

Structure génétique des truites des gardons cévenoles de Lozère

Projet LOZ4

Analyses statistiques, interprétation, rédaction: **Patrick Berrebi***

Analyses moléculaires: **David Schikorski****

Données historiques, biologiques et écologiques: **Valérie Prouha*****

* Institut des Sciences de l'Evolution, UMR5554 UM2/CNRS/IRD, Université Montpellier 2, CC065,
place E. Bataillon, 34095 Montpellier cedex, tel: 04 67 14 37 32, <patrick.berrebi@univ-montp2.fr>

** Genindexe, 6 rue des Sports, 17000 La Rochelle, tel: 05 46 30 69 66, <d.schikorski@genindexe.com>

*** FDPPMA de la Lozère, 12, avenue Paulin Daudé - 48000 Mende, tel. 04.66.65.36.11, <utrlozere@wanadoo.fr>



Le Gardon de Saint-Germain de Calberte

© FD48



Remerciements :

A l'ensemble des bénévoles ayant participé à cette opération, aux AAPPMA, à la société privé de Biasses ainsi qu'aux différents financeurs : Agence de l'eau Adour-Garonne, fédération pour la Pêche en France et Parc National des Cévennes.

1. Introduction

Le projet LOZ4 participe à la description génétique des truites de Lozère. Cette connaissance scientifique de base est nécessaire à la gestion raisonnée des populations naturelles de nos rivières.

Plus spécifiquement, les affluents de la Lozère, appartenant au versant méditerranéen, et aux sous bassins de l'Ardèche, la Cèze et le Gard, ont été l'objet de la campagne d'échantillonnage de l'été 2014.

2. Echantillonnage

Les 180 truites de Lozère sont parvenues à l'Institut des Sciences de l'Evolution (ISEM) de l'Université Montpellier 2 (UM2) le 11 septembre 2014. Valérie Prouha est la correspondante de la FDPPMA48 auprès de l'ISEM.

La répartition géographique des localités d'échantillonnage est présentée dans la Figure 1 et les caractéristiques des échantillons dans le Tableau 1. Aux échantillons du projet LOZ4 ont été rajoutés des échantillons de référence, de types connus, déjà analysés dans le passé (Tableau 1). Ils serviront à interpréter les résultats obtenus.

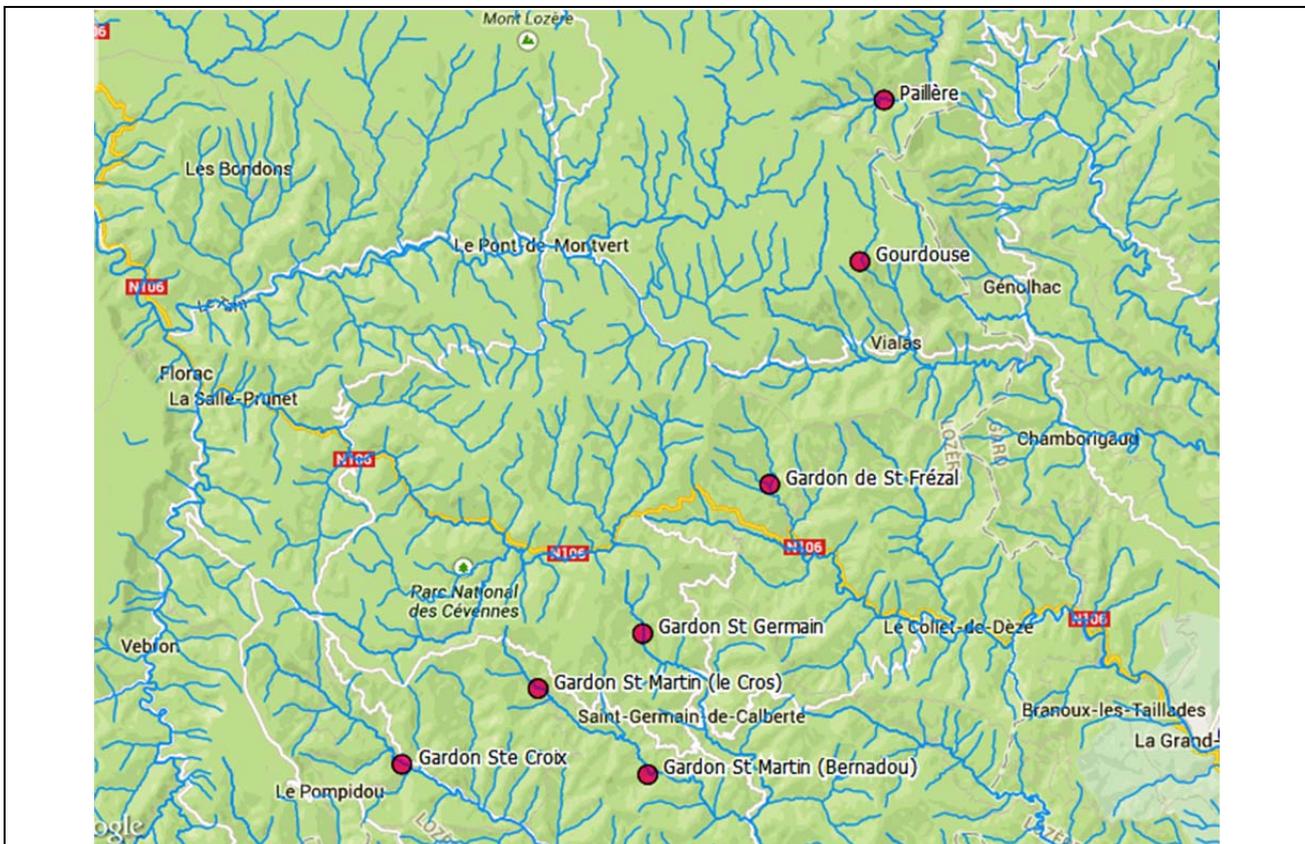


Figure 1 : Répartition géographique des 7 stations d'échantillonnage du projet LOZ4.

