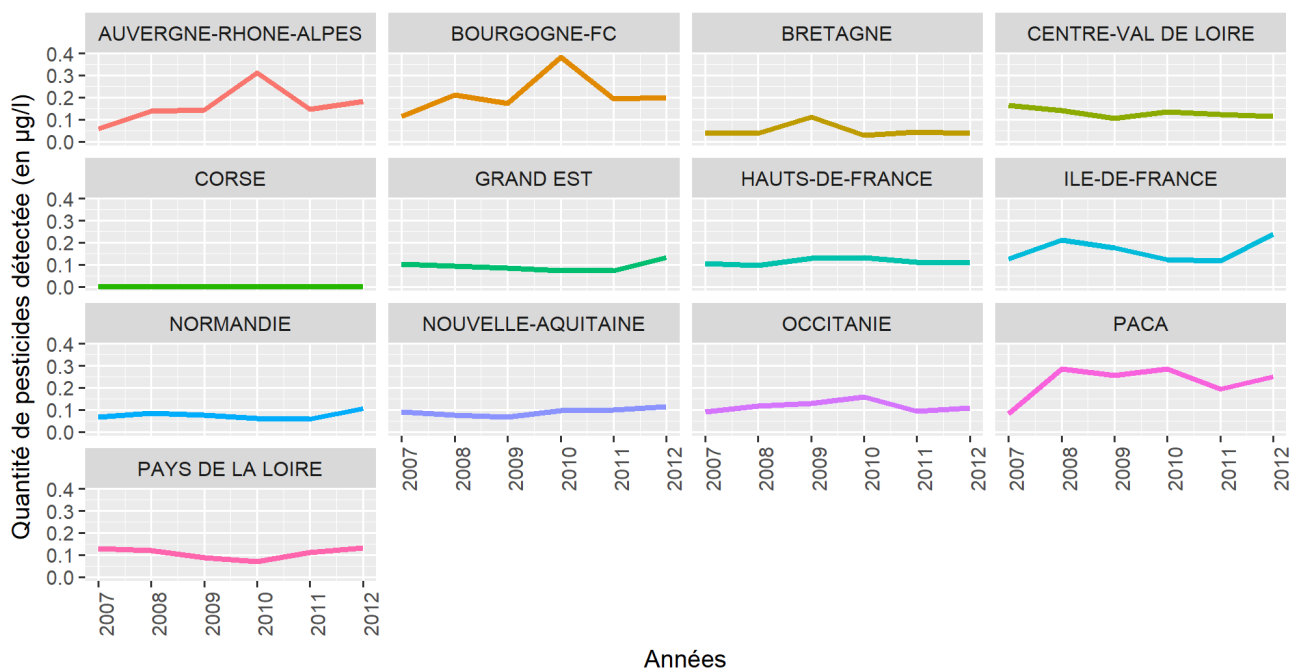
Le troisième point d'attention se porte sur la diversité des produits dénommés « pesticides ». Les données de mesures font effectivement la différenciation entre les familles de pesticides.

L'usage des pesticides pose de multiples problèmes : elles sont le moyen le plus diffus de garder des plantations en bonne santé et consommables, mais de multiples rapports, comme celui de l'Inserm (Pesticides, effets sur la santé, 2013) démontrent que leur usage est notablement nocif pour la santé humaine. Il est également important de souligner les dégâts environnementaux dus au déséquilibre de la biodiversité.

C'est pour cela que les puissances politiques s'engagent régulièrement et légifèrent sur l'encadrement de l'usage des pesticides pour le développement durable, à la fois social et environnemental. Mais concrètement, comme on peut le voir en ces jours de débats à l'Assemblée Nationale avec le projet de loi Agriculture et Alimentation, les intérêts et les opinions divergent sur la question. L'interdiction du glyphosate, qu'Emmanuel Macron avait promis sous trois ans pendant la campagne, n'est pas mentionnée dans le projet de loi par exemple. Alors, au-delà des aléas politiques et du lobbying (pro et contre), quels sont réellement les faits et quelles sont les évolutions dans les régions ?

