

Analyse génétique des truites de Garonne amont, Pique, Lys, Neste d'Oo, Job et Ger après les crues de juin 2013

Projet GARO 3

Analyses statistiques et rédaction: Patrick BERREBI
Analyses moléculaires: Zhaojun SHAO
Institut des Sciences de l'Evolution, Université Montpellier 2
Tel: 04 67 14 37 32
Mél: patrick.berrebi@univ-montp2.fr



1. Introduction

Le projet GARO3 participe à la description génétique des truites de Haute Garonne. Cette connaissance scientifique de base est nécessaire à la gestion raisonnée des populations naturelles de nos rivières.

Plus spécifiquement, ces analyses font suite à celles, couvrant la même zone, réalisées dans le rapport GARO2 (Piques et Neste d'Oueil, voir Tableau 1). Cet ensemble d'analyses doit nous donner une vision amont-aval de l'ensemble du bassin versant de la Garonne amont, entre la frontière et Miramont:

- la Neste d'Oo est-elle influencée par les lacs d'altitude notamment Espingo, une haute chute semblant isoler les lacs de l'aval ?
- la Neste d'Oueil se jette dans la Neste d'Oo qui rejoint ensuite la Pique, y a-t-il continuité génétique et influence de l'aval par le système d'amont ?
- dans sa partie amont, le Lys et la Pique amont confluent avec dans les deux cas des infranchissables et des populations de truites autochtones, le système aval (la Pique en amont de Luchon) est-il influencé par ces deux apports ?
- en dessous, se trouve la Pique à Cier qui se jette dans la Garonne à l'amont de la station Estenos et Miramont est la station la plus aval des localités choisies, quelle est l'influence des stations précitées de l'amont ?
- le Ger et le Job sont deux stations en gestion patrimoniale depuis 25 ans, sont-elles des références génétiques pour les formes sauvages ?
- enfin, en dehors de la logique du bassin versant, dans quelles localités les souches Soueich, commerciale nationale (=INRA) ou éventuellement une souche Espagnole (supposée lors de l'analyse des truites du canal d'Arlos) se sont-elles implantées de façon importante ?

Ces connaissances nous permettront d'avoir un état des lieux de la diversité génétique de la Garonne Amont. Cet état initial post crue servira par la suite à suivre la dynamique de recolonisation du bassin versant et l'influence des différents sous bassins sur la population de truite du réceptacle Garonne et Pique aval.

2. Echantillonnage

Les 240 échantillons de nageoire des truites de Haute Garonne sont parvenus à l'Institut des Sciences de l'Evolution (ISEM) de l'Université Montpellier 2 (UM2) les 7 et 8 juillet 2014. Gaël Durbe est le correspondant de la Fédération des AAPPMA de Haute Garonne (FD31) auprès de l'ISEM.

La répartition géographique des localités échantillonnées est présentée à la Figure 1 et les caractéristiques des échantillons dans le Tableau 1. Aux nouveaux échantillons ont été

rajoutés des échantillons de référence, de types connus, déjà analysés dans le passé (Tableau 1). Ils serviront à interpréter les résultats obtenus.

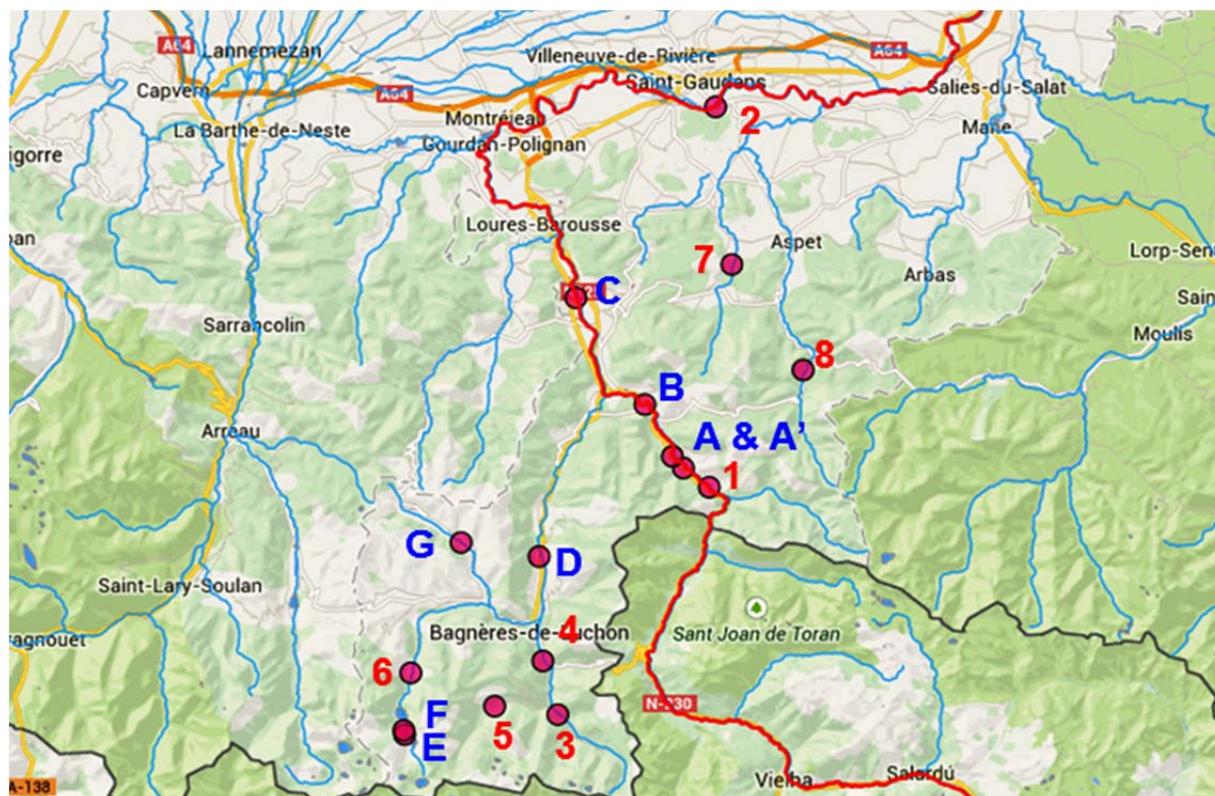


Figure 1 : Répartition géographique des 8 stations nouvelles (chiffres rouges) et des 7 stations de référence disponibles dans le même bassin (lettres bleues).