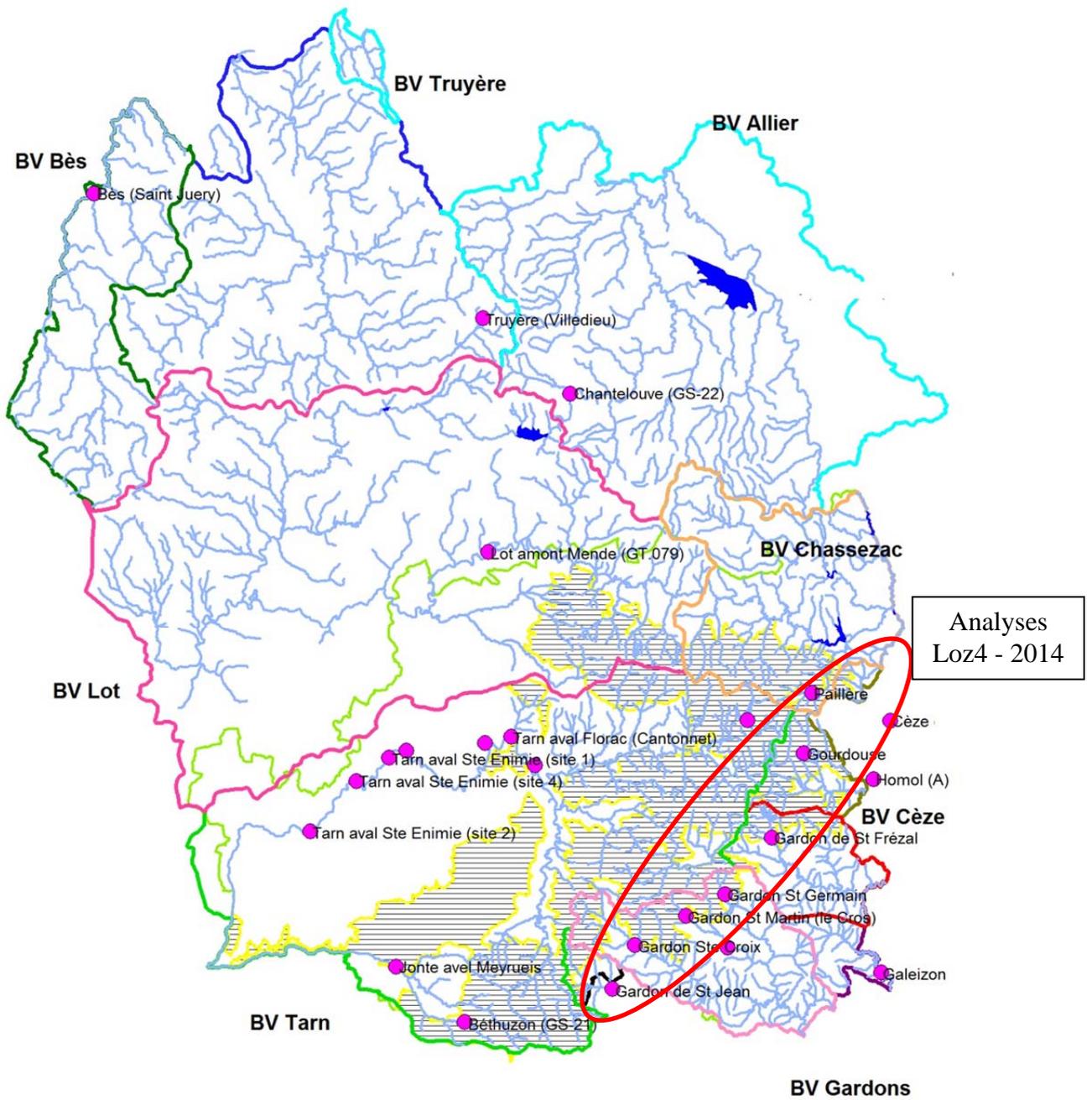


Figure 2:
LOCALISATION DES STATIONS D'ANALYSES GENETIQUES (TRF)
SUR LE DEPARTEMENT DE LA LOZERE ET LE DEPARTEMENT
DU GARD (cours d'eau proche 48) EN 2014

N° carte	Rivière	Hydrographie	Nombre	Date	N° ISEM échantillons	N° ISEM individus	Rapport
1	Palhères	Altier/Chassezac/ Ardèche/Rhône	30	29 juillet 2014	L600	T26760-T26789	LOZ4
2	Cèze	Rhône	10	19 juillet 2011	L375	T19722-T19751	GAR2
3	Gourdouse	Luech/Cèze/Rhône	30	27 août 2014	L603	T26850-T26879	LOZ4
4	Gardon St Frézal	Gardon d'Alès/ Gard/Rhône	30	6 juillet 2014	L599	T26730-T26759	LOZ4
5	Galeizon	Gard/Rhône	30	juillet 2012	L498	T22341-T22370	GAR3
6	Gardon St Germain	Gard/Rhône	30	25 août 2014	L602	T26820-T26849	LOZ4
7	Gardon St Martin (le Cros)	G, St Germain/ Gard/Rhône	20	26 août 2014	L605	T26890-T26909	LOZ4
8	Gardon St Martin (Bernadou)	G, St Germain/ Gard/Rhône	10	26 août 2014	L604	T26880-T26889	LOZ4
9	Gardon Ste Croix	Gard/Rhône	30	30 juillet 2014	L601	T26790-T26819	LOZ4
10	Gardon de St Jean	Gard/Rhône	30	juillet 2012	L499	T22371-T22400	GAR3
11	pisciculture Isère	-	30	2008	L266	T16926-T16955	GSALM2

Tableau 1 : Caractéristiques des nouveaux échantillons analysés (en jaune) et des échantillons de référence dont des échantillons de pisciculture (en gris).

