

Le travail présenté ci-après a été réalisé par l'UMR AGIR
(<http://www6.toulouse.inra.fr/agir>) dans le cadre de
différents projets de recherche dont le projet REGARD
([http://www.cnrm-game-
meteo.fr/spip.php?article809&lang=fr](http://www.cnrm-game-meteo.fr/spip.php?article809&lang=fr))

Toute utilisation des informations présentées ci-après doit faire l'objet de la
mention « UMR AGIR – INRA - Équipe MAGELLAN – Projet caractérisation des
retenues collinaires »

Pour toute information contacter Olivier.Therond@inra.fr

Caractérisation des retenues collinaires du bassin Adour Garonne

Dans un contexte où les pressions sur la ressource en eau sont de plus en plus fortes, l'établissement de relations entre les exploitations agricoles, les volumes prélevés et la ressource en eau disponible est un enjeu fort. Les retenues collinaires sur cours d'eau ou collectant les eaux de ruissellement constituent une ressource non négligeable. Leur mise en place permet généralement de diminuer les tensions durant les périodes de fortes demandes, cependant la question de leur impact sur l'environnement et l'hydrologie se pose de plus en plus. En effet, Si l'impact de retenues d'eau de petite taille peut être modeste, il est nécessaire d'appréhender l'impact cumulé de toutes les retenues d'un même bassin versant. On obtient alors une vision globale du bassin qui ne participe plus à l'alimentation des rivières en aval et notamment à l'étiage.

Sur le périmètre du bassin Adour-Garonne, la BD Topo de l'IGN recense un peu moins de 115 000 surfaces en eaux représentant pas loin de 80 000 ha. Cette base de données est relativement exhaustive et permet notamment d'avoir accès aux petites surfaces dont le nombre très important rend leur prise en compte essentielle afin d'estimer leur importance pour l'irrigation et leur impact cumulé sur le fonctionnement des cours d'eau. Sur l'ensemble du BAG, 50% des surfaces en eaux ont une superficie inférieure à 1000 m² (figure 1 et 2) et représente 20% de la superficie totale des surfaces en eaux.

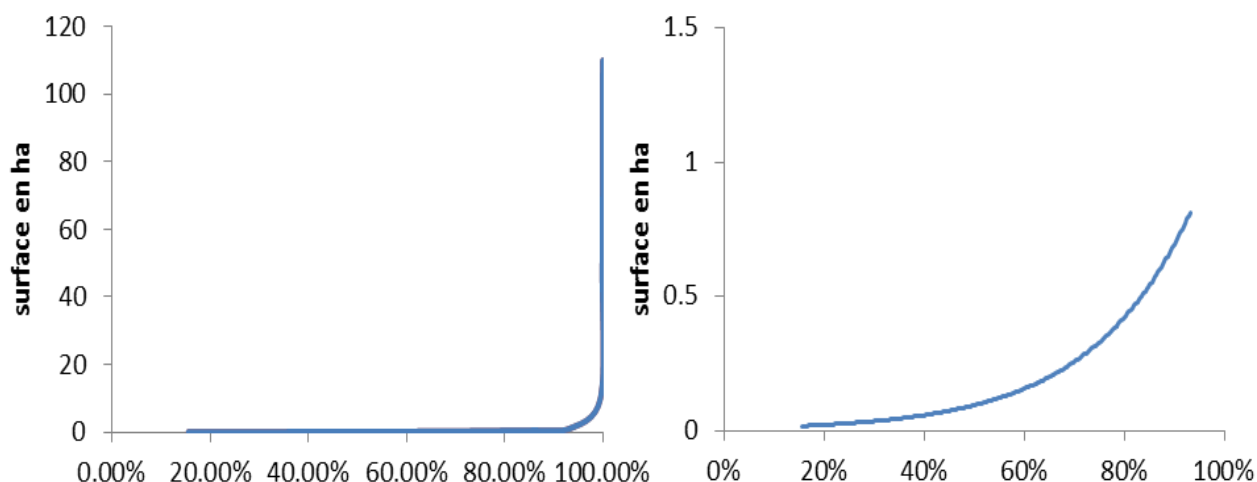


Figure 1: répartition des retenues en fonctions de leur superficie et zoom sur les retenues de moins d'un hectare

Il n'existe pas de base de données propre aux retenues collinaires et les informations décrivant la taille des réservoirs et leur utilisation sont généralement inconnue. Cette étude entre donc dans le cadre de l'amélioration de la qualité des données sur les caractéristiques des retenues collinaire. Elle vise à combler le manque de données pour connaître l'importance de la ressource stockée dans les retenues d'irrigation (estimation de la ressource disponible pour l'irrigation) et sa distribution actuelle.

Le fonctionnement hydrologique (connectée, en dérivation, déconnectée) des retenues a été le premier paramètre estimé. Pour certaines retenues l'information vient des DDT (notamment dans le GERS et le TARN et GARONNE) autrement elle découle de critères de distance de la retenue par rapport au cours d'eau. L'impluvium de chaque retenue est ensuite calculé en fonction de leur fonctionnement hydrologique (impluvium du cours d'eau qui alimente la retenue pour les retenues connectées ou en dérivation, aire de drainage pour les retenues alimentées uniquement par ruissellement). Le calcul du volume de la retenue est basé soit sur l'estimation de la hauteur de digue lorsque l'information n'est pas disponible via les DDT soit directement sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ce calcul se base essentiellement sur des critères géomorphologiques du site d'implantation de la retenue. Finalement, l'usage de la retenue est recherché par rapprochement entre les surfaces irriguées du RPG et les différentes ressources disponibles pour l'irrigation.

Mode d'alimentation principal des retenues

L'attribution du caractère connectée (ou en dérivation) ou déconnectées pour chaque retenue est essentielle pour analyser l'impact des retenues sur le fonctionnement hydrographique des cours d'eau. En effet, il conditionne sa dynamique de remplissage et donc la quantité d'eau qui sera captée par ces retenues et in fine disponible directement pour les cours d'eau. Les retenues déconnectées se remplissent essentiellement par ruissellement ou via une source alors que les retenues connectées et en dérivation se remplissent via les cours d'eau.

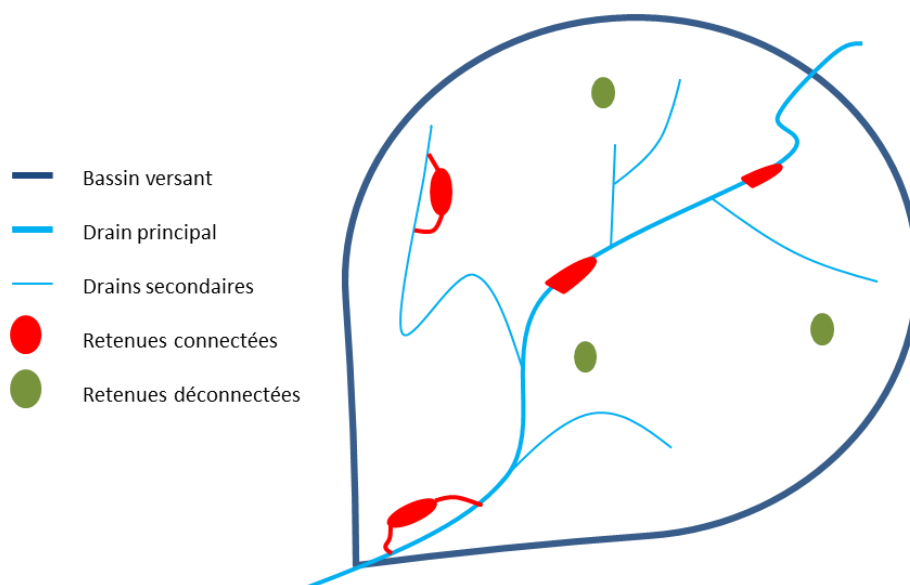


Figure 2: Fonctionnement hydrologique des retenues au sein d'un bassin versant

Le référentiel de base est constitué par les surfaces en eau de la BD TOPO. Il y a 101552 surfaces en eau **situées hors des nappes alluviales** définies par le BRGM sur l'ensemble du bassin Adour Garonne. 32 001 de ces retenues ont un fonctionnement hydrologique renseigné par les informations collectées auprès des DDT par N. Chalabert.

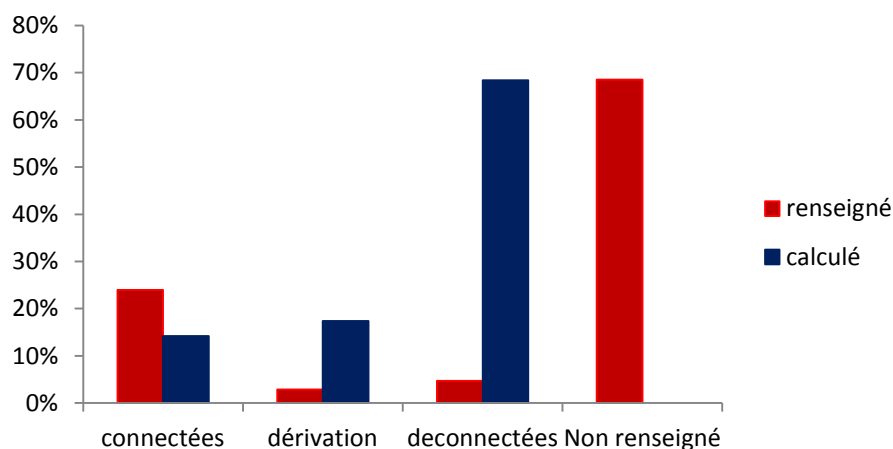


Figure 3 : Répartition des retenues du BAG en fonction de leur fonctionnement hydrologique renseigné (32001 retenues) et spatialement calculé.

Plusieurs critères ont été regardés pour l'attribution du caractère connectés ou déconnectés des retenues :

- La différence d'altitude entre la retenue et le cours d'eau
- La distance au cours d'eau
- La localisation en tête de bassin
- Le gabarit du cours d'eau le plus proche

Sur la base des informations collectées auprès des DDT, la figure 4 montre que jusqu'à 50m du cours d'eau la différence d'altitude entre les cours d'eau et les retenues est très faible. Au-delà de 50m elle reste inférieure

à 5m pour les retenues en dérivation alors qu'elle augmente rapidement avec la distance pour les retenues déconnectées.