| N° échantillon | N° carte | Station | N | Date | N° ISEM échantillons | N° ISEM individus | Rapport |
|----------------|----------|-------------------------|----|----------|----------------------|-------------------|---------|
| 1 | 1 | Garonne (Fos) | 30 | sept.-13 | L571 | T26205-T26234 | GARO3 |
| 2 | A | Garonne (Arlos) | 25 | oct.-10 | L362 | T19088-T19112 | ENSAT2 |
| 3 | A' | Garonne (Canal d'Arlos) | 30 | nov.-12 | L554 | T24297-T24326 | GARO1 |
| 4 | B | Garonne (Caubous) | 22 | oct.-10 | L363 | T19113-T19134 | ENSAT2 |
| 5 | C | Garonne (Esténos) | 30 | sept.-13 | L424 | T25933-T25962 | GARO2 |
| 6 | 2 | Garonne (Miramont) | 30 | 2014 | L578 | T26415-T26444 | GARO3 |
| 7 | 3 | Pique (Joueau) | 30 | sept.-13 | L572 | T26235-T26264 | GARO3 |
| 8 | 4 | Pique (Douane) | 30 | oct.-13 | L573 | T26265-T26294 | GARO3 |
| 9 | D | Pique (Cier) | 30 | sept.-13 | L429 | T25963-T25992 | GARO2 |
| 10 | 5 | Lys | 30 | oct.-13 | L574 | T26295-T263248 | GARO3 |
| 11 | E | Lac d'Espingo | 14 | juil.-12 | L506 | T23220-T23233 | ESP1 |
| 12 | F | Ru d'Espingo | 16 | août-12 | L507 | T23234-T23249 | ESP1 |
| 13 | 6 | Neste d'Oo | 30 | sept.-13 | L575 | T26325-T26354 | GARO3 |
| 14 | G | Neste d'Oueil | 30 | août-13 | L327 | T25670-T25699 | TFP1 |
| 15 | 7 | Ger | 30 | oct.-13 | L577 | T26385-T26414 | GARO3 |
| 16 | 8 | Job | 30 | oct.-13 | L576 | T26355-T26384 | GARO3 |
| 17 | - | pisciculture Soueich | 30 | 2011 | L495 | T22251-T22280 | ENSAT3 |
| 18 | - | pisciculture Isère | 30 | 2008 | L266 | T16926-T16955 | GSALM2 |

Tableau 1 : Caractéristiques des échantillons analysés lors du présent projet (en jaune) et des échantillons de référence dont des échantillons de pisciculture (en gris).

3. Analyses moléculaires

Les 240 truites ont été analysées au niveau de 6 marqueurs moléculaires, les microsatellites suivants: One μ 9, MST85, SSOSL 311, Omy21Dias, MST543 et SSOSL438.

Les génotypes obtenus additionnés des génotypes de référence ont permis de constituer une matrice de données à la base de tous les calculs statistiques qui suivent.

4. Analyses statistiques

Ces analyses consistent à permettre l'interprétation des résultats. Elles sont constituées de trois étapes principales:

- les analyses multidimensionnelles (ici l'Analyse Factorielle des Correspondances ou AFC) traitées par le logiciel GENETIX permettent de visualiser les variations génétiques des truites analysées et de les positionner les unes par rapport aux autres dans un hyper-espace;
- les analyses d'assignation recherchent la meilleure partition en sous-unités homogènes dans la matrice de génotypes grâce au logiciel STRUCTURE. Le nombre objectif de sous-unités est déterminé par le logiciel STRUCTURE HARVESTER);
- les paramètres populationnels (ici la diversité génétique H_o et H_{nb} , la panmixie F_{is} et le niveau de différenciation F_{st}) sont calculés avec le logiciel GENETIX et permettent d'interpréter les résultats en termes biologiques.

5. Résultats

5.1. Analyses multidimensionnelles

Les Figures 2 à 4 positionnent toutes les truites analysées en fonction de l'ensemble de leurs génotypes au niveau des 6 marqueurs microsatellites analysés.

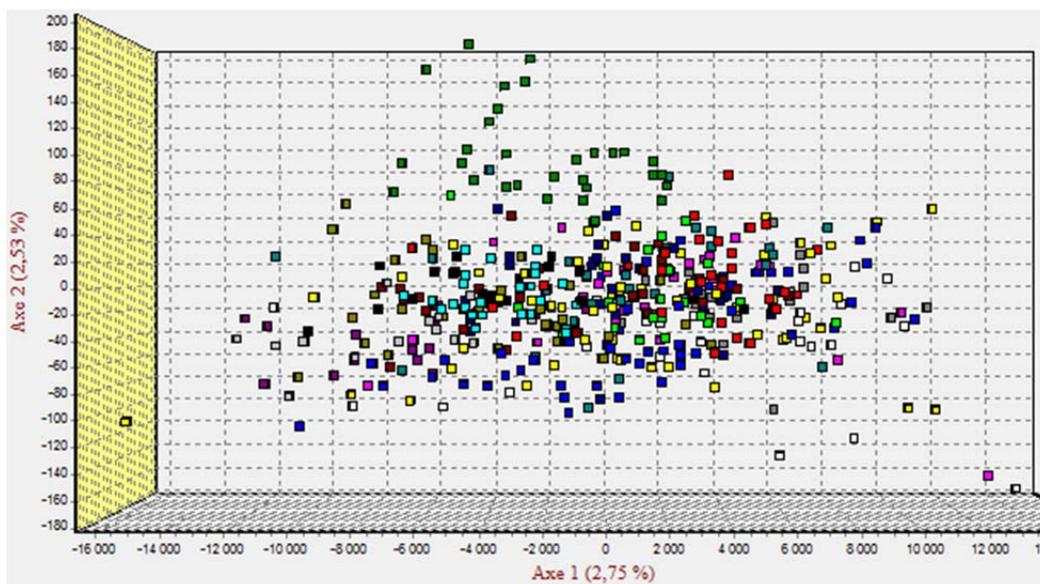


Figure 2 : Cette analyse multidimensionnelle montre l'imbrication génétique des truites des 16 stations analysées dans ce rapport (les truites domestiques ne sont pas traitées ici). Cela montre qu'en dehors des truites domestiques, les variations génétiques analysées sont de faible ampleur. La méthode d'assignation est indispensable pour y voir plus clair.