3. Analyses moléculaires

Les 180 truites ont été analysées au niveau de 6 marqueurs moléculaires : les microsatellites suivants: Oneµ9, 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;
- 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 3 et 4 positionnent toutes les truites considérées en fonction de l'ensemble de leurs génotypes au niveau des 6 marqueurs microsatellites analysés.

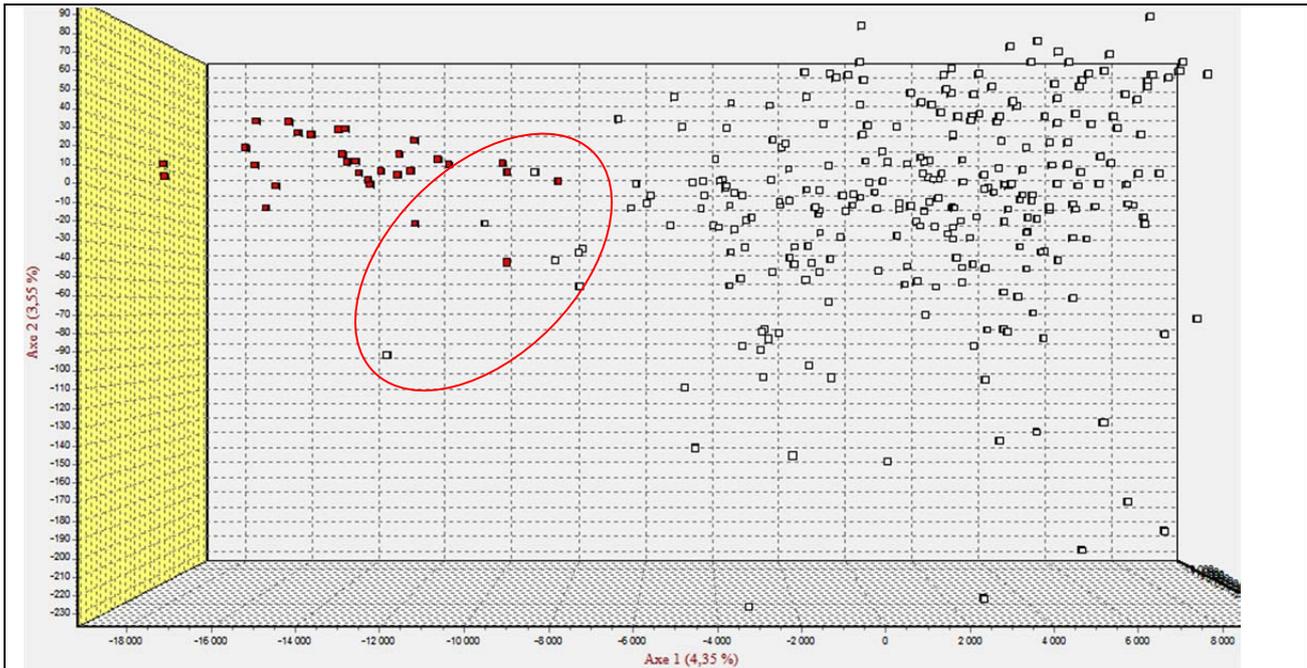


Figure 3 : Analyse multidimensionnelle (AFC) opposant les truites domestiques atlantiques commerciales françaises (points rouges) à l'ensemble des échantillons considérés (LOZ4 + références). Il permet déjà de voir que les populations analysées sont très peu influencées par la souche nationale atlantique (ellipse = zone de chevauchement = hybridation).