Ci-après, un graphique groupé qui présente l'évolution entre 2007 et 2012 de la contamination des cours d'eau souterrains par régions françaises (métropole).

Evolution des mesures de pesticides par régions et par années dans les eaux souterraines en France



Source: Ministère de la Transition écologique et solidaire

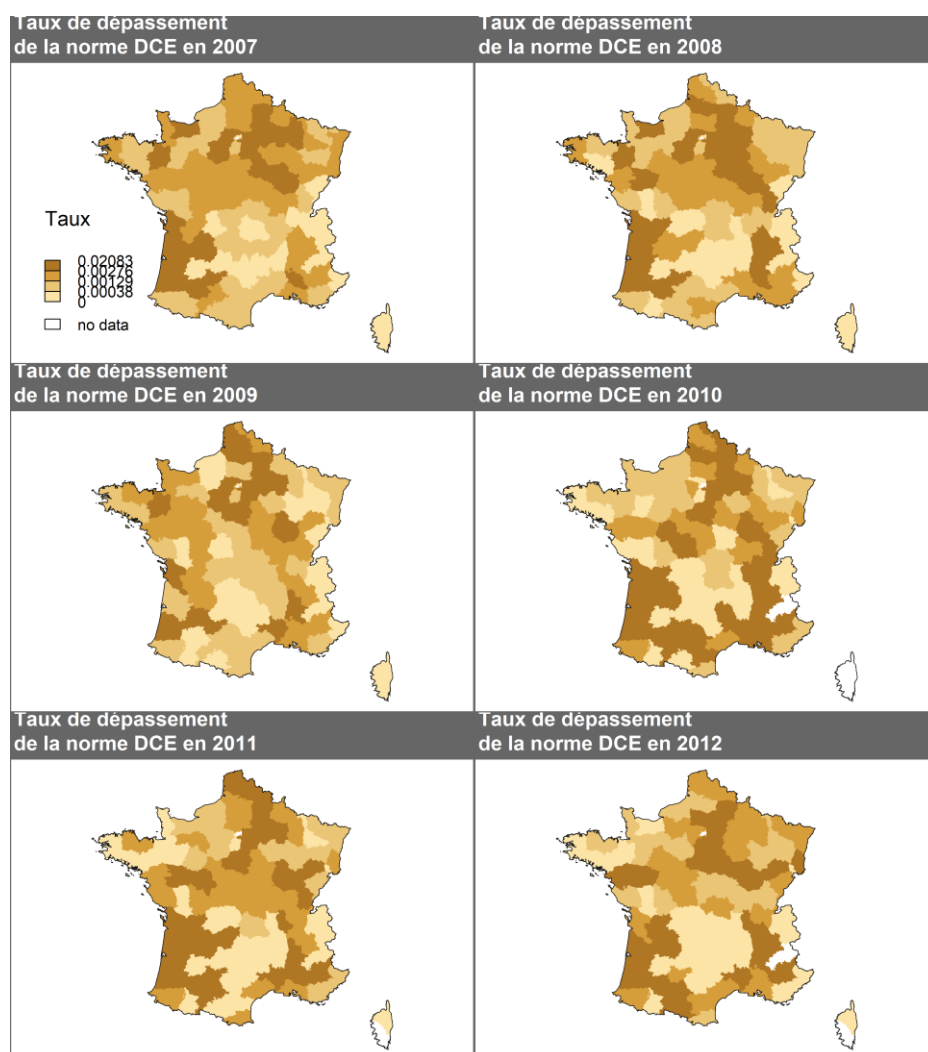
Ces graphiques assemblés nous permettent d'observer les évolutions au niveau régional et de les comparer entre elles afin de saisir une tendance plus globale. On peut remarquer que les courbes ont une tendance croissante ou stable, mais que très peu affichent des taux de pesticides qui diminuent au fil des années. Grâce à cette visualisation on peut identifier en un coup d'œil les régions les plus problématiques, soit Auvergne Rhône Alpe, Bourgogne PACA et Ile de France. Bourgogne et PACA sont des régions particulièrement marquées par la viticulture.