Ainsi, le seuil de 5m de différence d'altitude entre le cours d'eau et les retenues pourrait être intéressant pour discriminer les retenues en dérivation des retenues déconnectées. Cependant, un certain nombre de retenues déconnectées serait alors vu comme étant en dérivation. Nous faisons le choix de prendre comme seul critère le seuil de 50m de distance entre le cours d'eau et les retenues (figure 5). L'utilisation de ce critère unique a pour conséquence d'augmenter l'erreur sur les retenues en dérivation (nombre de retenue en dérivation traitées comme des retenues déconnectées). Ce choix a été fait pour faciliter l'actualisation des données et des traitements réalisés à partir de ces données, dans le cas où le fonctionnement hydrologique venait à être confirmé. En effet, il est plus facile de reconnecter une retenue à posteriori que de la déconnecter, l'impluvium d'une retenue connectée étant généralement très supérieur à celui d'une retenue déconnectée.

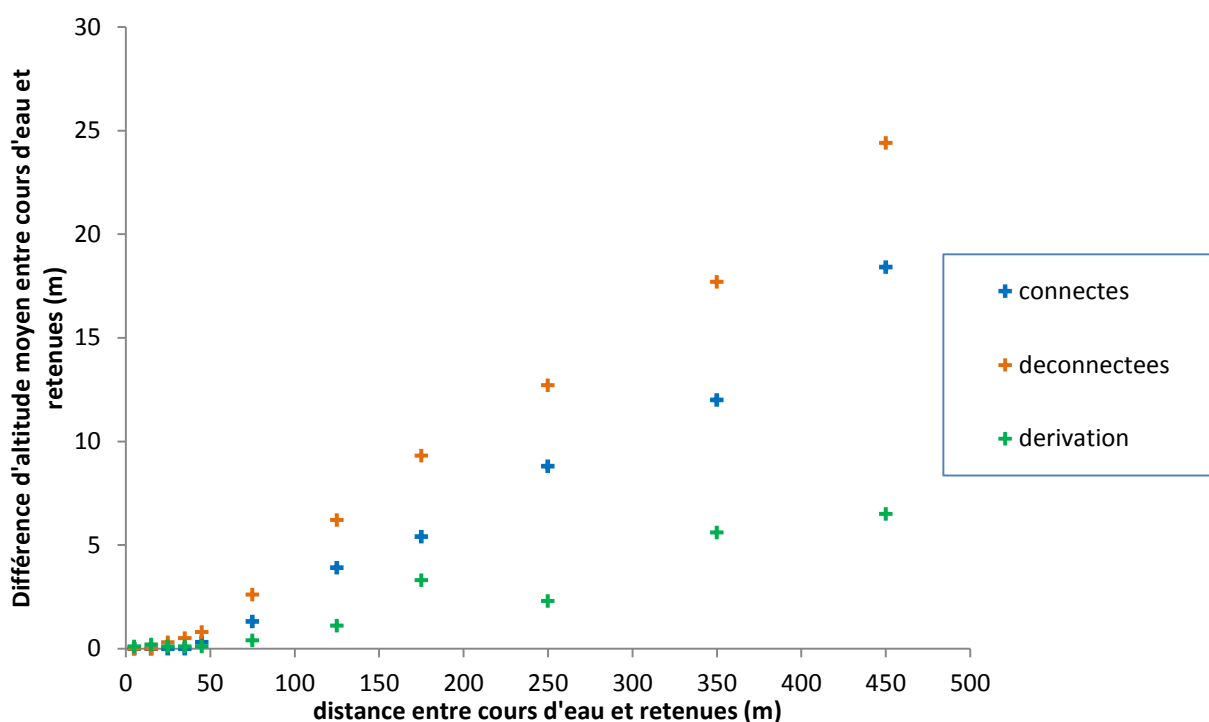


Figure 4 : Evolution de la différence d'altitude moyenne entre le cours d'eau et les retenues connectées (en bleu), déconnectées (en rouge) et en dérivation (en vert) avec la distance.

A titre informatif, les résultats obtenus pour les retenues connectées ont été ajoutées à la figure 4 (en bleu). Cela permet de voir qu'un nombre important de retenues, définies comme connectées, se situent à une distance parfois importante de cours d'eau de niveau 1 à 7 (classement des voies navigables selon la circulaire de 1976, les cours d'eau de niveau 6 et 7 ayant le plus petit gabarit). Nous pensons que ces retenues sont connectées à des cours d'eau intermittent non recensés dans la BD Carthage. Dans la suite de l'étude nous avons choisi de les considérer comme déconnectés.

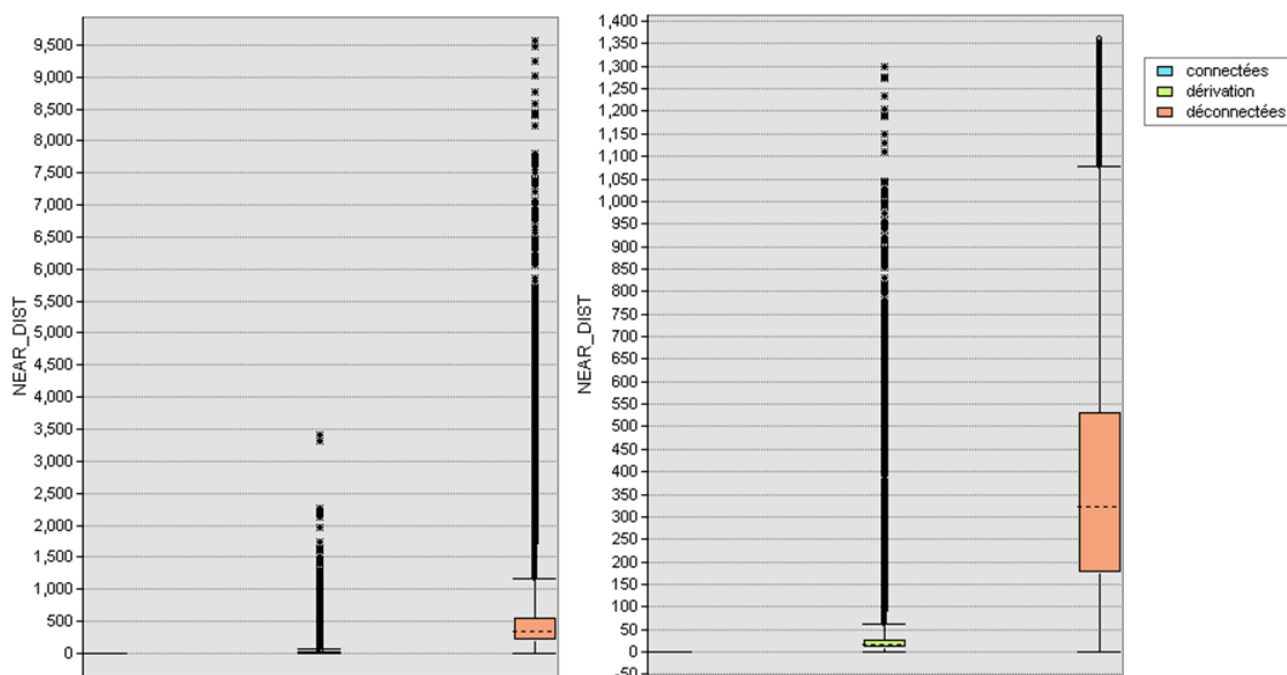


Figure 5: répartition des retenues en fonction de la distance au cours d'eau le plus proche selon les 3 classes de fonctionnement hydrographique et zoom

La localisation de la retenue en tête de bassin et le gabarit du cours d'eau le plus proche ont été regardée également mais ces critères ne semblent pas déterminants.

Retenues connectées

Les retenues qui intersectent un cours d'eau de la BD Carthage de niveau 1 à 7, sont considérées comme étant connectées. Le traitement spatial visant à sélectionner ces retenues prime sur l'information provenant des DDT.

Sur l'ensemble des retenues du BAG, 14400 retenues sont concernées dont 96 identifiées « sur cours d'eau », 1301 identifiées « sur cours d'eau 5m », 5908 identifiées « sur cours d'eau intermittent », 4507 identifiées « sur cours d'eau permanent » et 2588 non renseignées.

Retenues en dérivation

Les retenues situées à 50m ou moins d'un cours d'eau de la BD Carthage de niveau 1 à 7 et les retenues dont la variable « fonction_hydro » les désignent comme étant en dérivation ou pompage, sont considérées comme étant en dérivation, soit 17690 retenues. Dans ce cas, nous avons choisi de faire primer l'information provenant des DDT sur le traitement spatiale.

2885 retenues sont identifiées comme étant connectées mais elles n'intersectent pas de cours d'eau de la BD Carthage. Elles sont situées à moins de 50m d'un cours d'eau et sont donc considérées comme étant en dérivation.

786 retenues sont indiquées comme étant en dérivation mais elles sont situées à plus de 50m d'un cours d'eau. Elles sont considérées comme étant en dérivation.

Retenues déconnectées

Les retenues situées à plus de 50m d'un cours d'eau de niveau 1 à 7 et les retenues dont la variable « fonction_hydro » les désigne comme étant alimentées par ruissellement, sont considérées comme étant

déconnectées, soit 69462 retenues. Dans ce cas, nous avons choisi de faire primer l'information provenant des DDT sur le traitement spatiale.

687 retenues sont indiquées comme étant remplies via du ruissellement mais sont situées à moins de 50m d'un cours d'eau et 508 intersectent un cours d'eau de la BD carthage. 7671 retenues sont indiquées comme étant connectées à un cours d'eau de la BD Carthage mais se situent à plus de 50m d'un cours d'eau. Elles sont considérées comme étant déconnectées.

Hiérarchisation des retenues connectées au drain principal

La modélisation de l'impact des retenues sur le bilan hydrologique ce fait à l'échelle des bassins versants élémentaires propre au fonctionnement de la plateforme de modélisation MAELIA (Cf. documentation sur les bassins versant MAELIA disponible sur le SVN MAELIA). Elle nécessite de connaître l'ordre des retenues le long du drain principal de ces bassins.