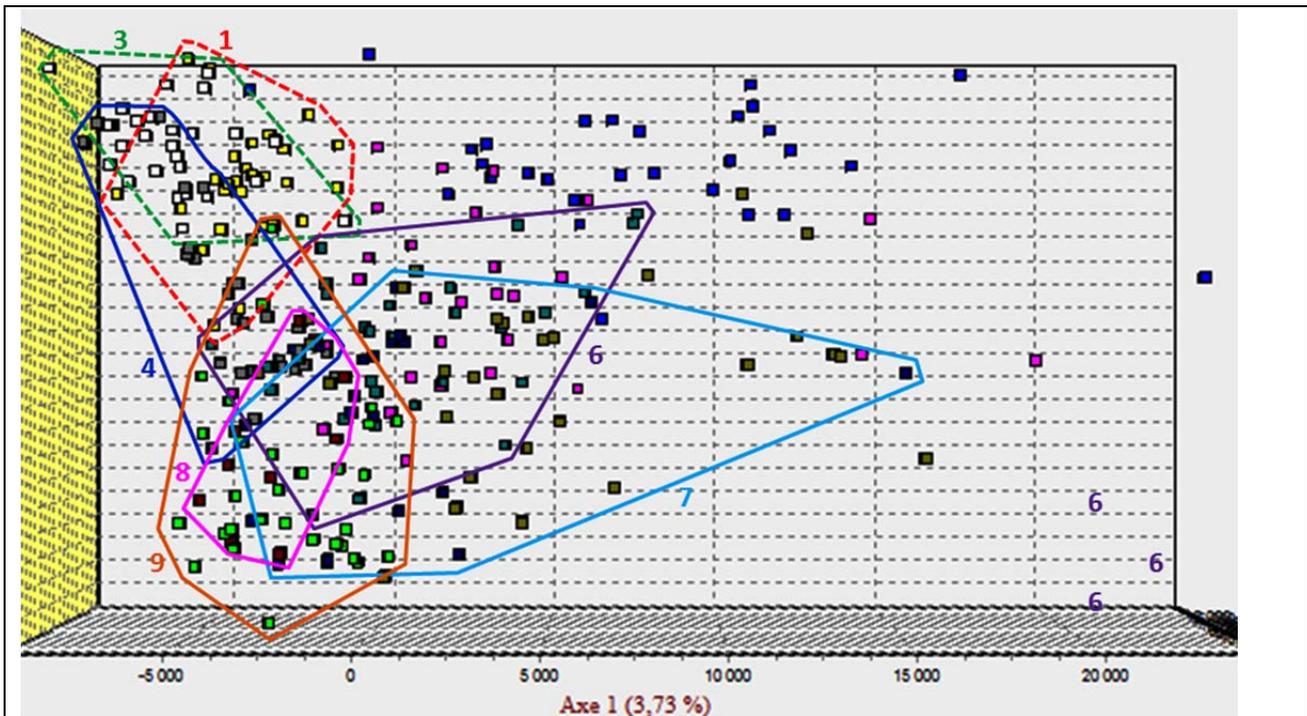


Figure 4 : Même analyse que la figure précédente, mais sans les truites domestiques. Les enveloppes colorées renvoient à des numéros d'échantillons qu'on peut retrouver dans le Tableau 1 (les échantillons de référence ne sont pas considérés). Ces superpositions multiples nous indiquent que les différences entre échantillons sont faibles. Il semble y avoir deux zones de superposition: une en haut à gauche (=1+3+4 soit l'Ardèche, la Cèze et le Gardon d'Alès) et en bas à gauche (6+7+8+9 soit les gardons des St Germain, St Martin et Ste Croix).

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 (proches 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 10 avec 6 répétitions à chaque valeur de K. La valeur K a été estimée à 8 car présentant le maximum de sous-groupes géographiques cohérents (avec K=9, il y a toujours 6 entités géographiques). La méthode automatique de détermination de K a donné des résultats aberrants. La Figure 5 présente les résultats pour K=8 sous forme d'un histogramme coloré et le Tableau 2 sous forme de pourcentages.

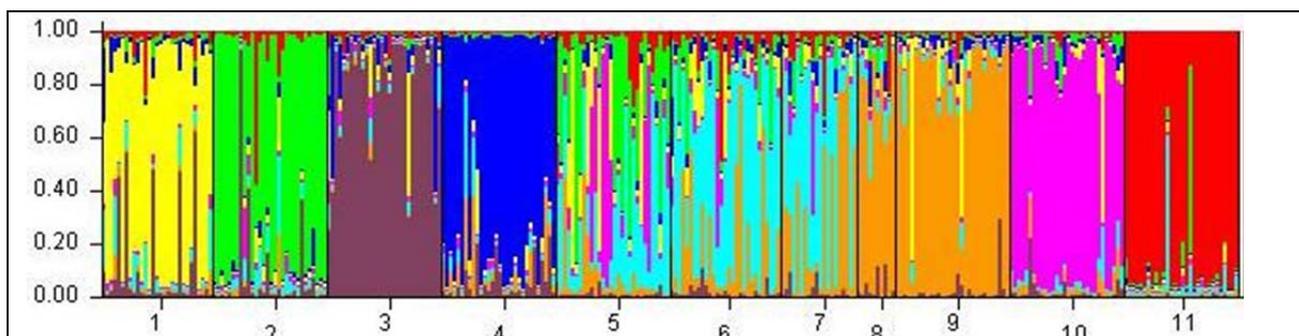


Figure 5 : Analyse d'assignation présentée sous forme d'histogramme. Chaque truite est représentée par une fine barre verticale; chacune des K sous-unités a reçu une couleur au hasard; l'ordre des truites et des échantillons est exactement celui du Tableau 1. Cette analyse nous permet de confirmer que les truites domestiques ont une présence négligeable dans les cours d'eau étudiés et que seuls les échantillons 5 à 7 (affluent gauches du Gard) et 8 à 9 (incohérence discutée plus bas) forment des groupes génétiquement homogènes.

N° carte	Rivière	ARD	CEZ	LUECH	ALES	GARD	CROIX	JEAN	P
1	Pallière	70	2	11	4	6	2	2	3
2	Cèze	3	75	8	2	4	2	2	4
3	Gourdouse	4	2	80	7	2	1	2	2
4	Gardon St Fréal	3	1	6	78	4	6	1	1
5	Galeizon	14	25	1	2	27	7	18	5
6	Gardon St Germain	7	8	2	4	51	18	5	6
7	Gardon St Martin (le Cros)	3	4	2	3	46	33	5	5
8	Gardon St Martin (Bernadou)	2	4	4	4	7	73	2	4
9	Gardon Ste Croix	7	1	3	3	4	79	2	1
10	Gardon de St Jean	4	4	2	3	3	3	80	1
11	pisciculture Isère	1	4	1	1	4	1	1	88

Tableau 2 : Transposition de l'histogramme de la Figure 5 sous forme de pourcentage d'assignation de chaque échantillon analysé aux K sous-unités détectées. Les couleurs des entêtes correspondent à celles de la Figure 5. L'intensité du jaune appliqué aux pourcentages donne une idée de l'homogénéité de chaque échantillon: plus le % est élevé et plus les truites se ressemblent entre elles dans un échantillon donné.

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.