Si les taux de la Corse sont si proches de 0 c'est parce qu'il y a très peu de mesures disponibles et qu'elles indiquent des taux faibles, il faut donc nuancer ce résultat. Les autres régions sont marquées par une certaine stabilité dans le taux de concentration de pesticides.

Ce graphique assemblé permet ainsi de nous donner une très bonne vision de l'état général des cours d'eau souterrains, cependant, les taux observés sont indicatifs, et il est nécessaire de les comparer à la norme en vigueur, leur interprétation relative est indispensable pour la bonne compréhension des faits.

Pour ce faire, nous avons réalisé une carte de la France avec les dépassements à la norme DCE pour chaque année. La norme DCE concerne l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau où l'on compare la concentration mesurée et la valeur seuil fixée.

Cartes des taux de dépassement de la norme DCE par département et par année



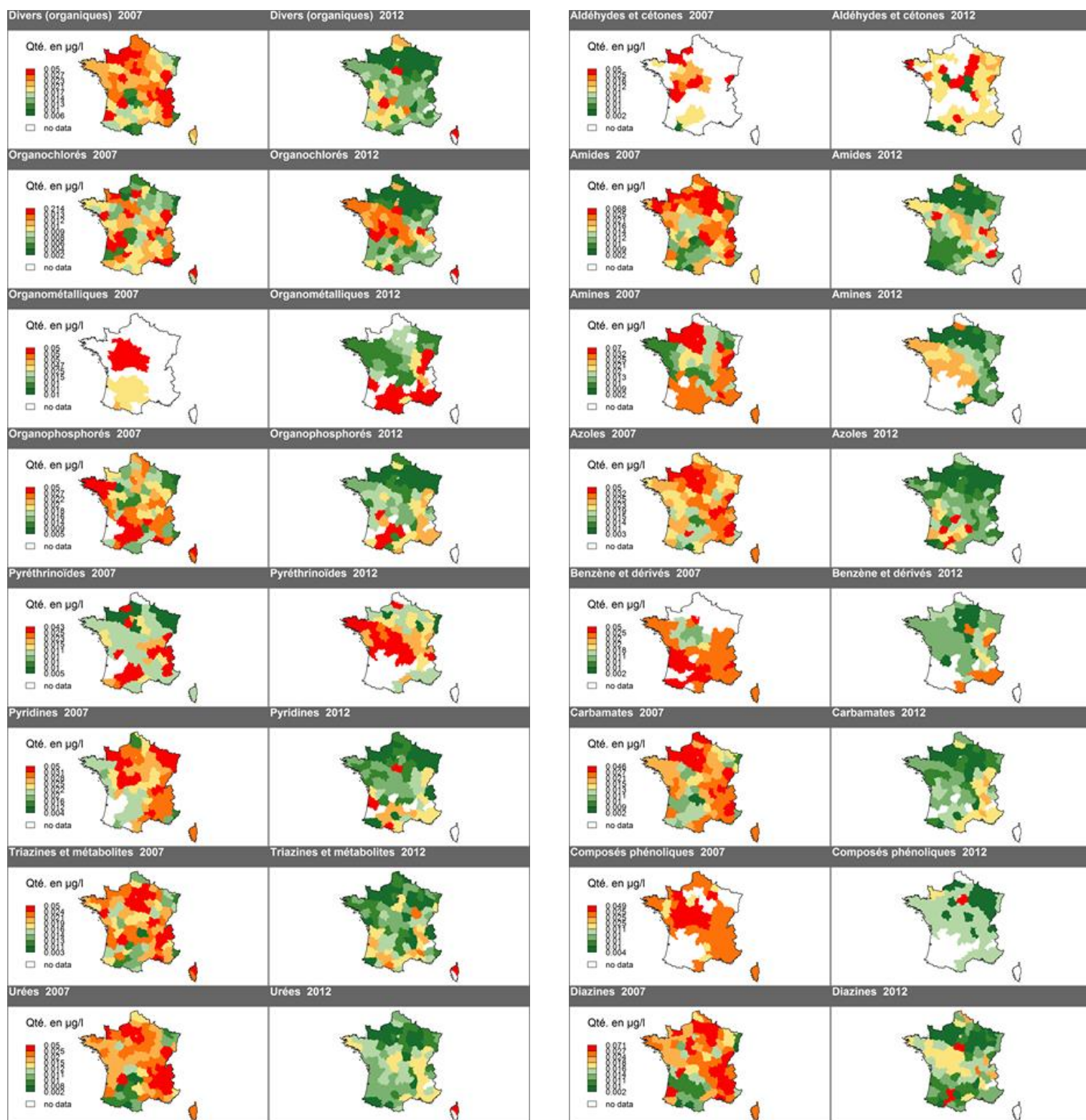
Cette cartographie groupée nous permet de confirmer les hypothèses avancées précédemment. Les régions avec une concentration élevée sont logiquement au-dessus de la norme. Par contre, on peut remarquer que le Grand Est ainsi que le Centre Val de Loire ont évolué en dépassant toujours plus la norme DCE. Si graphiquement, les taux semblaient assez stables, on remarque avec cette échelle de sensibilité que la concentration en pesticide a effectivement augmentée. Cependant, l'Agence Française pour la Biodiversité souligne les limites des normes DCE, en soulignant qu'il faut avoir en tête « l'incertitude associée à chaque mesure individuelle et la variabilité du milieu qui peut s'avérer trop forte » et que le taux annuel ne soit in fine pas représentatif de la réalité.

