

**Structure génétiques des truites du Bastan
et de 3 de ses affluents (rus de La Glère, Dets Coubous et Bolou)
dans le cadre du suivi de sa recolonisation après la crue de juin 2013**

Rapport BASTAN



Le Bastan en crue à Esterre (juin 2013) © www.larepubliquedespyrenees.fr (Photo A. Herszfeld)

Analyses statistiques et rédaction: Patrick BERREBI

Institut des Sciences de l'Evolution, Université Montpellier 2, 34095 Montpellier cedex 05

Tél: 04 67 14 37 32, Mél: patrick.berrebi@univ-montp2.fr

Analyse des paramètres écologiques: Marc DELACOSTE

Fédération des AAPPMA des Hautes-Pyrénées, 20 Boulevard 8 Mai 1945, 65000 Tarbes

Tél: 05 62 34 00 43 , Mél: federation.peche65@wanadoo.fr

Analyses moléculaires: David SCHIKORSKI

Laboratoire Genindexe, Laboratoire Genindexe, 4 Rue Théodore Botrel, 22603 Loudéac Cedex

Tél: 02 96 28 63 43., Mél: d.schikorski@genindexe.com



1. Introduction

La gestion raisonnée des truites de nos rivières nécessite de pouvoir distinguer d'une part les truites sauvages des domestiques issues d'alevinages, et d'autre part les différentes lignées génétiques naturelles d'une région. Cette description de la structure génétique des truites est un outil nécessaire à l'application de gestions adaptées à chaque cas.

Les analyses effectuées sur les truites du Bastan (affluent du gave de Pau) et de trois de ses affluents, à la suite des pêches effectuées entre septembre 2003 et octobre 2015, fournissent ces données de base nécessaires. Les diverses analyses statistiques appliquées ici ont pour premiers objectifs de décrire la présence domestique dans la région, de rechercher les structures géographiques naturelles, d'alerter sur les populations apparemment trop peu diversifiées (mortalité récente...) et de décrire tout autre phénomène génétique ou démographique qui pourrait intéresser les gestionnaires.

Cette structure génétique, si elle existe, a été fortement influencée par les événements de 2013: la population du Bastan a été anéantie par la crue et les travaux qui ont suivis ; celles de ses affluents ont été impactées mais devraient se régénérer rapidement car l'effet mécanique des crues est moindre dans les petits cours d'eau. Le second objectif de la présente étude est donc de comprendre comment s'est faite la recolonisation du Bastan et de ses affluents après la crue dévastatrice de juin 2013, à partir de quels types de truites, dans la mesure où les populations des affluents sont différentes d'un point de vue génétique. Ce suivi est prévu sur une durée de 5 ans.

2. Echantillonnage

L'échantillonnage des truites analysées ici a été constitué par la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique des Hautes Pyrénées (FD65) lors des pêches électriques de 2013, 2014 et 2015. Il est constitué de 10 échantillons dont 6 le long du Bastan (dont deux diachroniques: Bastan - Piets-Derat 2014 et 2015) et trois provenant de ses affluents (Dets Coubous, Bolou et La Glère). A cela s'ajoute un échantillon du Gave de Pau à proximité de la confluence du Bastan.

Un total de 149 échantillons (fragments de nageoires conservés dans des tubes d'alcool) a été remis à l'Institut des Sciences de l'Evolution (ISEM) de l'Université de Montpellier (UM) entre le 12 février et le 23 novembre 2015. Marc Delacoste est le correspondant de la FD65 auprès de l'ISEM.

La distribution géographique des stations est précisée à la Figure 1. La composition et les caractéristiques des échantillons sont présentées au Tableau 1. Aux nouveaux échantillons ont été rajoutés pour comparaison des échantillons de truites de rivières géographiquement proches déjà analysés dans le passé et des échantillons domestiques.