Le calcul se base sur la distance entre les retenues connectées au drain principal du bassin versant et son exutoire. Cette procédure est réalisée sous ARCGIS, via un script en Python :

```
#SCRIPT PYTHON ARCGIS  
#hiérarchisation des retenues au sein des bassins versant MAELIA  
# C.Truche sept 2015  
  
#Récupération des Identifiants de SME sur lesquels il y a des retenues connectées puis sélection des  
exutoires de BVmaelia ayant des retenues connectées au drain principal (SME)  
  
#liste des ID_SME (unique)  
import arcpy  
def unique_values(table, field):  
    with arcpy.da.SearchCursor(table,[field]) as cursor:  
        return sorted({row[0] for row in cursor})  
  
ID_SME=unique_values("D:/ aQctruche/Documents/Archydro_test/Aveyron_Exutoire_SME.shp", 'ID_SME')  
  
#Sélection des exutoires de BVmaelia correspondant à la liste précédente  
arcpy.MakeFeatureLayer_management ("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/Aveyron_BVmExutoire.shp", "ExutoireBVMyr")  
  
query = "\"DrainID\" IN" +str(tuple(ID_SME))  
arcpy.SelectLayerByAttribute_management ("ExutoireBVMyr", "NEW_SELECTION",query)  
  
arcpy.CopyFeatures_management("ExutoireBVMyr",  
"D:/ctruche/Documents/Archydro_test/Aveyron_BVmExutoireWITHretenues.shp")  
  
#Calcul de distance entre les exutoires de BVmaelia et les retenues sur SME  
rows= arcpy.SearchCursor("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/Aveyron_BVmExutoireWITHretenues.shp")  
row=rows.next()  
while row:  
    Drain= row.getValue("DrainID")  
    arcpy.MakeFeatureLayer_management  
("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/Aveyron_BVmExutoireWITHretenues.shp", "ExutoireBVMyr")  
    queryA= "\"DrainID\" =" +str(Drain)  
    arcpy.SelectLayerByAttribute_management ("ExutoireBVMyr", "NEW_SELECTION", queryA)  
    arcpy.CopyFeatures_management("ExutoireBVMyr",  
"D:/ctruche/Documents/Archydro_test/ExutoireBVMyr"+str(Drain)+".shp")
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management ("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/Aveyron_Exutoire_SME.shp",
"RetenuesSMElyr")
queryB= "\"ID_SME\"=\"" +str(Drain)
arcpy.SelectLayerByAttribute_management ("RetenuesSMElyr", "NEW_SELECTION", queryB)
arcpy.CopyFeatures_management("RetenuesSMElyr",
"D:/ctruche/Documents/Archydro_test/RetenuesSMElyr"+str(Drain)+".shp")
arcpy.Near_analysis("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/RetenuesSMElyr"+str(Drain)+".shp",
"D:/ctruche/Documents/Archydro_test/ExutoireBVlyr"+str(Drain)+".shp")

#tri des distance
arcpy.Sort_management("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/RetenuesSMElyr"+str(Drain)+".shp",
"D:/ctruche/Documents/Archydro_test/SORTIE_PYTHON/RetenuesSMElyr"+str(Drain)+"_Sort.shp", [{"NEAR_DIST", "ASCENDING"}])

#incrémenter un champ
def autoIncrement(start=0,step=1):

    i=start
    while 1:
        yield i
        i+=step

incrementCursor =
arcpy.UpdateCursor("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/SORTIE_PYTHON/RetenuesSMElyr"+str(Drain)+"_Sort.shp")
incrementer = autoIncrement(0,1)
for ligne in incrementCursor:
    ligne.setValue("ordre", incrementer.next()) #Note use of next method
    incrementCursor.updateRow(ligne)

arcpy.Delete_management("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/RetenuesSMElyr"+str(Drain)+".shp")
arcpy.Delete_management("D:/ctruche/Documents/Archydro_test/ExutoireBVlyr"+str(Drain)+".shp")

row=rows.next()

arcpy.env.workspace = "D:/ctruche/Documents/Archydro_test/SORTIE_PYTHON"
list=arcpy.ListFeatureClasses()
arcpy.Merge_management(list, "RetenuesSME_Sort.shp")
```

Calcul des impluviums

Création et placement de l'exutoire

La détermination de l'impluvium est très sensible au positionnement de **l'exutoire de la retenue** et nécessite une attention particulière afin d'éviter un certains nombres d'erreur. En effet, un exutoire mal positionné peut générer un résultat non attendu :

- connection à un cours d'eau d'une retenue déconnectée ou déconnection d'une retenue connectée.
- Connection d'une retenue au mauvais drain notamment pour les retenues proche d'une confluence
- Non création de l'impluvium

Cependant, au vu du nombre de retenues à étudier l'utilisation d'une fonction de repositionnement automatique, basée sur les flux d'accumulation calculés à partir du MNT, est inévitable.

Pour les retenues de plus de 625 m² (1 pixel du MNT à 25m de l'IGN), l'exutoire de la retenue est placé au maximum d'accumulation de flux (zone de la retenue concentrant le plus les flux. C'est donc la zone la plus propice pour drainer le reste de la retenue). Pour les petites retenues l'exutoire correspond à une transformation du polygone en point contenu dans le polygone.

Pour les retenues connectées ou en dérivation, l'exutoire est déplacé sur le cours d'eau le plus proche afin que l'impluvium calculé pour la retenue soit celui du cours d'eau qui alimente la retenue.

Pour les retenues déconnectées, on calcule l'impluvium directement à partir de la position de l'exutoire. Si ça ne marche pas, on peut appliquer un léger déplacement de l'exutoire sur une zone plus propice en comparant avec la carte du maximum d'accumulation de flux dérivée du MNT 25. On recherche, via une fonction automatique, au sein d'un périmètre de capture autour des points d'écoulement spécifiés, la cellule qui présente l'accumulation de flux la plus élevée et on déplace le point d'écoulement à cet emplacement.

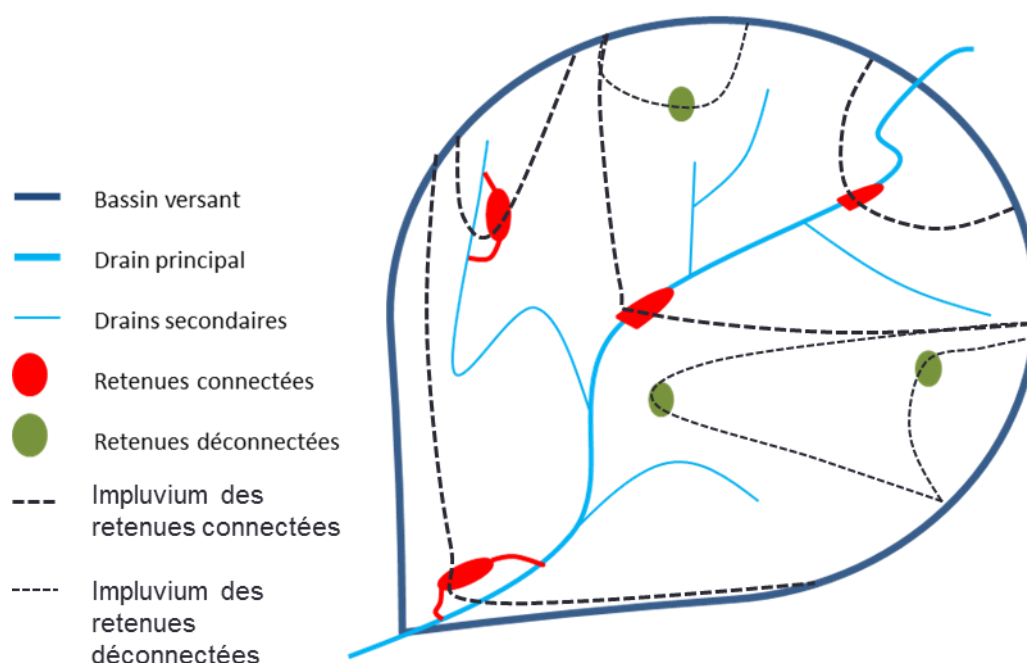


Figure 6: impluvium attendue en fonction du fonctionnement hydrographique des retenues

Détermination des impluviums sur l'ensemble du BAG

L'impluvium correspond au bassin versant topographique qui collecte les eaux de précipitations qui ruissellent/circulent jusqu'aux plan d'eau qui en est le réceptacle. La donnée principale en entrées est le **MNT IGN BD Alti avec une résolution de 25m** qui permet de calculer la direction de plus grande pente et de dessiner les lignes de crête. Les retenues collinaires, issues de la couche « surface_eau_bdtopo_retenues.shp », sont les retenues situées en dehors des nappes alluviales (couches « ms_cd_1_allu.shp » du BRGM).

Nous utilisons le module ARC HYDRO du logiciel ArcGIS pour calculer les différents impluviums. La procédure a également été testée sous QGIS / GRASS mais le positionnement de l'exutoire est beaucoup plus sensible sur ce dernier. Cela rend la détermination de l'impluvium plus aléatoire et ne convient donc pas pour une analyse sur un grand territoire.

La chaîne de traitement via le module ArcHydro d'ArcGIS est la suivante :

- 0- Impression du réseau hydrographique sur le MNT via une couche vectorielle des cours d'eau.
- 1- Remplissage des cuvettes
- 2- Détermination de la direction d'écoulement
- 3- Détermination de l'accumulation d'écoulement
- 4- Détermination du réseau d'écoulement
- 5- Segmentation du réseau d'écoulement
- 6- Détermination du bassin versant de chaque tronçon du réseau d'écoulement
- 7- Fusion des bassins versants de chaque élément pour constituer des bassins versant de la taille souhaitée

Dans notre cas, des ajustements ont été nécessaires. L'étape 0 n'a pas été réalisée. Elle nécessite une connaissance et une certaine homogénéité de la zone qui n'est pas possible à l'échelle à laquelle nous travaillons. En effet, la largeur de la zone à « creuser » dans le MNT, de part et d'autre de la ligne de cours d'eau, le dénivellement de la terrasse alluviale et la profondeur moyenne du cours d'eau doivent être connues. Les étapes 4 et 5 sont remplacées par le forçage du réseau hydrographique.