Le taux de dépassement de la norme DCE est aussi un indicateur à interpréter avec beaucoup de précautions. Bien qu'il présente l'avantage de synthétiser en un coup d'œil les éléments collectés sur les dépassements de seuils, il présente également l'inconvénient de ne pas montrer le nombre de mesures réalisées. C'est un défaut important de cet indicateur car un faible nombre de mesure peut entraîner une mesure représentative finalement de la qualité des eaux souterraine. Il manque donc ici un indicateur visuel du nombre de mesures réalisées. Une carte choroplèthe ne permet pas de représenter plus d'une variable carte. Pour représenter deux variables nous aurions pu utiliser une carte avec symbole proportionnelle en taille et en couleur. Mais ces cartes sont difficilement lisibles si l'on représente un grand nombre de points, comme par exemple les 95 départements de France. Une meilleure approche aurait été de créer cette carte avec un agrégation spatiale à l'échelle des régions françaises.

Pour faire suite à l'étude comparative de la norme DCE, nous souhaitons proposer une approche plus détaillée. Il s'agit de désormais d'observer les évolutions des concentrations de pesticides dans les eaux souterraines par famille de pesticides entre 2007 et 2012.

Ci-dessous, des cartes assemblées du taux de pesticides par famille, en 2007 et en 2012. Cela permet d'observer l'évolution temporelle de chaque type de pesticide afin de voir quelles sont les pesticides les plus présentes.

Cartes assemblées du taux de pesticides par famille, en 2007 et en 2012.



Cette cartographie nous permet ici d'avoir un brin d'optimisme. En effet, on remarque que la majorité des pesticides sont moins présentes entre 2007 et 2012, les cartes de 2012 étant à dominante verte, ce qui signifie un taux plus faible. Nous avons choisi le niveau d'agrégation spatiale par département pour avoir une idée assez fine de la

composition du territoire français. Les différents types de cultures impliquent en effet l'utilisation de différents types de pesticides. Par ailleurs nous avons porté une attention particulière à créer, pour chaque famille de pesticide, une échelle de comparaison unique, de manière à pouvoir comparer les taux moyen de pesticide entre 2007 et 2012 avec une échelle commune et lisible par l'utilisation des mêmes couleurs.