Rivière	Hnb	Hobs.	A	Fis	signific.
Palhères	0,75	0,75	7,00	0,00	ns
Cèze	0,74	0,68	8,83	0,08	*
Gourdouse	0,43	0,47	5,67	-0,10	*
Gardon St Frézal	0,63	0,57	6,00	0,10	*
Galeizon	0,81	0,77	10,17	0,05	ns
Gardon St Germain	0,80	0,77	9,67	0,05	ns
Gardon St Martin (le Cros)	0,78	0,75	8,00	0,05	ns
Gardon St Martin (Bernadou)	0,67	0,60	5,17	0,11	ns
Gardon Ste Croix	0,69	0,64	7,50	0,08	*
Gardon de St Jean	0,74	0,74	10,50	0,01	ns
pisciculture Isère	0,66	0,64	6,17	0,03	ns

Tableau 3 : Paramètres populationnels des échantillons de LOZA et des échantillons de référence. Les entêtes orange correspondent au paramètres de polymorphisme; les entêtes bleues aux paramètres d'équilibre panmictique : si significatif (*), le Fis indique un déséquilibre (voir interprétation).

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

N° carte	Rivière	Palhères	Cèze	Gourdouse	Gardon St Frézal	Galeizon	Gardon St Germain	Gardon St Martin (le Cros)	Gardon St Martin (Bernadou)	Gardon Ste Croix	Gardon de St Jean	pisciculture Isère
1	Palhères	0	0,12	0,17	0,14	0,08	0,09	0,12	0,14	0,16	0,14	0,18
2	Cèze		0	0,24	0,17	0,07	0,08	0,13	0,17	0,17	0,14	0,16
3	Gourdouse			0	0,16	0,23	0,25	0,29	0,28	0,29	0,24	0,36
4	Gardon St Frézal				0	0,14	0,11	0,12	0,15	0,13	0,11	0,27
5	Galeizon					0	0,04	0,05	0,12	0,13	0,11	0,11
6	Gardon St Germain						0	0,03	0,11	0,10	0,11	0,11
7	Gardon St Martin (le Cros)							0	0,08	0,11	0,11	0,13
8	Gardon St Martin (Bernadou)								0	0,08	0,11	0,23
9	Gardon Ste Croix									0	0,11	0,27
10	Gardon de St Jean										0,00	0,25
11	pisciculture Isère											0

Tableau 4 : Matrice triangulaire des Fst par paire d'échantillon. Toutes les comparaisons sont significatives (aucun échantillon est identique à un autre). L'intensité de la couleur verte appliquée à chaque valeur aide à leur compréhension: la souche de pisciculture atlantique est la plus différente de tous les autres échantillons (vert foncé); Gourdouse est la population locale qui se distingue le plus des autres (vert moyen);

les groupes [Palhères + Cèze + Galeizon + G. St Germain] et [G. St Martin (Bernadou) + G. Ste Croix] forment deux ensembles homogènes principaux (pas de couleur).

6. Interprétation des résultats

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

La première partition observée dans l'échantillonnage étudié en 2014 est entre truites méditerranéennes et atlantiques (représentées par une grande pisciculture de l'Isère). Les Figures 3 et 4 et les Tableaux 2 et 4 concordent pour limiter cette présence à 6% au Gardon de Saint Germain. Si on peut en conclure que les stations étudiées sont indemnes de truites atlantiques d'origine domestique, aucune recherche n'a été faite pour rechercher des truites domestiques méditerranéennes et d'autre part les conséquences des translocations (transplantations de poissons vivants d'une rivière à l'autre) sont très difficiles à détecter du fait de la ressemblance entre truites déplacées et population d'accueil.

Nous considérons donc que **les 7 localités étudiées sont habitées par des truites sauvages de type méditerranéenne, qui méritent donc protection selon les principes de la gestion patrimoniale.**

La seconde structure évidente est la similitude génétique de certains échantillons: en nommant les échantillons selon leurs numéros au Tableau 1, nous observons les regroupements suivants:

- 1+3+4 et 6+7+8+9 selon l'AFC (Figure 4);
- 6+7 et 8+9 selon l'assignation (Tableau 2) mais aussi...
- 3+4 selon une étude plus poussée des résultats d'assignation (non montré ici);
- 1+2+5+6 selon les Fst (Tableau 4)

Ces regroupements présentent des incohérences formelles (regroupements contradictoires en gras ci-dessus pour l'échantillon de la Palhères). Ils présentent aussi **certaines incohérences géographiques** dans les regroupements observés: 3+4 (Gourdouze + G. de St Fréal), 6+7 (G. St Germain + G. St Martin (Cros) et 8+9 (G. St Martin (Bernadou) + G. Ste Croix) qui regroupent la Cèze et un des gardons ou qui séparent l'amont et l'aval du Gardon de St Martin. Ceci a déjà été observé en Ardèche (rapport ARD3) et a été attribué à de possibles captures de cours d'eau : divers phénomènes géologiques peuvent effectivement changer l'écoulement de petits affluents de montagne. Les analyses génétiques permettent dans ce cas, d'accroître la connaissance des phénomènes géologiques complexes qui ont été à l'origine de la formation des Cévennes.