Les impluviums des retenues sont non superposés. La variable "FonctHydro" associée permet de distinguer les retenues en fonction de leur fonctionnement hydrographique. Il faut retenir que des incohérences entre l'impluvium effectivement tracé et le fonctionnement hydrographique peuvent exister du fait de la fonction de remplacement optimal de l'exutoire.

Nous avons également réalisé un redécoupage des impluviums des retenues par les BV MAELIA (Cf. Document technique sur la création de ces bassins versants pour les besoins de la modélisation hydrologique via la plateforme MAELIA). Les impluviums des retenues déconnectées ne sont pas affectés par ce redécoupage. En revanche les impluviums des retenues connectées qui correspondent à l'aire de drainage du cours d'eau qui alimente la retenue ne correspondront plus qu'à la partie incluse dans le BVe correspondant.

Statistiques sur les impluviums

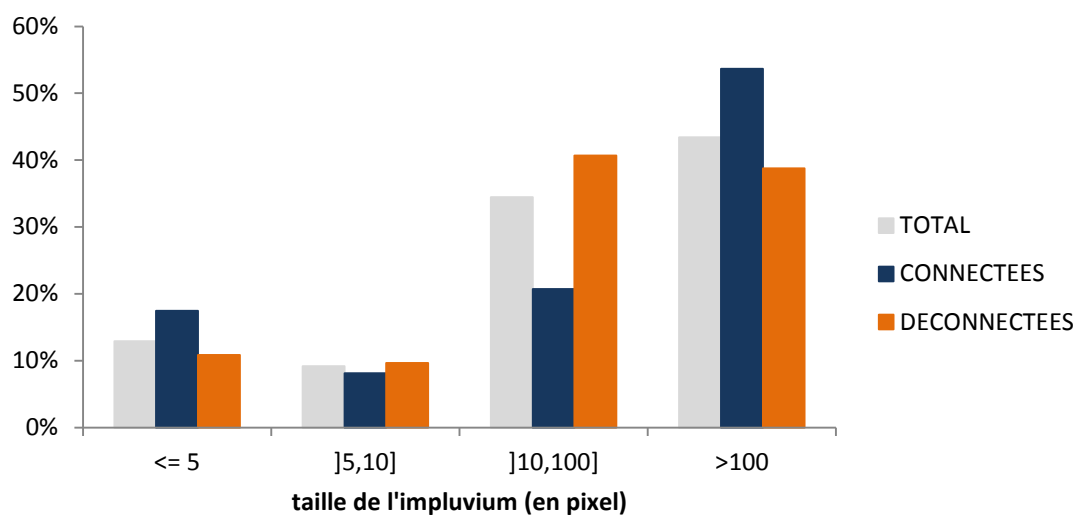


Figure 7: répartition des impluviums en fonction de leur superficie pour chaque fonctionnement hydrographique

Estimation du volume de la retenue

Nous disposons d'un jeu de données compilant des informations, en provenance de plusieurs DDT, sur l'usage, le mode d'alimentation ou encore le volume d'un peu moins de 10 000 retenues réparties principalement sur les départements du Gers, du Tarn-et-Garonne et du Lot-et-Garonne.

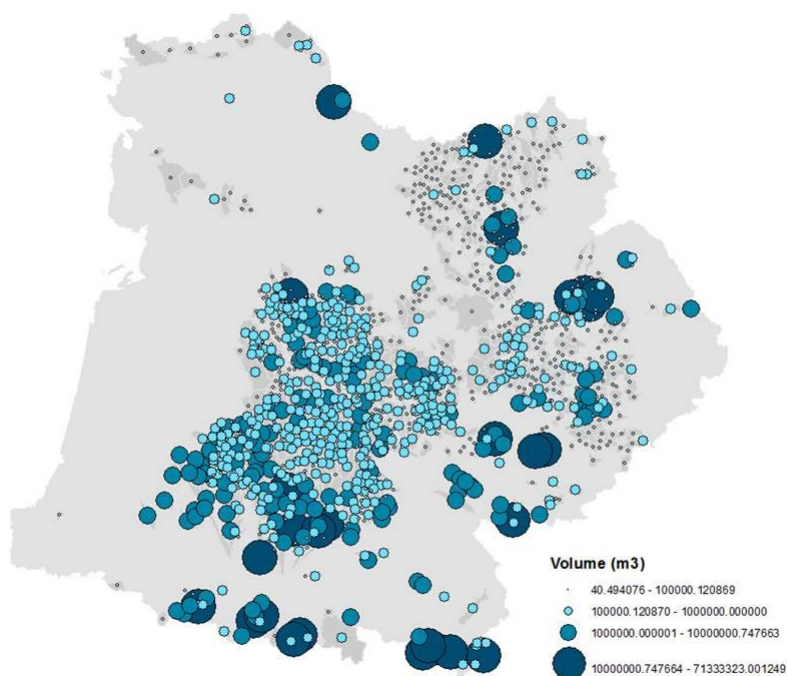
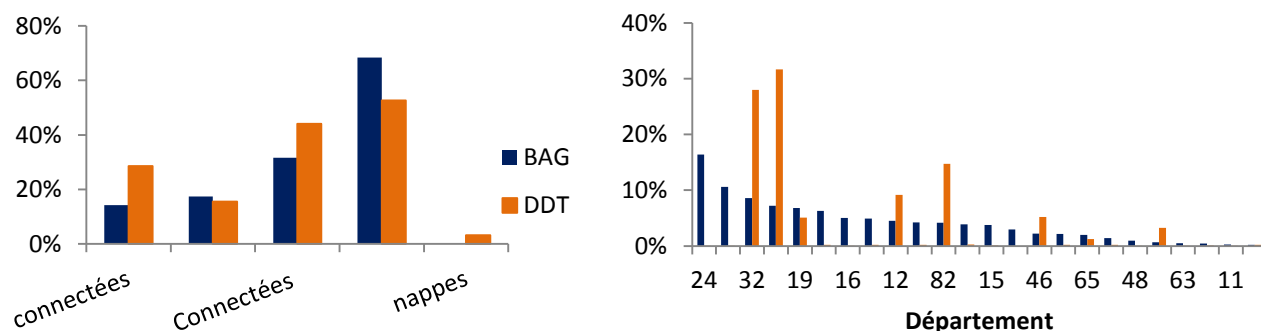
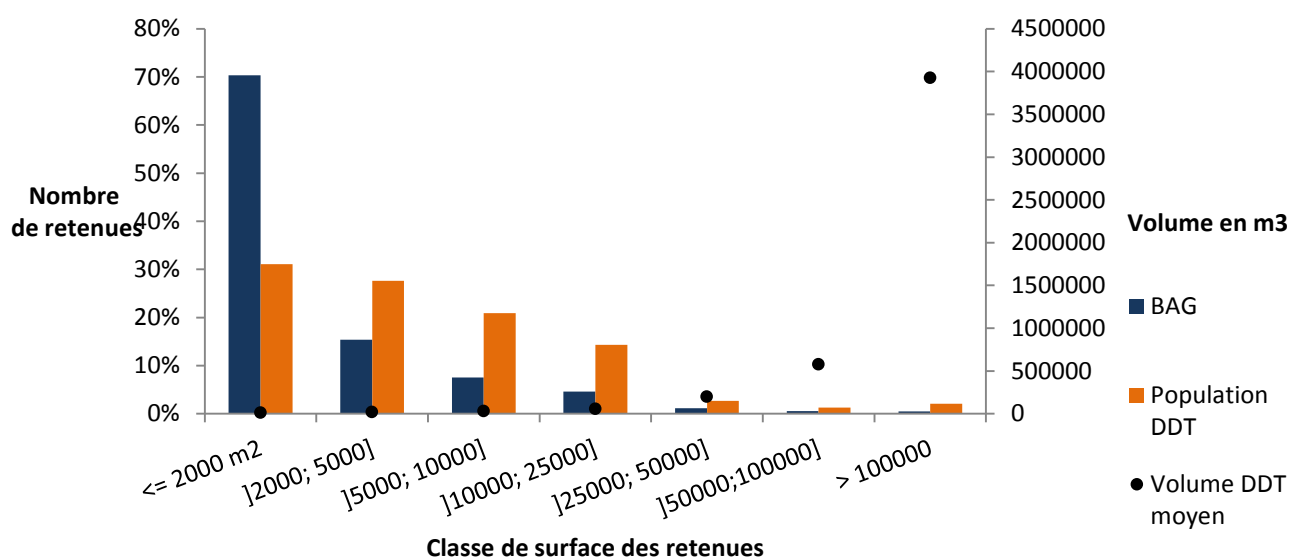


Figure 8 : Carte de répartition des volumes stokes dans les retenues composant la population DDT à l'échelle du BAG

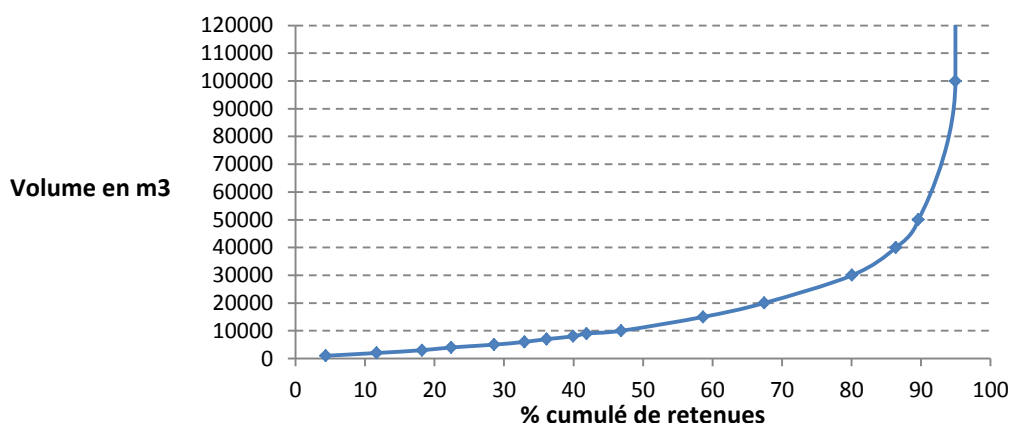
La distribution géographique de ce jeu de données n'est pas représentative du BAG. En effet le Tarn-et-Garonne, le Gers et le Lot-et-Garonne sont sur représenté contrairement à la Dordogne et à la Gironde qui comptabilisent le plus de retenues à l'échelle du BAG.