Il est **possible d'identifier un quatuor de tête, soit des familles** de pesticides qui sont encore bien ancrées en 2012. **Il s'agit des organochlorés, des organométalliques, de la pyréthriinoïde et de l'aldéhyde et du cétone.**

Sans entrer dans des détails chimiques poussés, il est cependant important de noter que les organochlorés ne sont **pas biodégradables et contaminent les écosystèmes et se révèlent toxiques pour l'humain. Les organométalliques** sont des perturbateurs endocriniens selon un rapport de la Région Centre et le BRGM. Enfin, la pyréthriinoïde est un insecticide puissant **qui tue également les poissons, même s'il est biodégradable, il peut se révéler neurotoxique** pour les enfants.

De cette façon, des pesticides qui sont moins utilisés ou complètement abandonnés, contaminent tout de même les réserves **d'eau souterraines** car ils ne sont pas biodégradables et déstabilisent durablement les écosystèmes.

Conclusion

Ces jeux de données nous ont permis dans un premier temps d'étudier l'évolution temporelle par région. Nous avons pu identifier les régions les plus touchées par la pollution des cours d'eau. Le PACA, l'IDF, l'ARA et la Bourgogne ont ainsi **retenu notre attention**. Si l'on remarque des tendances croissantes ou stables, ce niveau d'analyse reste trop flou pour véritablement saisir l'impact des pesticides. C'est pour cela que dans un deuxième temps, nous avons comparé ces données à la norme DCE en vigueur, où le dépassement de la norme est plus significatif que la mesure en absolu. Le Grand Est a par exemple des dépassements à la norme assez notables. Ces analyses ne différenciaient cependant pas les différents types de pesticides. Dans un dernier temps, nous avons donc fait une cartographie comparée des pesticides séparées par famille. En 2012, les taux ont nettement diminué dans la plupart des départements, même si certaines pesticides et certains départements restent particulièrement touchés. La contamination des réserves **d'eau ne peut pas non plus disparaître en l'espace de cinq ans** en sachant que certains pesticides ne sont pas biodégradables, comme les organochlorés.

Par ailleurs, nous pouvons regretter qu'aucunes données n'ai été publiées depuis 2012 sur ce sujet important et d'actualité. En effet, à l'heure de l'adoption de la loi Agriculture et Alimentation il est regrettable que nous n'ayons pas une connaissance plus actualisée des conséquences néfastes de l'utilisation des pesticides.

Sitographie (non exhaustive)

<http://www.onema.fr/node/3989>

http://www.mddep.gouv.qc.ca/pesticides/guide/description_h-o.htm

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53749-FR.pdf>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pyr%C3%A9thrino%C3%AFde>

METHODOLOGIE

Données

Nous nous sommes appuyés sur les dataset rendus publics par le gouvernement (data.gouv) qui rassemblent les données des stations de mesure françaises sur la quantité de pesticides dans les cours d'eau souterrains. Ces fichiers contiennent des descriptions des types de données puis deux séries temporelles. La première contient les mesures des stations de 2007 à 2012. La seconde concerne la moyenne des quantités de pesticides par année. A ces jeux de données initiaux nous avons ajouté des jeux récupérés sur data.gouv concernant les découpages des régions et départements français ainsi que les cartes des découpages administratif (Admin express publié par l'IGN) pour pouvoir réaliser les cartographies.

Préparation des données

Afin de pouvoir avoir un unique dataframe permettant plusieurs possibilités en termes de visualisation, nous avons fusionné tous les fichiers avec une jointure. Au fichier des mesures nous avons ajouté l'année et, avec rbind, nous avons fusionné les mesures de 2007 à 2012. Nous avons également ajouté une colonne avec le calcul de l'écart à la norme DCE de la mesure effectuée.