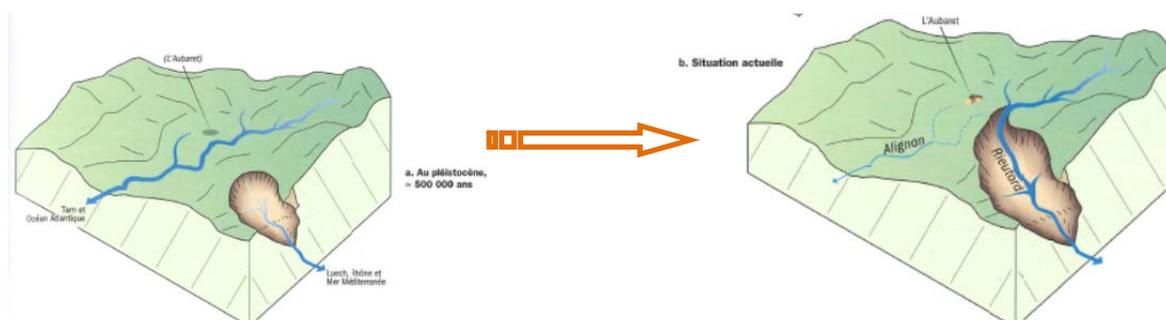


Figure 6: Un exemple de capture de cours d'eau du BV Atlantique au BV Méditerranéen par érosion régressive (Le Pudissine, affluent du Rieutord et de la Gourdouze, BV Luech) (Extrait Livre Roches, géologie et paysages du Parc National des Cévennes - 2014)

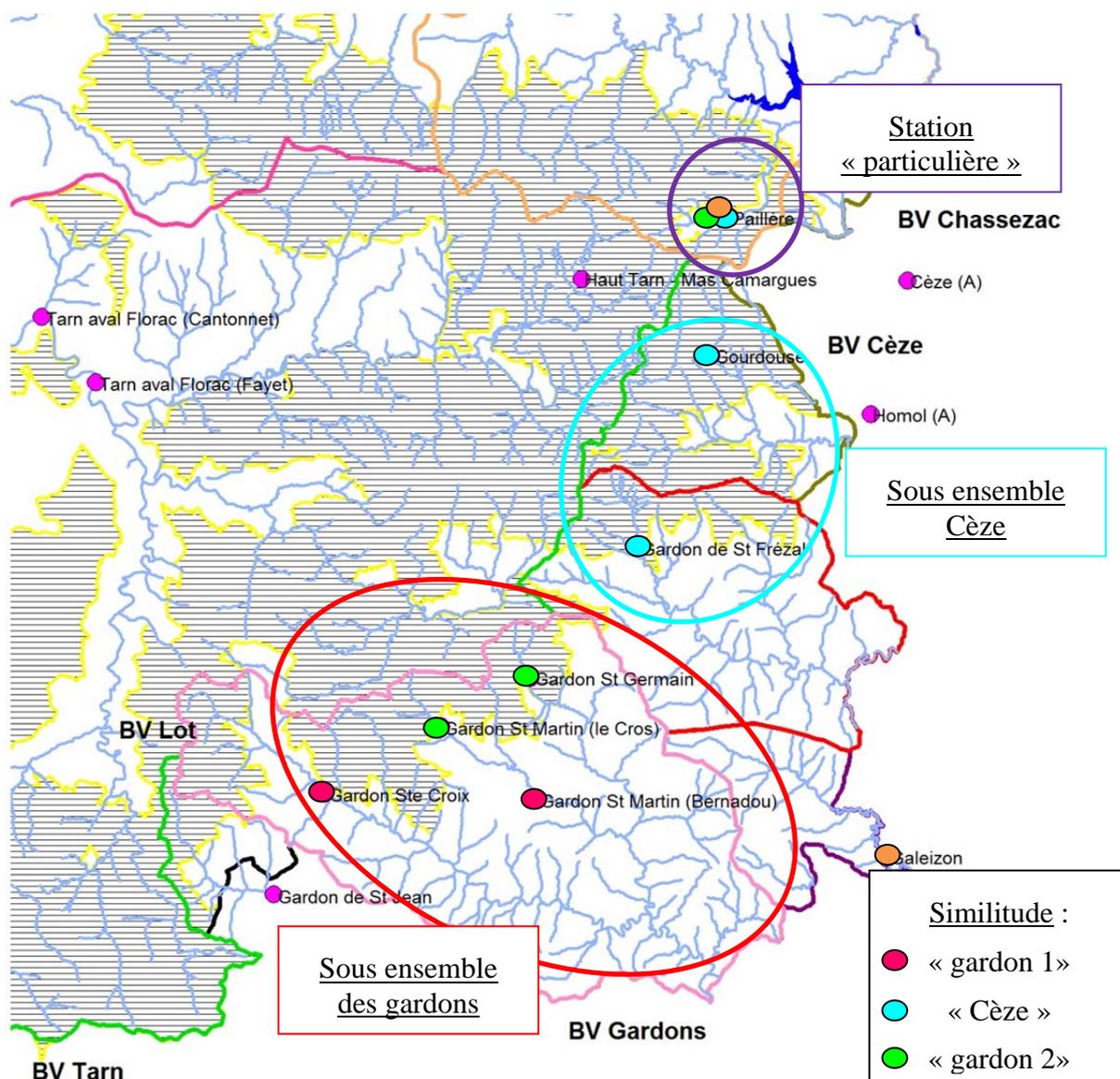


Figure 7: Bassin Versant Méditerranée en Lozère : Similitude des peuplements de truites *fario* en fonction des analyses génétiques réalisées en 2014

La structuration consensus est donc la suivante: **tous les échantillons analysés en 2014 sont distincts les uns des autres** (classique en région méditerranéenne où les truites sont extrêmement sédentaires); **les gardons analysés forment un ensemble homogène à l'exception du Gardon de St Frézal** (Gardon d'Alès) qui semble se rapprocher de la Cèze. Enfin, l'échantillon de la Palhères est difficile à classer, montrant alternativement des ressemblances avec la Gourdouze (AFC), le Galeizon (assignation et Fst) ou le Gardon Saint Germain (Fst).