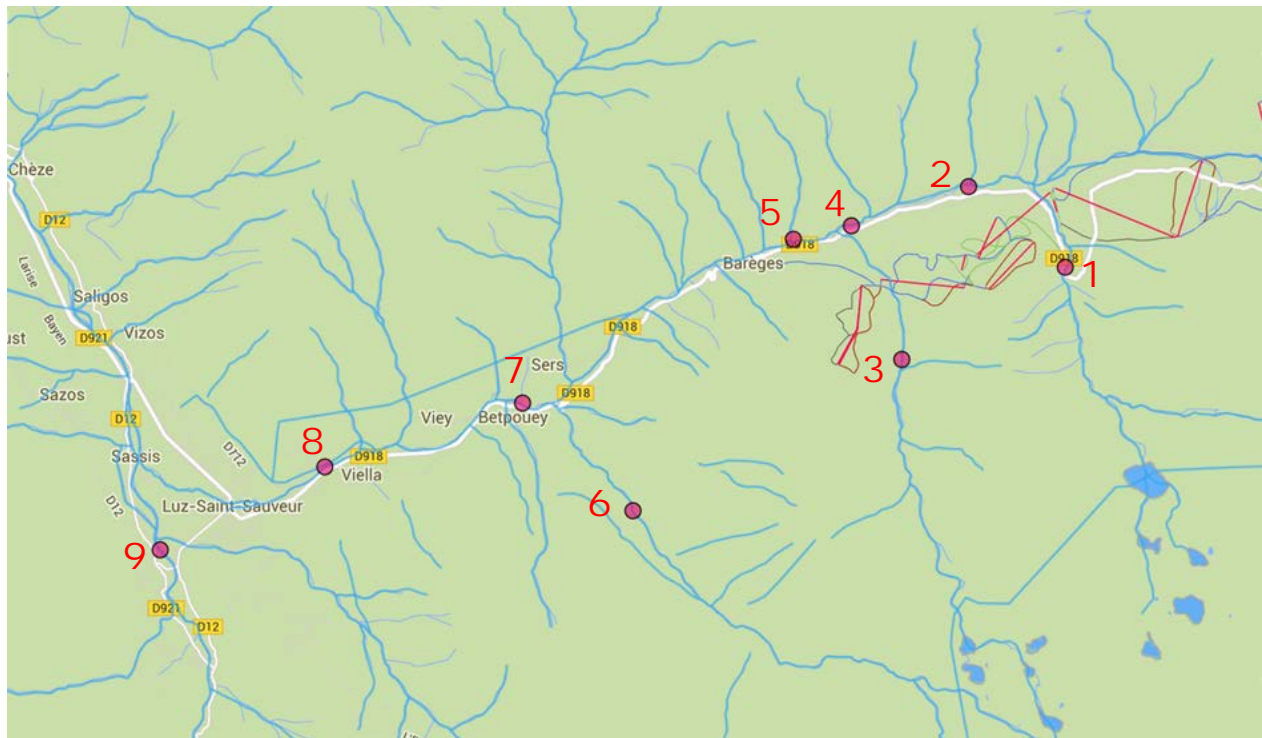


Figure 1 : Répartition géographique des 10 échantillons analysés dans le présent rapport (deux prélèvements à Piets-Derat, station 2). Les détails techniques sont donnés au Tableau 1.

N° carte	Station	Nbre	Date	N° ISEM échantillon	N° ISEM individus	Rapport
1	Dets Coubous	20	04/09/2015	L673	T28736-T28755	BASTAN
2A	Bastan (aval Dets Coubous) 2014	15	28/10/2014	L652	T27878-T27892	BASTAN
2B	Bastan (aval Dets Coubous) 2015	20	15/10/2015	L680	T28906-T28925	BASTAN
3	La Glère	20	03/09/2013	L654	T27900-T27919	BASTAN
4	Bastan (confluence La Glère)	7	28/10/2014	L653	T27893-T27899	BASTAN
5	Bastan (aval confluence La Glère)	6	15/10/2015	L681	T28926-T28931	BASTAN
6	Bolou	20	12/09/2013	L655	T27920-T27939	BASTAN
7	Bastan (aval confluence Bolou)	13	15/10/2015	L682	T28932-T28944	BASTAN
8	Bastan (Esterre)	8	15/10/2015	L683	T28945-T28952	BASTAN
9	Gave de Pau (Luz St Sauveur)	20	09/11/2015	L690	T29123-T29142	BASTAN
10	Gave de Pau (Gavarnie)	30	01/10/2011	L409	T20182-T20211	GT2014
11	Larribet	20	08/10/2014	L648	T27801-T27820	ARRENS
12	Arrens (Doumbias)	20	31/10/2014	L650	T27828-T27847	ARRENS
13	Cauterets 2013 dans le 34	32	16/12/2014	L640	T28080-T28111	MAE1
14	pisciculture Cauteret (Puntas)	30	08/02/2008	L157	T13091-T13120	GSALM2
15	pisciculture Isère	30	2008	L266	T16926-T16955	GSALM2