Pour les données statistiques (les moyennes), nous les avons fusionnées comme pour les mesures, en un dataframe de 2007 à 2012. Nous avons ensuite ajouté les régions à ce dataframe pour pouvoir réaliser des cartes en faisant une jointure avec le fichier région, avec la colonne commune des départements.

Ces deux dataframes permettent donc de réaliser de la visualisation avec des cartes grâce aux coordonnées géographiques.

Exploitation des données

Les librairies générales pour la manipulation des données que nous avons utilisées sont tidyverse (manipulation de données structurées) et reshape (fusion de fichiers etc).

Pour la cartographie nous avons eu recours aux packages sf, SpatialPosition et cartography.

Après avoir chargé les librairies, les données, nous les avons préparées comme détaillé ci-dessus. Une fois les dataframes créés nous avons exploré les données pour avoir des informations numériques, avec la moyenne et les écarts types, pour avoir une idée de ce que nous trouverions.

Graphique barplot des moyennes

Nous avons réalisé un premier graphique qui nous a permis de repérer les données aberrantes. Ce graphique n'apporte pas d'information à l'étude c'est pour cela qu'il n'apparaît pas dans notre rapport. Nous avons pu identifier 4 valeurs supérieures à 50 que nous avons considéré comme étant aberrantes et nous les avons supprimées. Après vérification il s'agissait de mesures liées à un pesticide dont la présence n'a été mesurée qu'à 4 reprises dans le département du Loiret avec des taux beaucoup plus élevés que pour n'importe quelle autre pesticide du jeu de données. Nous avons donc considéré que les moyennes issues des stations de mesures concernées allaient fausser notre vision agrégée au niveau du département. La Corse présentait aussi des anomalies parce qu'il y a peu de mesures et qu'elles sont particulièrement inférieures à la moyenne nationale. Mais cette anomalie peut aussi être une spécificité régionale, nous n'avons donc pas touché aux données concernant la Corse. Voir <http://www.ulevante.fr/pesticides-en-corse-comme-ailleurs-laugmentation-toxique/> pour plus d'information sur les spécificités de la pollution des eaux en Corse.

Graphique groupé de l'évolution des pesticides par région (visualisation 1).

A la ligne 119 du code se situe la création du graphique. Le graphique en sortie est une image PNG dont nous avons défini la taille. Nous avons ensuite chargé les données où l'abscisse est les années et l'ordonnée le taux de pesticides. La représentation est faite par région. Nous avons choisi de faire une courbe car il s'agit d'une évolution continue et nous avons ensuite légendé le graphique.

Cartographie

Nous avons ensuite créé la base de nos cartographies, c'est-à-dire le territoire français.

A nouveau, nous avons dû remanipuler les dataframes pour les rendre exploitables. Nous avons joint les données de mesure aux données géographiques, puis nous avons traité les données texte (suppression de caractères spéciaux, conversion...). Nous avons ainsi ajouté les mesures des pesticides aux données départementales, afin de générer des cartes de la France en département, divisées par famille de pesticide. Nous avons ainsi créé un vecteur de titre des cartes qui générerait autant de carte qu'il y a de familles.

Pour ne pas avoir une visualisation trop chargée nous décidons de ne traiter que les données de 2007 et 2012 pour voir l'évolution totale du jeu. Nous avons ainsi généré les cartes de 2012, en les dimensionnant, en imposant un code couleur de rouge à vert (négatif – positif) qui soit assez parlant.

Concrètement, nous générons d'abord la carte de la France par département et nous ajoutons la couche de valeurs que nous souhaitons : ici les taux de pesticides par famille. Nous légendons ensuite ces visualisations et les rendons lisibles (bordures, liste...)