Fait à Montpellier le 24 novembre 2014

7. Littérature citée (la plupart des rapports peut être obtenue sur le site:

http://data.oreme.org/oreme/oreme_map)

- Berrebi P., Shao Z. 2009. Structure génétiques des truites du département de l'Ardèche - 2008 - troisième étape. Rapport d'étude pour la Fédération de Pêche de l'Ardèche - Université Montpellier 2. (ARD3)
- 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., Shao Z. 2011. Analyses génétiques des truites du bassin versant méditerranéen du département du Gard - Cèze (Rhône) et Arre (Hérault), p. 11. Rapport d'analyses pour la Fédération du Gard. Université Montpellier 2. (GAR2)
- Berrebi P., Genindexe. 2012. Analyse génétique de deux populations de truites du bassin versant des Gardons: Galeizon et Gardon de St Jean département du Gard - Projet GAR3 - Rapport de novembre 2012. Rapport d'étude pour la Fédération de Pêche du Gard. Université Montpellier 2. 4p. (GAR3)

Annexes

Annexe 1 :

Carte des AAPPMA de la Lozère intégrés au projet 2014

Annexe 2 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Luech : La Gourdouze

Annexe 3 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon d'Alès : le Gardon de Saint-Frézal

Annexe 4 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon : le Gardon de Saint-Germain de Calberte

Annexe 5 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon : le Gardon de Saint-Martin

Annexe 6 :

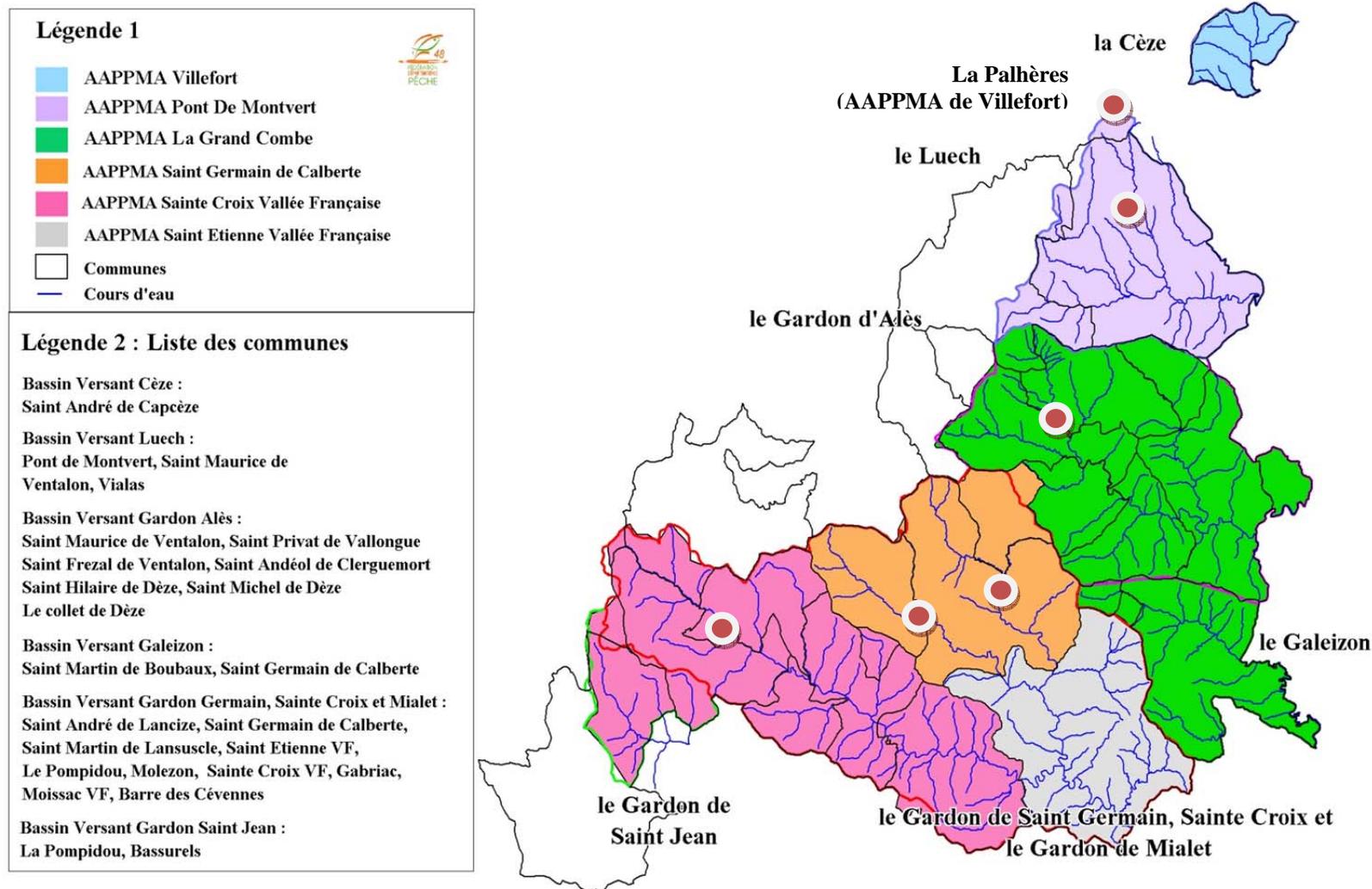
Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon : le Gardon de Sainte-Croix Vallée Française

Annexe 7 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Chassezac : la Palhères

Annexe 1 : Carte des AAPPMAs de la Lozère intégrés au projet 2014

CARTE DU BASSIN VERSANT DES GARDONS ET DES AAPPMAs - DEPARTEMENT DE LA LOZERE



Annexe 2 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Luech : La Gourdouze