A l'échelle du BAG, 70% des retenues font moins de 2ha de superficie et 85% font moins de 5ha. Ces retenues sont sous représentées dans la population DDT. En revanche les retenues de plus de 25ha sont bien prises en compte.



En termes de volume, à l'échelle de la population des retenues DDT, on constate que 2% des retenues représente 70% du volume total. Ces 201 retenues ont une surface supérieure à 100ha



a- Statistiques descriptives

Dans un premier temps, nous faisons appel aux statistiques descriptives afin d'analyser de manière simultanée l'ensemble des variables décrivant la morphologie des retenues et leur contexte géomorphologique. L'objectif étant de voir si des corrélations apparaissent et si des parallèles peuvent être faits entre les caractéristiques géométriques des retenues (décrit par son volume, sa surface et sa forme) et leur emplacement (pente locale, altitude, forme du relief, l'accumulation de flux traduisant la présence d'un canal d'écoulement). Nous cherchons ainsi à caractériser des groupes de retenues par les variables précédentes et à établir des profils de retenues (contexte d'implantation et caractéristiques spécifiques des retenues). Cette première analyse peut permettre également de comprendre les contextes d'implantation et les caractéristiques spécifiques des retenues du BAG pour envisager leurs impacts potentiels dans le contexte local.

On remarque que les valeurs des paramètres de forme des retenues (volumes, les surfaces et les valeurs de forme) sont très étalées et présentent de nombreuses valeurs atypiques vers les fortes valeurs. Ces valeurs seront donc difficiles à interpréter dans notre étude. De manière générale, on note que ces paramètres sont légèrement plus importants pour les retenues connectées que pour les retenues déconnectées.

La distribution des altitudes et des pentes des retenues connectées et déconnectées est relativement homogène contrairement à l'accumulation de flux. Ce dernier paramètre est beaucoup plus grand pour les retenues connectées, ce qui s'explique par le fait que ces dernières sont généralement sur des cours d'eau permanent où le flux est concentré.

b- Analyse en Composantes Principales

Nous utilisons des variables quantitatives de type différent. Il est donc nécessaire de normaliser les variables (chaque colonne est divisé par sa variance) afin de ne pas biaiser l'ACP en faveur des nombres les plus grands. Idéalement, les variables initiales devraient être indépendantes. Lorsque ce n'est pas le cas, les composantes principales contiennent un mélange de toutes les variables ce qui rend l'interprétation difficile. L'ACP aboutit à une représentation graphique des données par rapport aux facteurs résumant le mieux possible les données considérées.

La principale difficulté vient du fait que les deux premières dimensions ne traduisent que 50% de l'information disponible. On perd donc 50% de l'information lorsque l'on projette sur deux axes principaux. Trois composantes principales prennent en compte environ 66% de l'inertie du nuage de point.

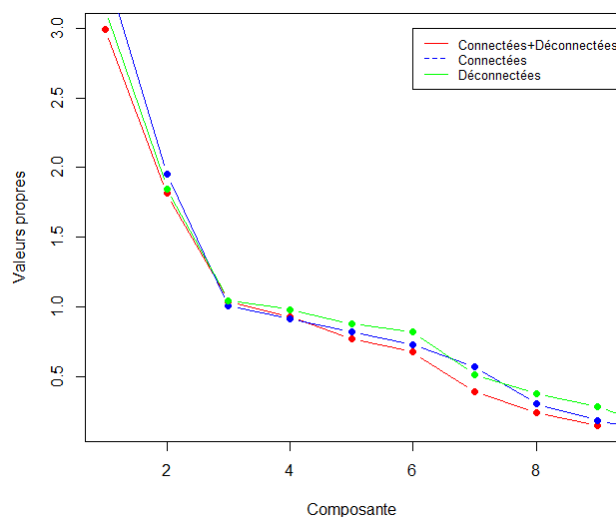


Figure 9 : graphique des éboulis des valeurs propres

Le cercle des corrélations met en évidence les corrélations entre variables. On voit qu'il y a un regroupement des paramètres de forme des retenues (Surface, volume, forme) et dans une moindre mesure de la différence d'altitude de la retenue (qui peut être vu comme une mesure de la profondeur moyenne) et de l'accumulation de flux. Cette dernière corrélation est intéressante et pourrait suggérer un dimensionnement des retenues en fonction de l'accumulation de flux. Cependant, elle est à relativiser du fait du peu de variance traduite par l'ACP et de son coefficient de corrélation plus faible.

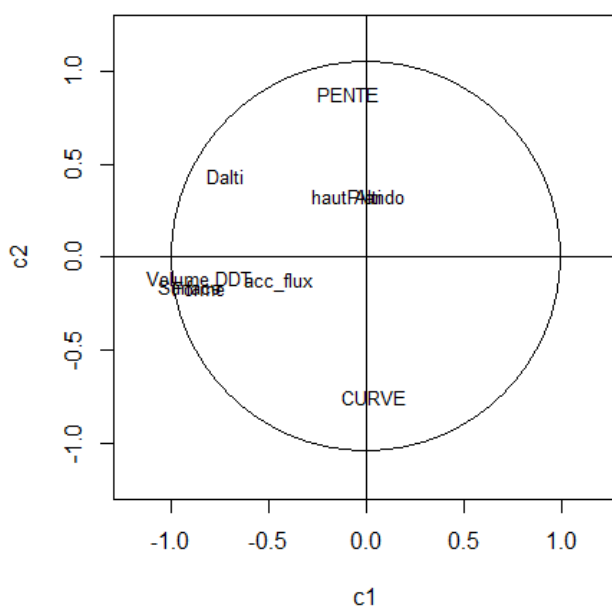


Figure 10: Cercle des corrélations des variables selon les 2 premières composantes

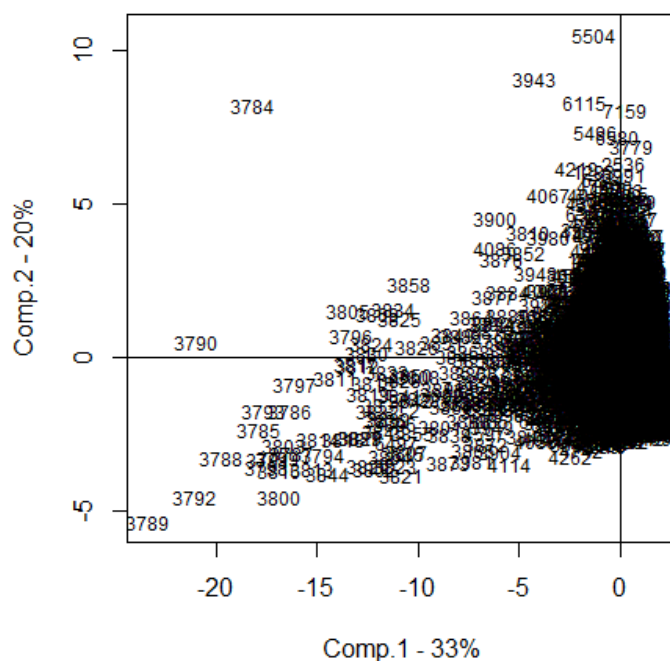
Au vu de la représentation on peut attribuer (de manière subjective) un sens qualitatif aux axes du cercle de corrélations. En effet, les variables de surface, accumulation de flux et de forme de la retenue sont corrélées avec le volume. Le deuxième axe oppose la pente et la courbure du relief. Il semblerait donc que l'axe vertical soit porteur d'une information relative à la géomorphologie locale des retenues. La partie supérieure correspondrait aux fortes pentes et la partie inférieure aux zones planes ou concaves. Quant à l'axe

horizontal, il serait porteur d'une information liée à la forme de la retenue. Les variables altitudes et hauteur du plan d'eau ne sont corrélées ni aux autres variables, ni aux composantes.

La matrice des corrélations donnant les coefficients de corrélation linéaire des variables prises deux à deux, permet de compléter cette première analyse.

	Volume DDT	Surface	hautPlando	Dalti	Forme	Alti	PENTE	CURVE	acc_flux
Volume.DDT	1.00	0.76	-0.05	0.34	0.53	0.07	0.06	-0.06	0.30
Surface	0.76	1.00	-0.06	0.46	0.76	0.06	-0.04	0.05	0.39
hautPlando	-0.05	-0.06	1.00	0.06	0.03	-0.01	0.18	-0.09	-0.02
Dalti	0.34	0.46	0.06	1.00	0.57	0.07	0.40	-0.23	0.28
Forme	0.53	0.76	0.03	0.57	1.00	-0.01	-0.08	0.13	0.41
Alti	0.07	0.06	-0.01	0.07	-0.01	1.00	0.21	-0.07	-0.03
PENTE	0.06	-0.04	0.18	0.40	-0.08	0.21	1.00	-0.53	-0.08
CURVE	-0.06	0.05	-0.09	-0.23	0.13	-0.07	-0.53	1.00	-0.07
acc_flux	0.30	0.39	-0.02	0.28	0.41	-0.03	-0.08	-0.07	1.00

En projetant nos informations sur les deux premiers axes nous obtenons la carte factorielle des individus suivante :



expliqué par ces derniers. La corrélation entre les paramètres de forme et l'accumulation de flux est fortement conditionnée par les retenues connectées. Les cartes factorielles des individus traduisent la faible inertie du nuage des retenues et soulignent la difficulté à s'appuyer sur des critères géomorphologiques pour modéliser le volume des retenues.

c- Estimation du volume des retenues

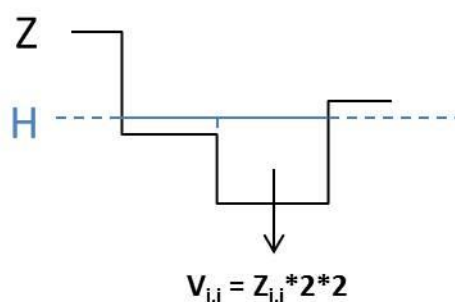
Dans un premier temps, le volume de la retenue a été estimé en ajustant une relation linéaire de la surface vers le volume du réservoir en utilisant une formule utilisée par certaines DDT et adaptée en fonction des données qu'elles possèdent :

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \text{hauteur digue (m)} \times \text{surface en eau} / 3 \text{ (m}^2\text{)}$$

Lorsque la hauteur de digue n'est pas connue, celle-ci est fixée à 2m car il s'agit du seuil au-delà duquel l'ouvrage doit être déclaré.