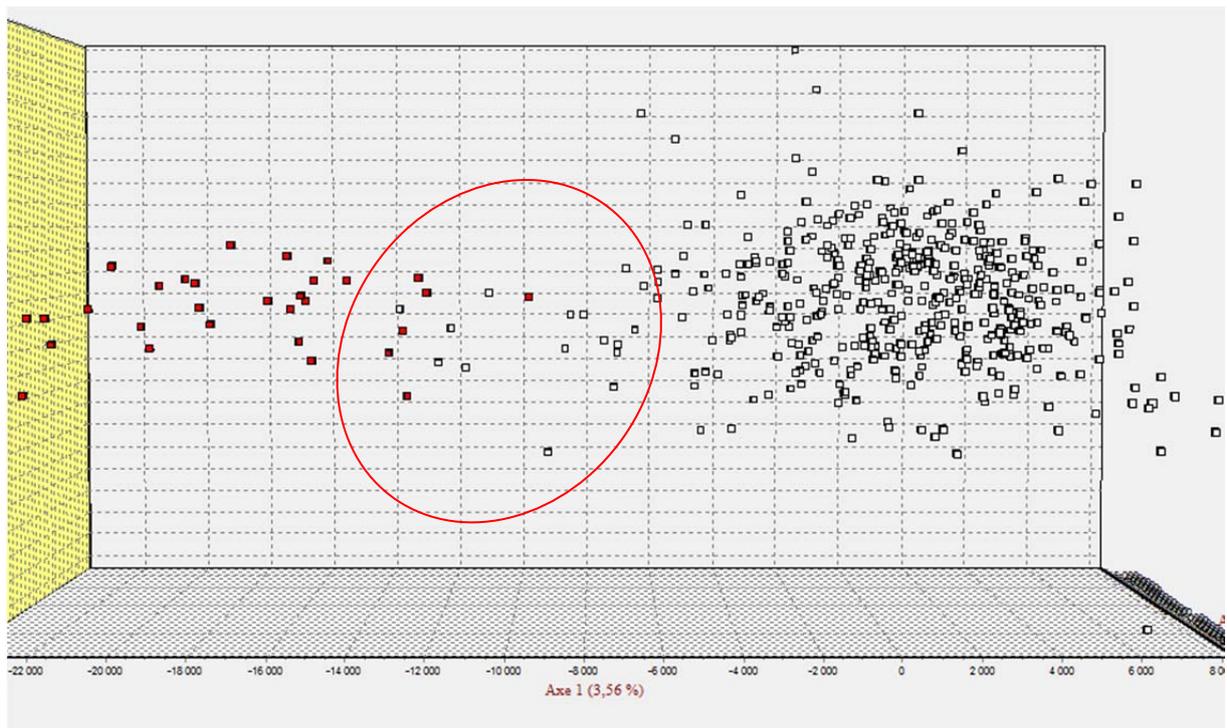


Figure 3 : Quand on rajoute la souche nationale de truites domestiques (points rouges, à gauche), on observe nettement leur différence avec les truites de rivière (ici les truites de Soueich, n'appartenant à aucun de ces deux types, ont été retirées). Les hybrides potentiels sont dans l'ellipse.

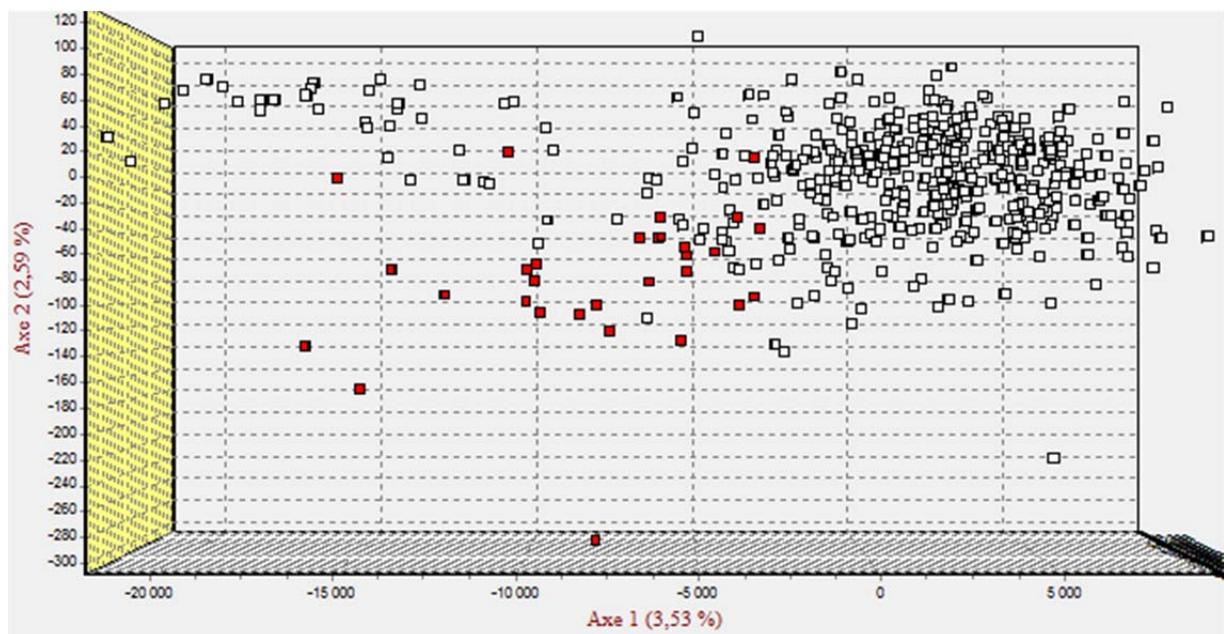


Figure 4 : Quand on rajoute les truites domestiques de Soueich (en rouge), les hybrides potentiels semblent plus nombreux. Ils seront chiffrés par la méthode d'assignation.

5.2. Analyses d'assignation

Les analyses d'assignation (logiciel STRUCTURE) permettent un découpage de l'échantillonnage global (nouveaux échantillons + échantillons de référence) en K sous-unités

homogènes (proche des caractéristiques de populations en équilibre). Ici 100000 burn'in constitue la première étape de dégrossissement suivis par 200000 itérations, testant K entre 1 et 15 avec 5 répétitions à chaque valeur de K. La valeur K a été estimée à 7 grâce au logiciel STRUCTURE HARVESTER. La Figure 5 présente ces résultats sous forme d'un histogramme coloré et le Tableau 2 sous forme de pourcentages.