Nous reproduisons exactement la même opération pour les cartes de 2012 et 2007. Ces cartes ne sont pas présentées dans ce rapport (mais elles sont visibles dans le dépôt github) car nous avons estimé que pour une parfaite visualisation il fallait pouvoir comparer les cartes 2007 et 2012 de chaque famille de pesticide en les alignant cote à cote.

Nous avons donc créé 2 ensembles de 16 cartes chacun. Chaque ligne contient 2 cartes, chaque ensemble contient 8 familles de pesticides : une par ligne. L'enjeu étant de pouvoir comparer les cartes ligne par ligne, c'est-à-dire, comparer les taux de pesticide de la famille concernée, entre 2007 et 2012, il nous a fallu créer une échelle commune de valeur qui sera représentée par des couleurs. A partir de cette échelle créée spécialement pour chaque famille de pesticide nous avons généré les 2 cartes 2007 et 2012. C'est cet ensemble de cartes qui est présenté dans notre rapport final. (Voir visualisation 3).

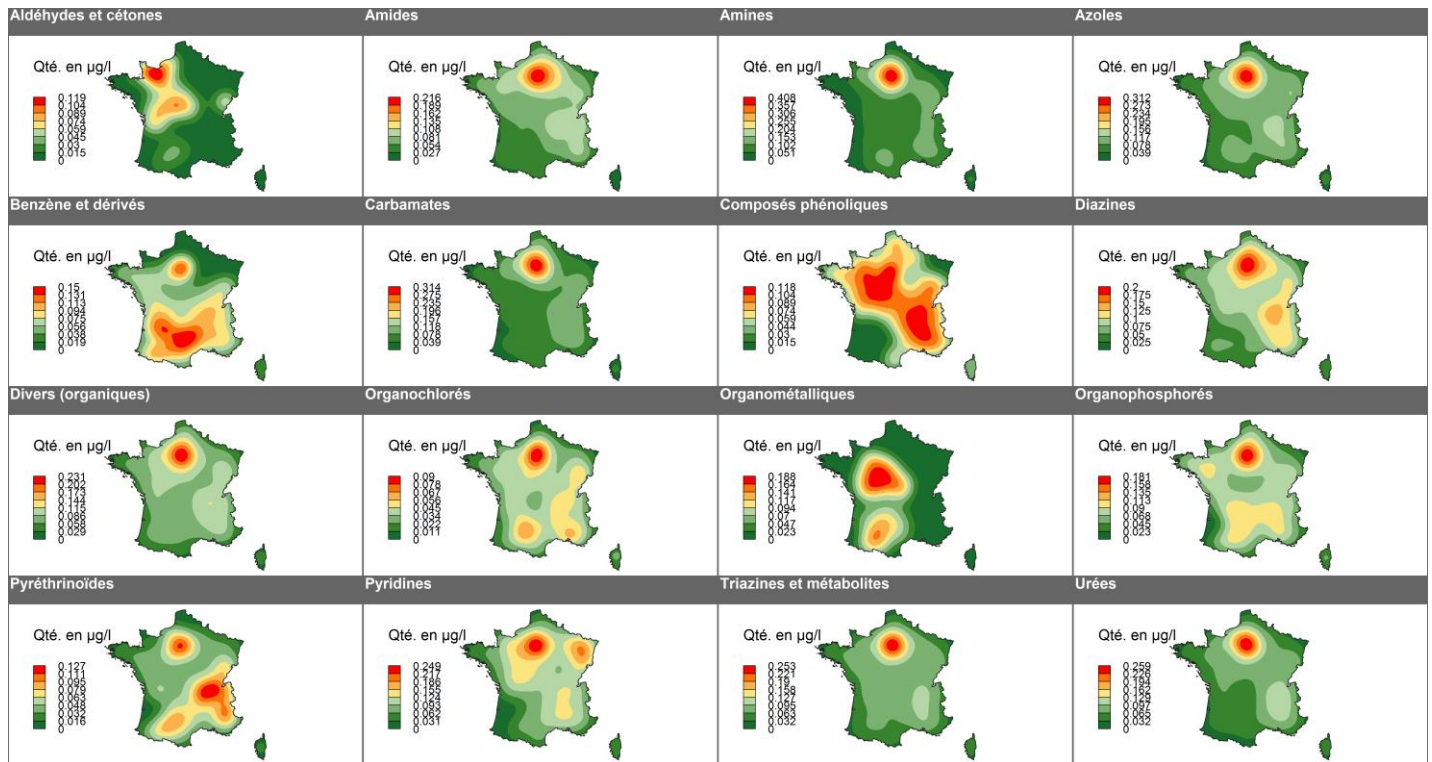
Visualisation 2.