Ce volume sous-estime généralement les volumes fournis par les DDT. Cela vient probablement du fait que les hauteurs de digues sont très variables d'une retenue à une autre et donc que le choix d'une valeur de 2m comme hauteur de digue n'est pas viable.

Nous avons donc utilisé un Modèle Numérique de Terrain ré-échantillonné à 2m pour estimer un volume. Nous utilisons la méthode des rectangles dont la démarche est schématisée ci-dessous.



A partir d'un domaine décomposé en mailles (pixel carré de 2m de coté), on définit une hauteur d'eau H (altitude maximal intersectée par le polygone représentant la retenue). On calcule ensuite, le volume d'eau à la verticale de chaque maille. Le calcul du volume se fait en sommant les volumes élémentaires : $V = \sum_{i,j} v_{i,j}$

Cette méthode est limitée pour les zones plates et pour les petites retenues. D'autre part, elle ne permet pas de tenir compte d'un surcreusement de la retenue.

Une comparaison du volume fourni par les DDT avec le volume calculé à partir d'une hauteur de digue (vol_Inra2) ou à partir de la méthode des rectangles (volume MNT) en fonction de la surface montre que le volume des petites retenues est très sous-estimé par les différents calculs. Cela vient très certainement du surcreusement fréquent réalisé lors de la construction de ce type de retenues. En revanche, pour les retenues de plus grandes tailles (supérieur à 10000 m²), on constate que le volume MNT a une tendance à la sur-estimation.

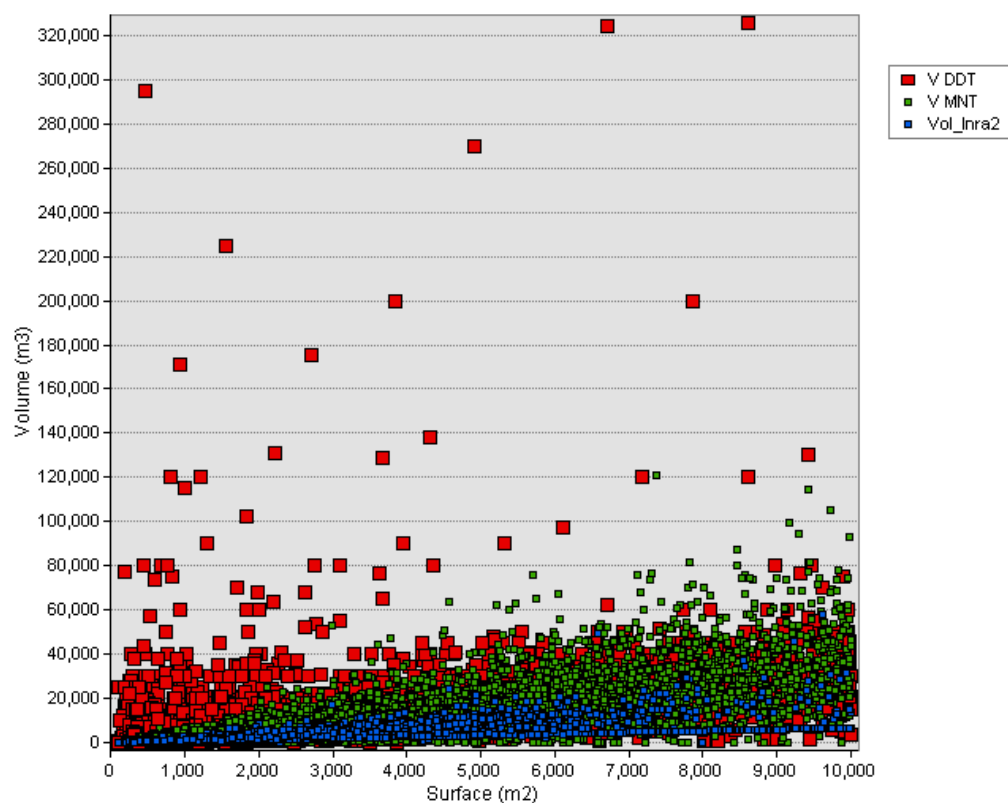


Figure 12 : Répartition des Volumes DDT, inra2 et MNT des retenues de moins de 10 000 m² en fonction de la surface

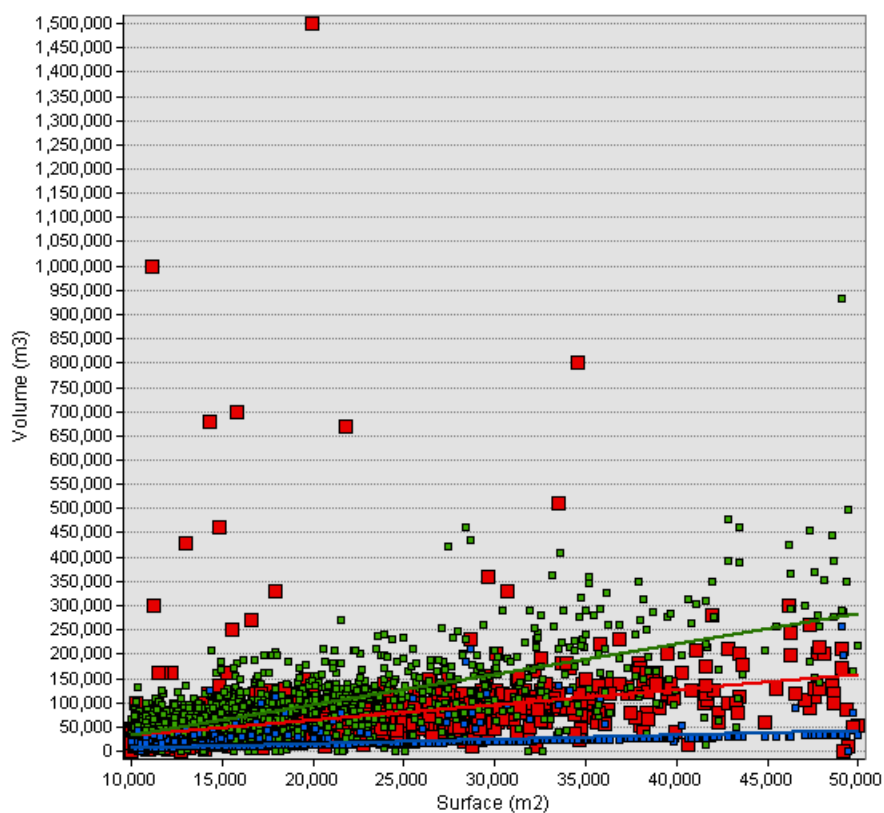


Figure 13 : Répartition des Volumes DDT, inra2 et MNT des retenues dont la surface est comprise entre 10 000 et 50 000 m² en fonction de la surface

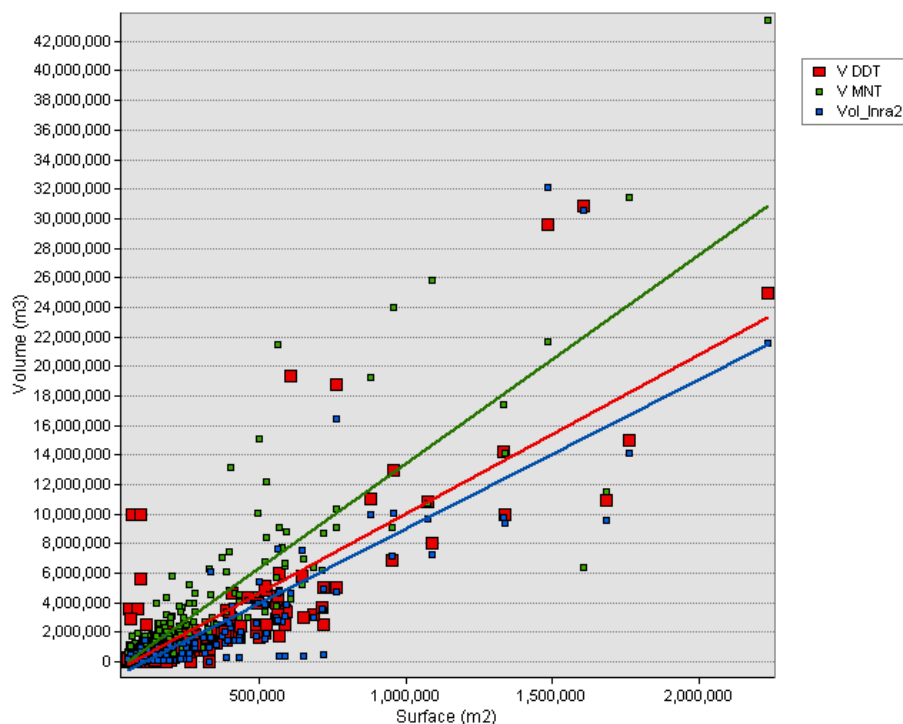


Figure 14 : Répartition des Volumes DDT, inra2 et MNT des retenues de plus de 50000 m² en fonction de la surface

d- Recharge potentielle des retenues

La plateforme MAELIA permet de simuler la recharge potentielle des retenues collinaires déconnectées par les précipitations. Elle prend en compte **une recharge directe** de la retenue par les précipitations tombant sur la surface de la retenue et **une recharge indirecte** par la part de ces précipitations qui ruissellent jusqu'à la retenue. Cette dernière est dépendante notamment de la taille de l'impluvium et des formalismes de SWAT.

Dans un premier temps, le modèle AQYIELD permettant de simuler la dynamique de la croissance des plantes sur l'impluvium et les prélèvements agricoles ne sont pas activés. Cependant une première estimation montre que lorsqu'on les active, le ruissellement augmente d'environ 50% certaines années du fait de la surestimation du ruissellement par AqYield (peut-être également sous-estimation par SWAT) et à la prise en compte des effets de l'irrigation. L'évaporation de la retenue n'est pas déduite de cette recharge.

Les premières simulations sont réalisées sur le bassin versant de l'Aveyron (figure 8).