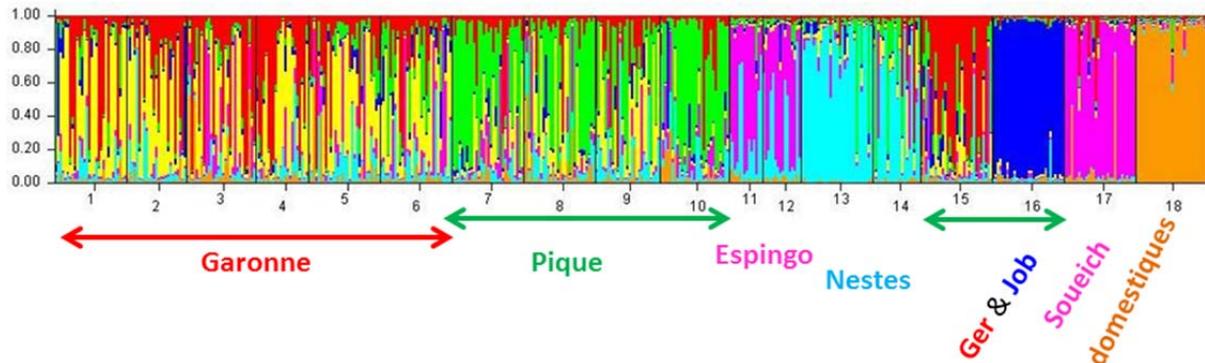


Figure 5 : Analyse d'assignation présentée sous forme d'histogramme. Chaque truite est représentée par une fine barre verticale; chacune des K sous-unités a reçu une couleur au hasard; l'ordre des truites et des échantillons est celui du Tableau 1. Cette analyse nous permet déjà de distinguer les « blocs » Garonne, Pique et Neste.

| N° échantillon | N° carte | Station | Garonne | Pique | Nestes | Ger | Job | Soueich | domestic |
|----------------|----------|-------------------------|---------|-------|--------|-----|-----|---------|----------|
| 1 | 1 | Garonne (Fos) | 46 | 8 | 7 | 28 | 6 | 3 | 2 |
| 2 | A | Garonne (Arlos) | 45 | 3 | 10 | 31 | 6 | 3 | 2 |
| 3 | A | Garonne (Canal d'Arlos) | 28 | 6 | 4 | 36 | 2 | 16 | 9 |
| 4 | B | Garonne (Caubous) | 39 | 4 | 7 | 39 | 3 | 5 | 3 |
| 5 | C | Garonne (Esténos) | 38 | 9 | 10 | 23 | 4 | 11 | 6 |
| 6 | 2 | Garonne (Miramont) | 33 | 17 | 10 | 17 | 6 | 14 | 2 |
| 7 | 3 | Pique (Joueau) | 15 | 52 | 4 | 12 | 3 | 11 | 3 |
| 8 | 4 | Pique (Douane) | 22 | 43 | 9 | 9 | 4 | 8 | 7 |
| 9 | D | Pique (Cier) | 28 | 28 | 13 | 18 | 4 | 6 | 2 |
| 10 | 5 | Lys | 5 | 55 | 11 | 10 | 5 | 9 | 5 |
| 11 | E | Lac d'Espingo | 2 | 4 | 29 | 2 | 2 | 59 | 3 |
| 12 | F | Ru d'Espingo | 3 | 4 | 29 | 2 | 3 | 56 | 2 |
| 13 | 6 | Neste d'Oo | 4 | 9 | 79 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| 14 | G | Neste d'Oueil | 10 | 18 | 51 | 9 | 3 | 8 | 2 |
| 15 | 7 | Ger | 11 | 13 | 5 | 53 | 7 | 8 | 3 |
| 16 | 8 | Job | 2 | 2 | 2 | 2 | 91 | 1 | 1 |
| 17 | - | pisciculture Soueich | 2 | 2 | 1 | 6 | 2 | 80 | 7 |
| 18 | - | pisciculture Isère | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 92 |

Tableau 2 : Transposition de l'histogramme de la Figure 2 sous forme de pourcentages d'assignation de chaque échantillon analysé aux K sous-unités détectées.

5.3. Paramètres populationnels

Le Tableau 3 expose les valeurs des paramètres populationnels des échantillons nouveau et des échantillons de référence à des fins de comparaison.

| N° échantillon | N° carte | Station | Hnb | Ho | A | Fis | sigific. |
|----------------|----------|-------------------------|------|------|------|------|----------|
| 1 | 1 | Garonne (Fos) | 0,70 | 0,66 | 8,5 | 0,06 | ns |
| 2 | A | Garonne (Arlos) | 0,67 | 0,65 | 7,5 | 0,04 | ns |
| 3 | A | Garonne (Canal d'Arlos) | 0,78 | 0,65 | 9,8 | 0,18 | *** |
| 4 | B | Garonne (Caubous) | 0,70 | 0,68 | 8,0 | 0,02 | ns |
| 5 | C | Garonne (Esténo) | 0,78 | 0,74 | 10,3 | 0,05 | ns |
| 6 | 2 | Garonne (Miramont) | 0,70 | 0,66 | 10,0 | 0,05 | ns |
| 7 | 3 | Pique (Joueau) | 0,67 | 0,64 | 7,2 | 0,05 | ns |
| 8 | 4 | Pique (Douane) | 0,72 | 0,69 | 8,2 | 0,05 | ns |
| 9 | D | Pique (Cier) | 0,70 | 0,63 | 8,2 | 0,10 | ** |
| 10 | 5 | Lys | 0,73 | 0,65 | 8,0 | 0,11 | ** |
| 11 | E | Lac d'Espingo | 0,61 | 0,52 | 5,2 | 0,14 | * |
| 12 | F | Ru d'Espingo | 0,59 | 0,56 | 5,0 | 0,05 | ns |
| 13 | 6 | Neste d'Oo | 0,46 | 0,46 | 4,7 | 0,02 | ns |
| 14 | G | Neste d'Oueil | 0,63 | 0,61 | 5,5 | 0,03 | ns |
| 15 | 7 | Ger | 0,73 | 0,62 | 6,5 | 0,14 | *** |
| 16 | 8 | Job | 0,54 | 0,49 | 5,2 | 0,09 | * |
| 17 | - | pisciculture Soueich | 0,82 | 0,77 | 9,5 | 0,05 | ns |
| 18 | - | pisciculture Isère | 0,66 | 0,64 | 6,0 | 0,03 | ns |

Tableau 3 : Paramètres populationnels des échantillons de Haute-Garonne et des échantillons de référence. Les entêtes jaunes correspondent au paramètres de polymorphisme; les entêtes bleues aux paramètres d'équilibre panmictique : si significatif (*, ** ou ***), le Fis indique un déséquilibre panmictique (par exemple, si plus d'une lignée est présente).