Pour calculer le dépassement à la norme, nous avons déjà préparé les données au début. Nous joignons donc les fichiers de mesures et de stations pour permettre la visualisation. Nous comparons ensuite les données normes et mesures pour voir où la norme est dépassée. Nous réalisons ainsi la carte avec la donnée des normes, pour chaque année, afin d'étudier l'évolution. Nous réalisons une boucle pour les 6 années étudiées et cela permet de générer 6 cartes (une par année) avec la coche de dépassement de la norme DCE. Nous avons également choisi d'utiliser une échelle de valeurs et donc de couleur unique pour les 6 cartes. Par conséquent, nous avons pris soin de n'afficher la légende que dans une seule des 6 cartes présentées dans cet ensemble.

Tentatives infructueuses (mais néanmoins intéressantes).

Avant de retenir ces trois visualisations, nous souhaitions faire une visualisation un peu plus esthétique pour l'œil et nous avons donc tenter de réaliser des cartes lissées pour les rendre à la fois plus agréables et surtout plus facile à lire en un coup d'œil. Cependant, quand nous les avons comparées à des cartes non lissées, nous nous sommes aperçus que ces cartes manquaient de précision et qu'elles présentaient des anomalies au niveau de l'Île de France en particulier, probablement dû à la taille réduite des départements Franciliens. Si elles semblaient certes plus modernes, plus

agréables, elles ne permettraient donc pas de rendre compte précisément de la répartition des taux de contamination des eaux souterraines par les pesticides. Nous avons délibérément décidé de choisir une échelle fine par département, il nous semblait alors contre-productif d'utiliser ces cartes trop approximatives, voir même trompeuse. Nous souhaitons tous de même en inclure un exemple ici car l'exercice nous a semblé intéressant et ce modèle de cartographie sera probablement réutilisable dans un autre contexte.



Travail collaboratif

Pour travailler de manière efficace en groupe, nous avons choisi d'utiliser le site github pour partager nos développements et nos fichiers concernant ce projet.

Vous trouverez sur notre dépôt github l'ensemble du code utilisé pour réaliser les cartographies et les graphiques du projet. Vous y trouverez également les fichiers intermédiaires que nous avons créé notamment la liste des départements et de régions au format csv. Enfin nous avons également stocké toutes les images que nous avons généré, y compris nos essais de visualisation les plus réussis.

Vous trouverez notre dépôt github en suivant ce lien : <https://github.com/rsrgn/Qualite-eaux-souterraines>

Pourquoi ces typologies et RStudio ?

La quantité de données, relativement propres par ailleurs, nous permettait d'effectuer une étude très précise des taux de pesticides. Nous avons donc choisi d'utiliser des visualisations qui se voulaient aussi précises que possibles et qui permettaient une comparaison géographique et temporelle.

Nous avons choisi de travailler avec R et RStudio car nous avons déjà manipulé des données avec ces logiciels et nous en connaissons les avantages. Cela nous a néanmoins permis d'approfondir nos compétences pour cartographier et manipuler des données géographiques. Nous avons appris à générer de nouveaux types de cartes et à les disposer de manière à en rendre la lecture comparée plus aisée. Nous avons également beaucoup appris sur la manipulation des données avec le package tidyverse et notamment dplyr pour la gestion des bases de données.