Figure 15 : Bassin versant de la « zone Aveyron ». Les impluviums des retenues renseignées par les DDT apparaissent en vert.

Recharge directe des retenues déconnectées

La recharge directe est calculée par la formule suivante :

$$\text{Somme des précipitations annuelles sur la maille safran contenant la retenue} * 0.01 * \text{Surface de la retenue}$$

A l'échelle du BAG, une comparaison entre la **recharge directe et le volume des retenues** peut être faite pour les retenues constituant la *population DDT* (retenues pour lesquelles ont à l'information sur le volume via les DDT ; confère article sur les volumes). Cette comparaison est faite pour trois types de retenues : les retenues de moins de 2 ha et ayant un volume DDT < 20000 m³ (1945 retenues), les retenues dont la surface varie entre 2 et 25 ha et ayant un volume DDT < 250000 m³ (2972 retenues) et les retenues de plus de 25ha (46 retenues).

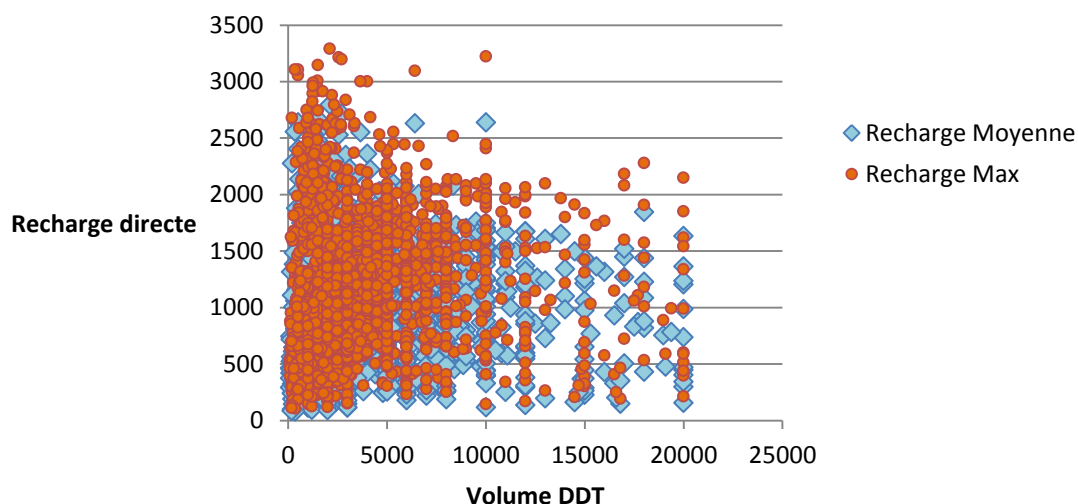


Figure 16 : Comparaison entre le volume fourni par les DDT et la recharge directe calculée pour les retenues de moins de 2 ha

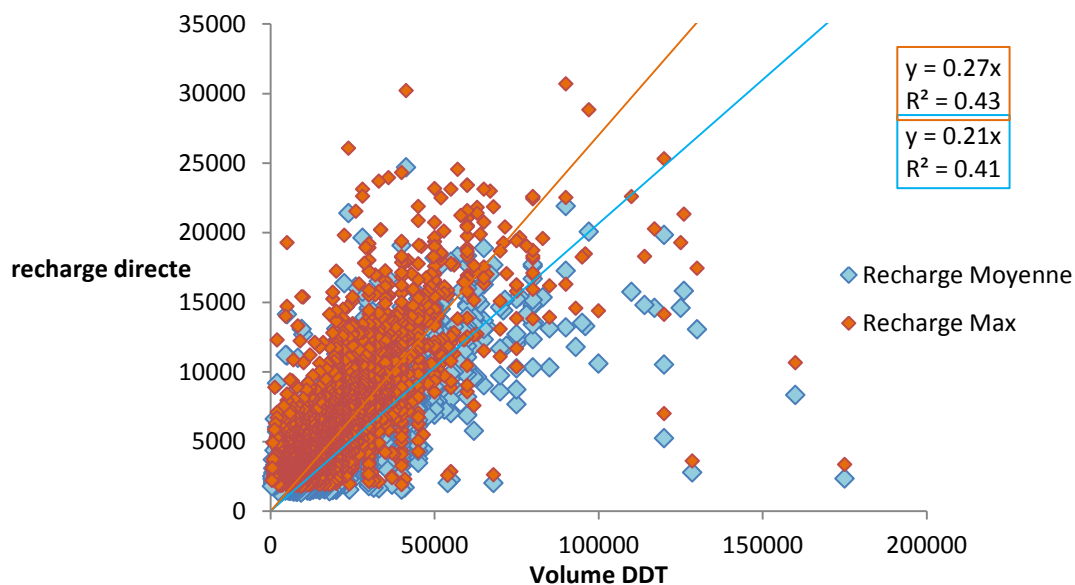


Figure 17 : Comparaison entre le volume fourni par les DDT et la recharge directe calculée pour les retenues dont la surface est comprise entre 2 et 25 ha

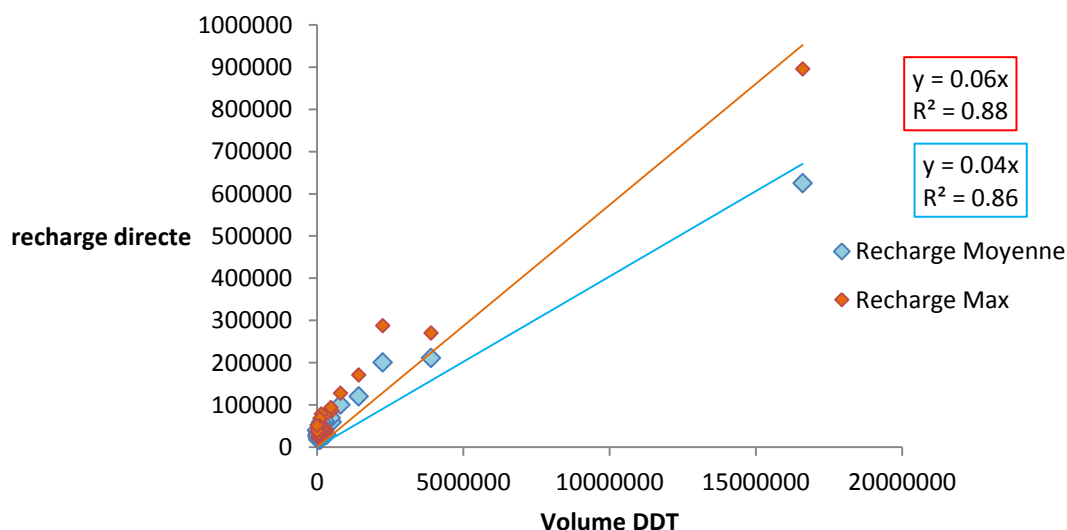


Figure 18 : Comparaison entre le volume fourni par les DDT et la recharge directe calculée pour les retenues de plus de 25 ha

Recharge directe et indirecte des retenues déconnectées sur la zone Aveyron

Sur le bassin versant de l'Aveyron nous avons pu comparer la recharge directe et indirecte des retenues déconnectées. La part indirecte de la recharge provenant du ruissellement est fournie par la plateforme MAELIA.

Sur cette zone on a 586 retenues déconnectées en sortie des simulations MAELIA et 171 retenues déconnectées pour lesquelles on a le volume de la retenue via les DDT.

La surface de la retenue représente en moyenne 5% de la surface de l'impluvium (figure 12). Il arrive également que certaines retenues n'est pas d'impluvium (remplissage de la retenue par un autre biais que le ruissellement/ erreur lors du calcul de l'impluvium).

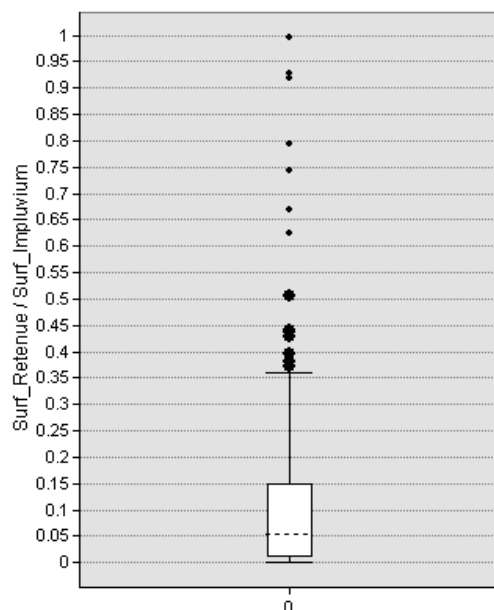


Figure 19 : Répartition des retenues en fonction du rapport entre la surface de la retenue et la surface de l'impluvium

Les probabilités de fréquence montrent que 50% des impluviums des retenues font moins de 5ha et 40% font moins de 1ha.

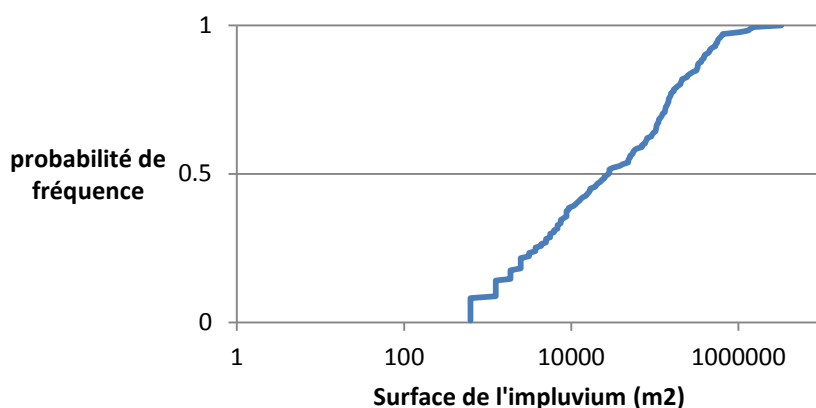


Figure 20 : Probabilité de fréquence de la surface des impluviums

En moyenne sur la zone Aveyron on note que la recharge potentielle des retenues déconnectées est assurée à 50% par le ruissellement et à 50% par la pluie tombant directement sur la surface de la retenue.