Le Tableau 4 donne les valeurs de Fst entre chaque paire d'échantillons analysés. Ces valeurs peuvent être considérées comme des distances génétiques indiquant les différenciations entre échantillons pris deux à deux.

| | 1 | A | A | B | C | 2 | 3 | 4 | D | 5 | E | F | 6 | G | 7 | 8 | - | - |
|---|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|------|---------------|--------------|------------|---------------|------|------|----------------------|--------------------|
| | Garonne (Fos) | Garonne (Arlos) | Garonne (Canal d'Arlos) | Garonne (Caubous) | Garonne (Esténo) | Garonne (Miramont) | Pique (Joueau) | Pique (Douane) | Pique (Cier) | Lys | Lac d'Espingo | Ru d'Espingo | Neste d'Oo | Neste d'Oueil | Ger | Job | pisciculture Soueich | pisciculture Isère |
| 1 | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,10 | 0,09 | 0,13 | 0,12 | 0,22 |
| A | | 0 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,07 | 0,14 | 0,13 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,16 | 0,12 | 0,22 |
| A | | | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,11 | 0,10 | 0,17 | 0,11 | 0,06 | 0,20 | 0,05 | 0,12 |
| B | | | | 0 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,13 | 0,11 | 0,17 | 0,09 | 0,07 | 0,17 | 0,11 | 0,19 |
| C | | | | | 0 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | 0,17 | 0,07 | 0,17 |
| 2 | | | | | | 0 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,16 | 0,10 | 0,22 |
| 3 | | | | | | | 0 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,14 | 0,17 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,20 | 0,12 | 0,25 |
| 4 | | | | | | | | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,07 | 0,06 | 0,17 | 0,09 | 0,18 |
| D | | | | | | | | | 0 | 0,03 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,19 | 0,10 | 0,21 |
| 5 | | | | | | | | | | 0 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,19 | 0,09 | 0,19 |
| E | | | | | | | | | | | 0 | 0,01 | 0,07 | 0,11 | 0,16 | 0,29 | 0,11 | 0,24 |
| F | | | | | | | | | | | | 0 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,25 | 0,14 | 0,26 |
| 6 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,12 | 0,20 | 0,28 | 0,22 | 0,36 |
| G | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,14 | 0,23 | 0,14 | 0,26 |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,19 | 0,10 | 0,18 |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,23 | 0,34 |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,13 |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

Tableau 4 : Matrice triangulaire des Fst par paire d'échantillon. Le niveau de significativité des Fst est indiqué par les couleurs, permettant de savoir quelles valeurs sont à considérer et quelles valeurs sont négligeables. Cellule blanche = Fst non significatif (ns); jaune = significatif à 5% (*); orange = significatif à 1% (**); rouge = significatif à 0,02% (***)

| | 1 | A | A | B | C | 2 | 3 | 4 | D | 5 | E | F | 6 | G | 7 | 8 | - | - |
|---|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|------|---------------|--------------|------------|---------------|------|------|----------------------|--------------------|
| | Garonne (Fos) | Garonne (Arlos) | Garonne (Canal d'Arlos) | Garonne (Caubous) | Garonne (Esténos) | Garonne (Miramont) | Pique (Joueau) | Pique (Douane) | Pique (Cier) | Lys | Lac d'Espingo | Ru d'Espingo | Neste d'Oo | Neste d'Oueil | Ger | Job | pisciculture Soueich | pisciculture Isère |
| 1 | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,10 | 0,09 | 0,13 | 0,12 | 0,22 | 0,22 |
| A | | 0 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,07 | 0,14 | 0,13 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,16 | 0,12 | 0,22 |
| A | | | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,11 | 0,10 | 0,17 | 0,11 | 0,06 | 0,20 | 0,05 | 0,12 |
| B | | | | 0 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,13 | 0,11 | 0,17 | 0,09 | 0,07 | 0,17 | 0,11 | 0,19 |
| C | | | | | 0 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | 0,17 | 0,07 | 0,17 |
| 2 | | | | | | 0 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,16 | 0,10 | 0,22 |
| 3 | | | | | | | 0 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,14 | 0,17 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,20 | 0,25 |
| 4 | | | | | | | | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,07 | 0,06 | 0,17 | 0,09 | 0,18 |
| D | | | | | | | | | 0 | 0,03 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,19 | 0,10 | 0,21 |
| 5 | | | | | | | | | | 0 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,19 | 0,09 | 0,19 |
| E | | | | | | | | | | | 0 | 0,01 | 0,07 | 0,11 | 0,16 | 0,29 | 0,11 | 0,24 |
| F | | | | | | | | | | | | 0 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,25 | 0,14 | 0,26 |
| 6 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,12 | 0,20 | 0,28 | 0,22 | 0,36 |
| G | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,14 | 0,23 | 0,14 | 0,26 |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,19 | 0,10 | 0,18 |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,23 | 0,34 |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,13 |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

Tableau 5 : Même matrice mais les couleurs rendent compte du niveau de différenciation: rouge = 0,3 et plus (= plus de 30% de différence); orange = 0,2; jaune = 0,1; blanc = moins de 0,1.

6. Interprétation des résultats

6.1. Description de la structure génétique observée

Les deux méthodes statistiques employées (analyses multidimensionnelles et d'assignation) permettent de découper les échantillons analysés en lignées locales ou nationales.

Ainsi la carte synthétique en Figure 6 montre les stations où les 5 lignées naturelles (Garonne, Pique ; Nestes, Ger et Job) sont dominantes (mais pas exclusives) ainsi que la souche de Soueich qui constitue presque 60% des truites du lac d'Espingo (en rose). La proportion chiffrée de ces lignées est donnée au Tableau 2.