Localisation des prélèvements



Localisation IGN du prélèvement

Photographie d'une truite fario analysée



Structure de la population de truite fario analysée

Taille (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Nombre TRF	0	9	15	6	0	Total 30

Annexe 3 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon d'Alès : le Gardon de Saint-Frézal

Localisation des prélèvements



Localisation IGN du prélèvement

Photographie d'une truite fario analysée



Structure de la population de truite fario analysée

Taille (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Nombre TRF	0	4	19	5	2	Total 30

Annexe 4 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon : le Gardon de Saint-Germain de Calberte

Localisation des prélèvements



Localisation IGN du prélèvement

Photographie d'une truite fario analysée



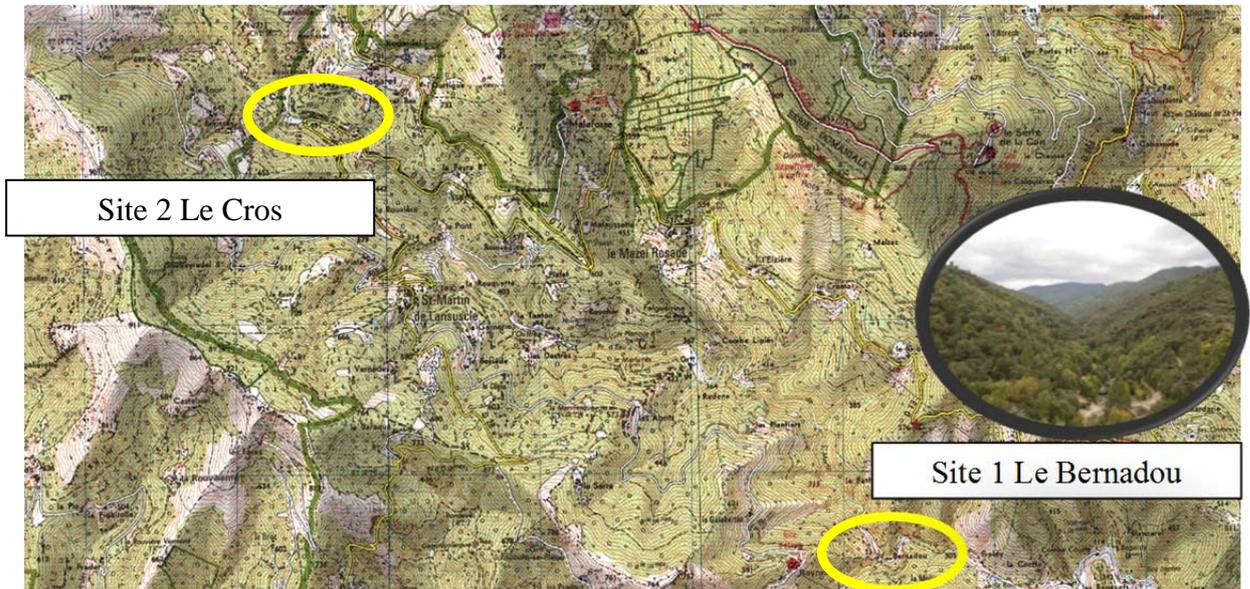
Structure de la population de truite fario analysée

Taille (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Nombre TRF	0	10	18	2	0	Total 30

Annexe 5 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon : le Gardon de Saint-Martin

Localisation des prélèvements



Localisation IGN des prélèvements Site 1 du Bernadou et Site 2 du Cros

Photographie d'une truite fario analysée



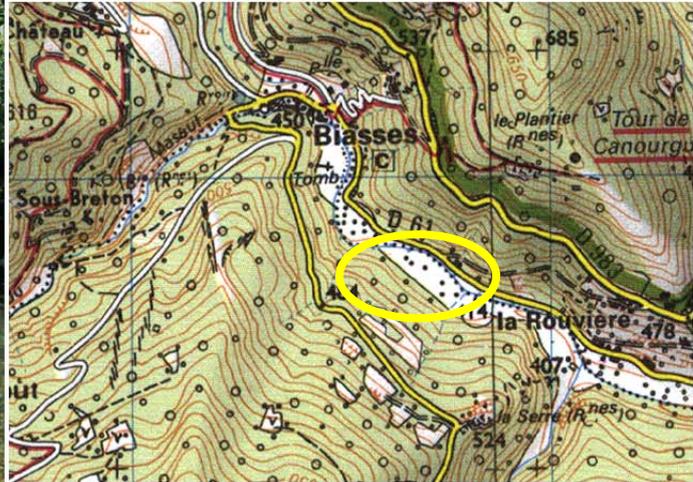
Structure de la population de truite fario analysée

Taille (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Nombre TRF Site 1	0	0	9	0	1	Total 30
Nombre TRF Site 2	0	6	4	7	3	

Annexe 6 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Gardon : le Gardon de Sainte-Croix Vallée Française

Localisation des prélèvements



Localisation IGN du prélèvement

Photographie d'une truite fario analysée



Structure de la population de truite fario analysée

Taille (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Nombre TRF	0	1	19	7	3	Total 30

Annexe 7 :

Extrait du Rapport de prélèvement BV Chassezac : La Palhères

Remarque :

Le nom d'usuel local du cours d'eau est **la Palhère**. Dans le cadre de la DCE et sur la BD Carthage, le nom utilisé est la « Paillère ».

Localisation des prélèvements



Localisation IGN du prélèvement

Photographie d'une truite fario analysée



Structure de la population de truite fario analysée

Taille (mm)	0-100	100-150	150-200	200-250	>250	
Nombre TRF	0	19	9	2	0	Total 30