Dans le détail, on se rend compte que la recharge de la retenue par le ruissellement est beaucoup plus importante pour les petites retenues de moins de 2 ha (figure 14 et 15). Ce résultat pourrait traduire l'hypothèse qu'un certain nombre de retenues déconnectées sont en fait alimentées via du pompage ou via une source, plutôt que par ruissellement.

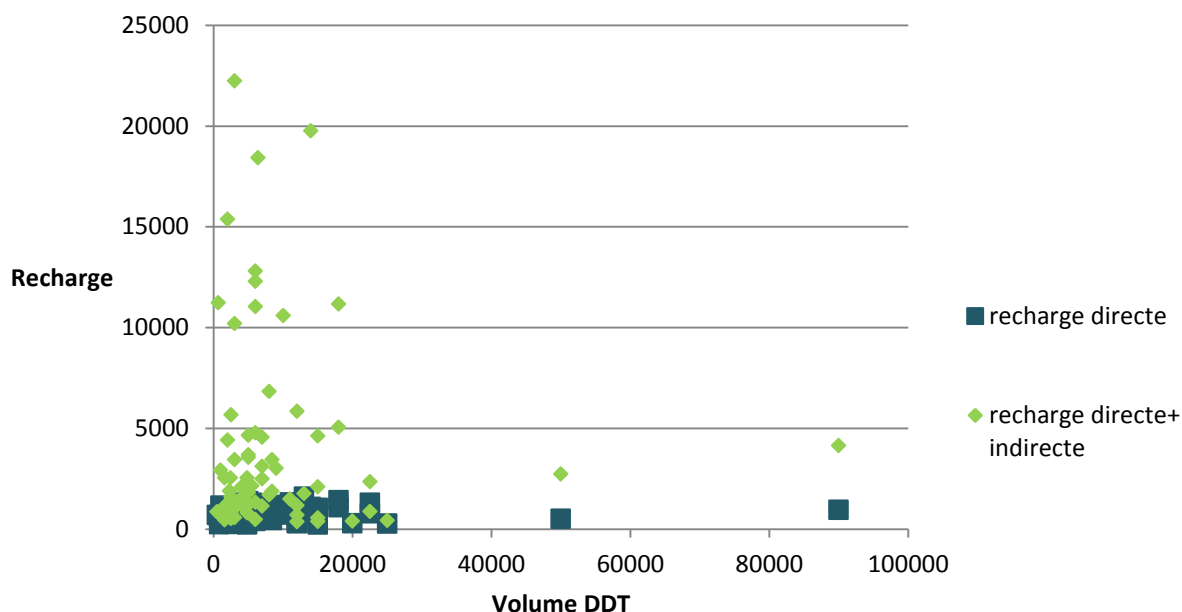


Figure 21 : Comparaison des différentes recharges avec le volume DDT pour les retenues de moins de 2 ha

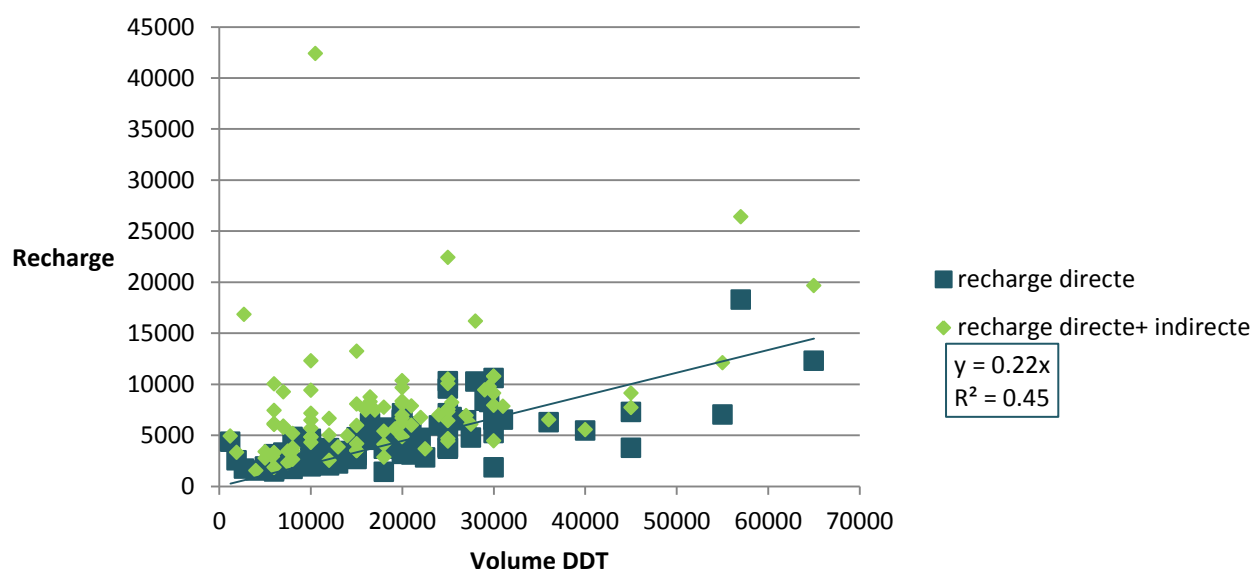


Figure 22 : Comparaison des différentes recharges avec le volume DDT pour les retenues de plus de 2 ha

Cette étude montre que la recharge directe et indirecte des retenues n'est pas suffisante pour remplir les retenues déconnectées.

Estimation de l'usage agricole des surfaces en eaux

Utilisation de la BD parcellaire (cadastre numérique) pour créer un buffer intelligent autour des ilots irrigués du RPG. Les ilots considérés comme irrigués sont les ilots du RPG ayant au moins une déclaration irrigation entre 2007 et 2009. Par la suite on pourrait élargir aux ilots ayant au moins une fois du maïs entre 2007 et 2016 (la déclaration de l'irrigation dans le RPG devrait de nouveau être accessible à partir de 2016).

L'utilisation de la BD parcellaire permet de tenir compte du découpage réel des parcelles agricoles plutôt que du découpage déclaré par les agriculteurs dans le RPG.

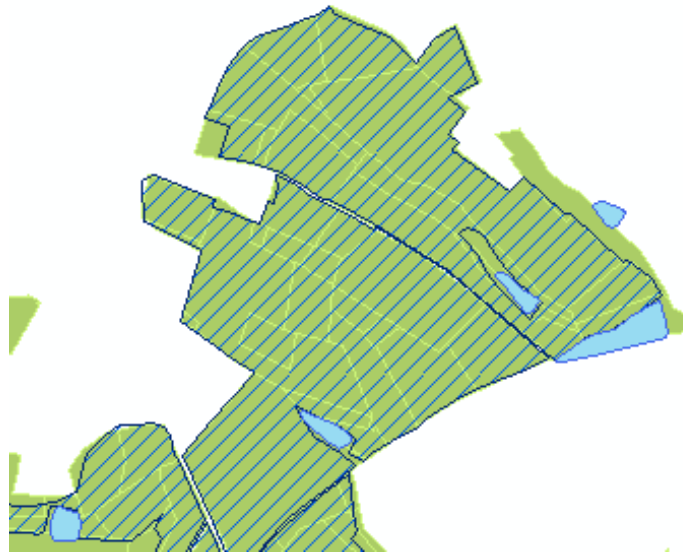


Figure 23 : exemple de buffer générer autour des ilots irrigués du RPG (en hachuré) à l'aide de la BD parcellaire (en vert)

Méthode récupération des parcelles cadastrales:

- Ilots irrigués avec buffer de -10m (pour éviter l'approximation de tracés des ilots)
- Croisement avec la BD parcellaire de l'IGN

A titre d'exemple, sur le bassin versant de l'Aveyron, cette méthode nous permet de passer de 12% à 23% des retenues superposées à des parcelles irriguées.

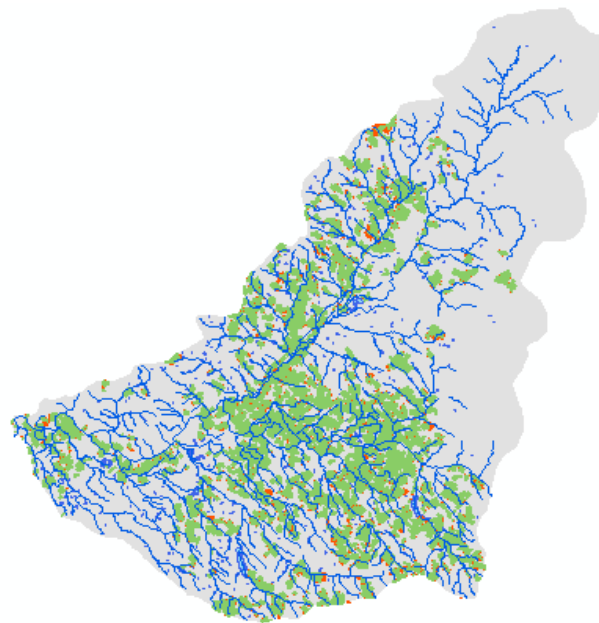


Figure 24 : bassin versant de l'Aveyron avec en vert les ilots irrigués du RPG et en orange l'extension via la BD PARCELLAIRE

	ilots mais	parcelle cadastrale mais
Nombre d'ilots	1723	/
Surface	13 226 ha	14 100 ha
Nombre de retenues sur ilots	162	300
part des retenues sur ilots	12%	23 %

A l'échelle du bassin Adour-Garonne, j'ai ainsi proposé deux nouvelles variables au shape des surfaces en eaux pouvant servir de base à l'attribution de l'usage agricole ces surfaces en eaux. La première variable, « **DistParclr** », indique la distance à l'ilot irrigué, corrigé par les parcelles cadastrales, le plus proche. La deuxième, « **DistIlotAg** », plus générale, indique la distance à l'ilot RPG (irrigué ou non) le plus proche.

Distance ilot/retendue	part de retenues à distance d'un ilot irrigué + parcelle cadastrale	part de retenues à distance d'un ilot RPG
0 m	44	55
50 m	60	95
100 m	65	97
500 m	85	98
1000 m	93	98

Une présentation power point mise à disposition sur le SVN MAELIA, fournit des informations complémentaires sur l'attribution de l'usage irrigation (cf Usage irrigation des retenues collinaires et spatialisation des équipements.ppt).