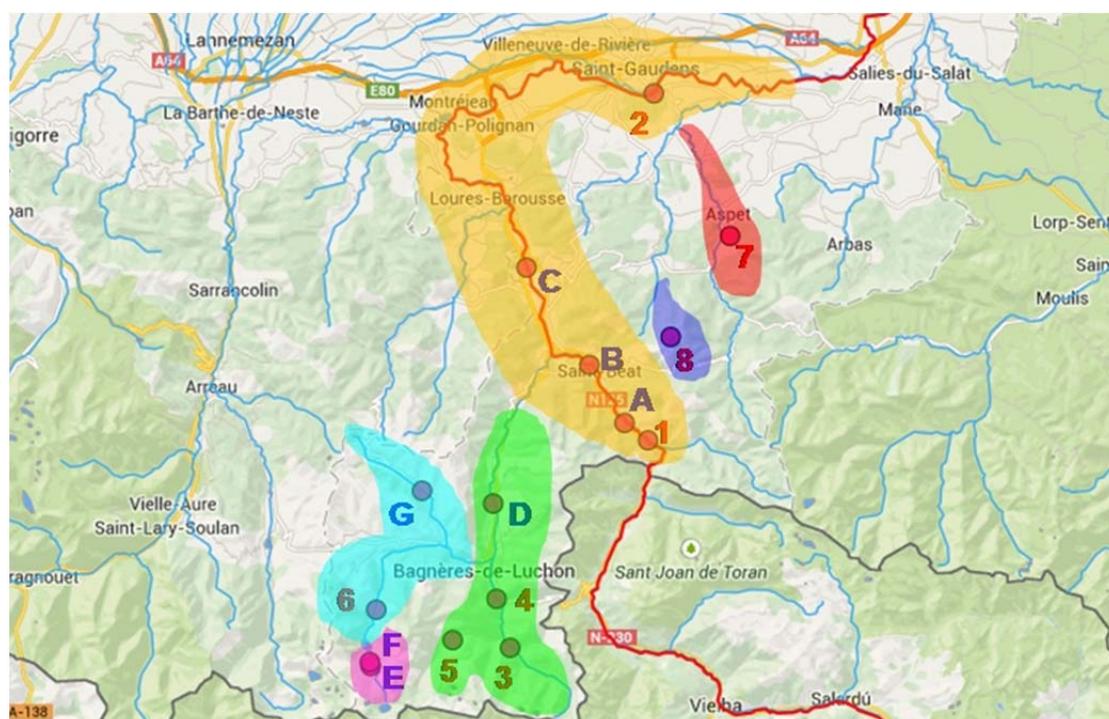


Figure 6 : Extrapolation colorée des lignées dominantes dans la zone échantillonnée. Bleu = lignée des Nestes; vert = Pique; orange = Garonne; violet = Job et rouge = Ger. Le rose des stations E et F (lac d'Espingo) correspond à la dominance de la souche domestique de Soueich.

Les extrapolations de la Figure 6 sont abusives: la Figure 5 nous montre que, contrairement aux cas particuliers de la Neste d'OO et du Job, ces lignées ne sont pas exclusives dans leur rivière respective de prédilection: la plupart des stations de la Garonne et de la Pique sont constituées d'un assemblage en proportions variables de plusieurs de ces lignées.

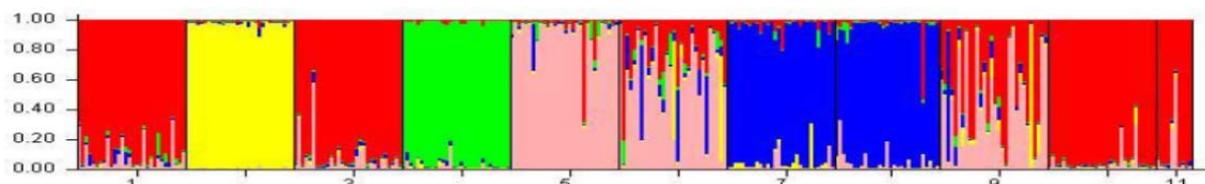


Figure 7 : A titre de comparaison, exemple d'assignation faite sur des peuplements sédentaires de truites (*ici l'Ardèche*, rapport ARD3). En dehors des truites domestiques (en rouge) qui sont présentes à taux variables du fait de l'activité humaine, les autres lignées génétiques (jaune, vert, rose, bleu) sont toujours presque exclusives, sans mélange, dans chaque échantillon. Cela contraste fortement avec la Figure 5 où seules les stations isolées sont d'une seule lignée. Le plus fréquent en Haute-Garonne est un mélange complexe de plusieurs lignées.

6.2. Hypothèses sur l'origine des lignées observées

La Figure 6 montre de façon idéale une distribution, mais la Figure 5 nous éclaire sur l'aspect très dynamique de ces peuplements. Si chaque station ou groupe de station ne présente pas, en général, une seule lignée comme dans le cas de l'Ardèche (Figure 7), l'explication réside soit dans l'utilisation de marqueurs inefficaces (mais la Figure 5, assez cohérente, le dément), soit dans un phénomène biologique dynamique. Evidemment, l'hypothèse d'une perturbation due aux crues peut être invoquée.

Les Tableaux 4 et 5 (valeurs de F_{st}) rendent compte de la différenciation génétique entre échantillons (= distances génétiques). Les jeux de couleurs désignent une zone d'homogénéité (ou du moins de faible différenciation même si elle peut être significative) au croisement entre les stations de Garonne, de Pique et du Lys: nous avons là un bloc assez homogène. Au contraire, les échantillons Job et domestique commercial s'opposent à quasiment tous les autres échantillons. Notons la plus faible distance entre les échantillons naturels et la souche de Soueich, montant là à la fois un plus grand impact de cette pisciculture dans la région et l'utilisation probable de truites sauvages dans la constitution de cette souche. La Figure 8 permet de voir que la souche Soueich est différente de la souche commerciale nationale et qu'elle comprend quelques individus identiques à certaines truites sauvages, ainsi que des hybrides.

Dévalaison possible des truites des Nests dans la Pique: cette hypothèse nécessite que la Pique, et plus spécialement à Cier, soit "envahie" par le type Nests. Ce n'est pas particulièrement le cas puisque cette station comprend plus de type Ger que de type Nests (18% au lieu de 13). Par contre le fait qu'il y ait moins de marqueurs Nests dans la Pique amont (stations Joueau et Douanne) va dans le sens de l'hypothèse. Le polymorphisme de la station Pique Cier élevé ($H_{nb}=0,70$) par rapport aux Nests ($0,46 < H_{nb} < 0,63$) ne contredit pas l'hypothèse mais peut aussi être la simple conséquence des tailles respectives des populations.

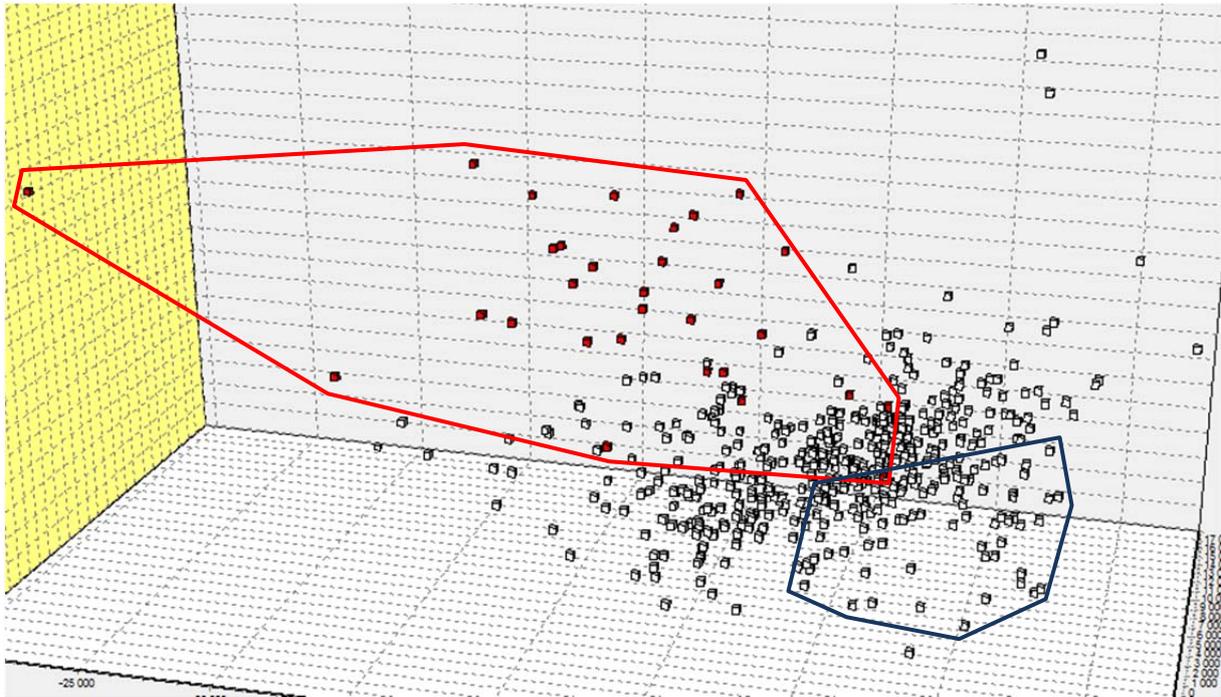


Figure 8: Analyse multidimensionnelle de la Figure 4 présentée sous un autre angle de vue favorisant la distinction entre la souche de Soueich (enveloppe rouge), la truite domestique commerciale (enveloppe noire) et la masse des truites de rivière analysées. Ce type d'analyse est qualitatif. L'estimation quantitative des différentes lignées en présence est donnée au Tableau 2.

Dévalaison des truites de la Pique dans la Garonne. Suivant le même principe, la Garonne à Estanos devrait être la station la plus affectée par une dévalaison. Le Tableau 2 nous indique 9% du type Pique à Estanos et 17% à Miramont, par contre en amont de la confluence, on n'en trouve que 7% à Caubous et quasiment autant à Arlos et à Fos. Ici encore, les pourcentages sont cohérents avec une dévalaison, mais le phénomène reste assez limité. Les valeurs de polymorphisme de la Garonne aval ($0,70 < H_{nb} < 0,78$) est compatible avec l'hypothèse de dévalaison.

Dévalaison du type Ger dans la Garonne: il s'agit là d'une structuration clairement distincte. Le type Ger est distribué dans quasiment toutes les stations à des taux élevés frôlant parfois les 40% en amont de la Garonne (Arlos-Caubous). Bien que la question reste en suspens, il est probable que cette lignée mérite plus une dénomination comme "Garonne 2" que "Ger". En additionnant la présence "Garonne" + "Ger", on atteint des pourcentages entre 51 et 78% dans la Garonne.

Génétiquement très différente de toutes les autres, la population du Job possède le plus faible polymorphisme ($H_{nb}=0,54$) compatible avec une petite population isolée en amont.

Dévalaison des truites du lac d'Espingo dans la Neste d'Oo: cela équivaut à rechercher l'influence de la souche domestique Soueich dans la Neste d'Oo: elle est inexistante. Par contre les truites du lac (et du Ru) sont composées à 29% du type Nestes, ce qui est parfaitement logique dans l'hypothèse d'une population naturelle (peu probable) ou de translocations anciennes par l'homme, utilisant les truites les plus proches de l'aval. Le polymorphisme des truites du lac ($0,59 < H_{nb} < 0,61$) plus élevé que celui de la Neste d'Oo ($H_{nb}=0,46$) mais inférieur à celui de la souche Soueich ($H_{nb}=0,82$) s'accorde avec l'hypothèse d'apports multiples et complexes dans le lac.

Il semble bien que la dévalaison forcée due aux crues ait eu des conséquences dans la structure des populations entre Nestes et Pique et entre Pique et Garonne, mais cet impact est faible, à la limite d'être perceptible. Cette dévalaison constitue seulement une des hypothèses pouvant expliquer les résultats.

Si on accepte l'hypothèse de dévalaison, il est probable que les truites descendues vont remonter (ou mourir). En effet, dans la mesure où les crues sont des phénomènes qui ont toujours eu lieu, si elles provoquaient des dévalaisons et l'installation des truites descendues, il n'y aurait plus (ou très peu) de différences entre les blocs Nestes, Pique et Garonne. L'aspect même de la Figure 5 comparée à la Figure 7 montre bien qu'il y a juxtaposition des types génétiques et pas hybridation générale, ce qui est confirmé par la non panmixie (Fis significatif) à la station Pique (Cier).

Toutefois, cette interprétation est valable dans l'hypothèse où les milieux sont fonctionnels pour la reproduction et/ou connectés avec l'amont pour les géniteurs, or ce n'est le cas ni sur la Garonne, ni sur la Pique à Cier. En d'autres termes, ces zones non fonctionnelles (sans reproduction) se chargent des truites dévalantes sans que celles-ci puissent s'y reproduire et s'hybrider. Cette hypothèse permettrait d'expliquer la présence de plusieurs types génétiques à une station donnée sans homogénéisation, et dont la composition dépend des dernières dévalaisons.

L'équilibre panmictique dans la Garonne aval peut s'expliquer par la taille relativement immense de la population réceptrice, nécessitant plus pour être perturbée.

6.3. Relier les résultats de GARO3 aux études précédentes.

Au-delà des hypothèses de perturbations par la crue du printemps 2013, la zone étudiée présente une couverture d'échantillonnage assez serrée pour aboutir à une description fidèle des populations différenciées (résumée dans la Figure 6). Les méthodes employées pour arriver à ce résultat sont toutes comparatives. Cela veut dire que si on change les échantillons de référence, les résultats, et surtout les pourcentages estimés par assignation, vont changer. On considère que les résultats les plus fiables sont ceux obtenus avec le plus grand nombre d'échantillons (donc c'est GARO3).

Y a-t-il opposition entre GARO3 et les études précédentes de la même zone?

Rapport GARO1 sur les truites du canal d'Arlos: cette étude mettait en relief un type "canal d'Arlos" mystérieux, peut être une souche espagnole, naturelle ou domestique. GARO3 fait passer la part domestique (commerciale nationale + Soueich) de 31 à 25% mais surtout ne reconnaît plus de type "canal" mais rajoute un type Ger. Il a été expliqué plus haut que le type Ger est sans doute un type Garonne-2.

Rapport ESP1 sur le lac d'Espingo: curieusement, ce rapport de 2012 ne démontre pas de parenté directe entre les truites de Soueich et celles d'Espingo. Il place cependant les truites du lac à proximité des truites domestiques atlantiques. C'est probablement un "effet d'échelle": en limitant l'analyse à 3 entités (Garonne-Espingo-domestiques), les tests statistiques montraient deux structures: les sauvages différentes des domestiques (forte différence) et Espingo différent des domestiques (faible différence). En augmentant le nombre d'entités génétiques, GARO3 a rendu la différence Espingo-Soueich négligeable par rapport aux autres comparaisons.

On peut imaginer que l'introduction à Espingo et l'approvisionnement initial de Soueich aient fait appel à une même souche, ce qui serait compatible avec nos connaissances historiques...

Rapport GARO2: il s'agit de la première partie du même projet: analyser les populations de truites de Haute Garonne en 2013 juste après la crue exceptionnelle de la fin du printemps. Deux stations sont en commun: la Pique à Cier et la Garonne à Esténos. Le fait de passer de 3 lignées (Neste, Pique et Garonne dans GARO2) à 4 lignées (Ger en plus dans GARO3) chamboule les pourcentages mais pas ceux des piscicultures (Soueich et commerciale).

Basée sur plus de stations, les résultats ed GARO3 sont préférés.

6.4. Conclusion

La succession d'études des populations de truite de Haute Garonne montre bien l'aspect relatif des estimations de structure. Selon que telle ou telle stations est ajoutée, les analyses statistiques, surtout les analyses d'assignation, peuvent donner des résultats différents.

Les fortes oppositions (sauvages/domestiques) ne varient pas beaucoup d'une analyse à l'autre, mais le découpage des formes sauvages peut aboutir à un nombre de lignées différent et donc à des pourcentages variables.

Pour donner une idée de la difficulté, voici une image. Classons des truites de 8 à 20 cm en deux catégories: les grandes et les petites. Exercice facile, on aura tendance à faire deux groupes séparés par la médiane, par exemple 15cm (autant de petites que de grandes). Maintenant ajoutons des truites de 35cm et reclassons l'ensemble en grandes et petites: il est évident que nombre de truites vont passer de grande à petites. C'est l'effet du classement relatif.

Pour résoudre ce genre d'incertitude, il est accepté de considérer le classement basé sur la plus grande diversité comme le plus sûr: la vision de la totalité de la diversité est meilleure. Que nous apporte GARO3 par rapport aux autres analyses:

- la structure génétique régionale se simplifie: les **Nestes** puis la **Pique** puis la **Garonne** forment les 3 blocs successifs homogènes, peu impactés par les truites domestiques. Le type **Ger** est probablement un type Garonne-2 pas encore clairement compris;

- le **Job** est une population sauvage isolée et différenciée, sans influence sur les autres cours d'eau (pas même sur le Ger) ;

- le lac d'**Espingo** apparait à présent majoritairement peuplé de truite de Soueich, mais aussi des Nestes;

- tous les échantillons de rivière sont composés de plusieurs des lignées décrites; très peu sont composés de plus de 50% d'une seule lignée (Neste d'Oueil, Lys, Pique-Joueau) à l'exception de la Neste d'Oo (80% de lignée Nestes) et surtout du Job (90% de lignée Job). C'est apparemment une caractéristique des populations de truites de Haute Garonne, qu'on ne retrouve pas dans les peuplements très sédentaires comme les truites méditerranéennes de l'Ardèche. L'hypothèse selon laquelle cette structure dynamique est due aux crues de 2013 est une hypothèse réaliste mais difficile à démontrer.

Fait à Montpellier le 25 novembre 2014

7. Littérature citée

Berrebi P., Cherbonnel C. 2009. Cartographie génétique des populations sauvages de truites françaises - Programme GENESALM - tome 1 - version du 15 décembre 2009. 22p. ([GSALM2](#))

- Berrebi P., Cherbonnel C. 2011. Estimation de l'impact des repeuplements dans les populations de truites de la zone salmonicole de la Garonne. Rapport d'avril 2011: 6p. Rapport d'analyse pour l'ENSAT. Université Montpellier 2. ([ENSAT2](#))
- Berrebi P, Shao Z (2012) Analyse génétique des truites du lac d'Espingo et de son ruisseau afférent - Projet ESP1 - Rapport d'octobre 2012. 4p. Rapport pour la FD31, Université Montpellier 2. ([ESP1](#))
- Berrebi P, and Genindexe. 2012. Caractéristiques génétiques des truites de la pisciculture de Soueich et de Garonne amont croisées avec l'étude ENSAT sur la scalimétrie: Rapport d'étude pour l'ENSAT, Université Montpellier 2. 8p. ([ENSAT3](#))
- Berrebi P, and Shao Z. 2013. Analyse génétiques des truites du Canal d'Arlos et positionnement dans la diversité génétique locale (6 microsatellites) - Projet GARO1 - Rapport de février 2013: Université Montpellier 2, 11p. ([GARO1](#))
- Berrebi P, and Schikorski D. 2014. Recherche des conséquences des crues de mai-juin 2013. Analyse génétique des truites de la Pique et de la Garonne. Projet GARO2: Université Montpellier 2. 8p. ([GARO2](#))
- Berrebi P, and Schikorski D. 2014. Structuration génétique des truites pyrénéennes - Ariège, Haute Garonne et Pyrénées Atlantiques - Projet TFP1: Rapport d'étude pour l'association TFP, Université Montpellier 2. 6p. ([TFP1](#))