Tableau 1 : Caractéristiques des échantillons analysés lors de la présente étude (en jaune). Ont été rajoutés des échantillons de référence dont 3 de piscicultures (en gris).

3. Méthodes

3a. Méthodes moléculaires

Chaque truite a été génotypée (détermination des deux allèles provenant de ses deux parents) au niveau de 6 locus microsatellites (Oneµ9, Mst85, SSoSI-311, Omy21Dias, Mst543 et SSoSI-438).

Les génotypes obtenus ont permis de construire la matrice de données à la base de tous les calculs qui suivent.

3b. Méthodes statistiques

Classiquement, trois types d'analyses statistiques permettent de comprendre la structure, la composition et parfois l'histoire des peuplements analysés.

- L'**analyse multidimensionnelle** (ici l'Analyse Factorielle des Correspondances ou AFC traitée par le logiciel GENETIX) est considérée comme un débroussaillage rapide des données faisant apparaître les grandes lignées présentes dans les échantillons analysés et dans les échantillons de référence.

- L'**analyse d'Assignment** (ici avec le logiciel STRUCTURE) recherche le meilleur découpage de l'ensemble des truites analysées de façon à regrouper celles qui se ressemblent le plus et pourraient appartenir à la même population (sous-groupes à l'équilibre génétique). La partie la plus délicate est de déterminer le nombre de sous-groupes le plus pertinent (K). K est automatiquement déterminé par la méthode d'Evanno grâce au logiciel en ligne STRUCTURE HARVESTER, mais les autres valeurs de K peuvent aussi être explorées.

- Les **paramètres populationnels** sont de divers types. Certains décrivent la diversité génétique de chaque population (Hnb, Ho et A); un autre décrit l'équilibre panmictique (reproduction au hasard de toutes les truites de la population) avec le Fis; un autre détermine la quantité de différence génétique entre populations prises 2 à 2 (le Fst).

Ces paramètres permettent d'interpréter les résultats génétiques.

4. Résultats

4a. Analyse multidimensionnelle

La Figure 2 positionne les centres de gravité de chaque échantillon (= un point) dans un hyperspace mathématique. Chaque point est donc représentatif de la moyenne des caractéristiques génétiques des truites qui le composent. L'analyse individu par individu est reportée à l'analyse d'assignation qui suit.

Ce diagramme permet de voir les regroupements (= nuages) caractéristiques des types génétiques en présence dans l'échantillonnage total (échantillons de la présente étude et échantillons de référence). On remarque une masse centrale, éloignée des lignées domestiques (échantillons domestiques: 13 à 15) et représentant probablement le type naturel global de l'amont du Gave de Pau.

S'en échappent, (i) outre les souches domestiques, (ii) les deux stations de référence de l'Arrens, génétiquement distinctes comme déjà observé (selon le rapport ARRENS, cet affluent comprend la lignée Arrens dont l'échantillon Larribet et la lignée Gave de Pau dont l'échantillon Arrens Doumbas) et (iii) l'échantillon de La Glère qui semble entièrement remplacé par la souche Causerets classique. Ce point est cependant discuté en fin de rapport.

L'analyse d'assignation qui suit se propose de chiffrer ces lignées.

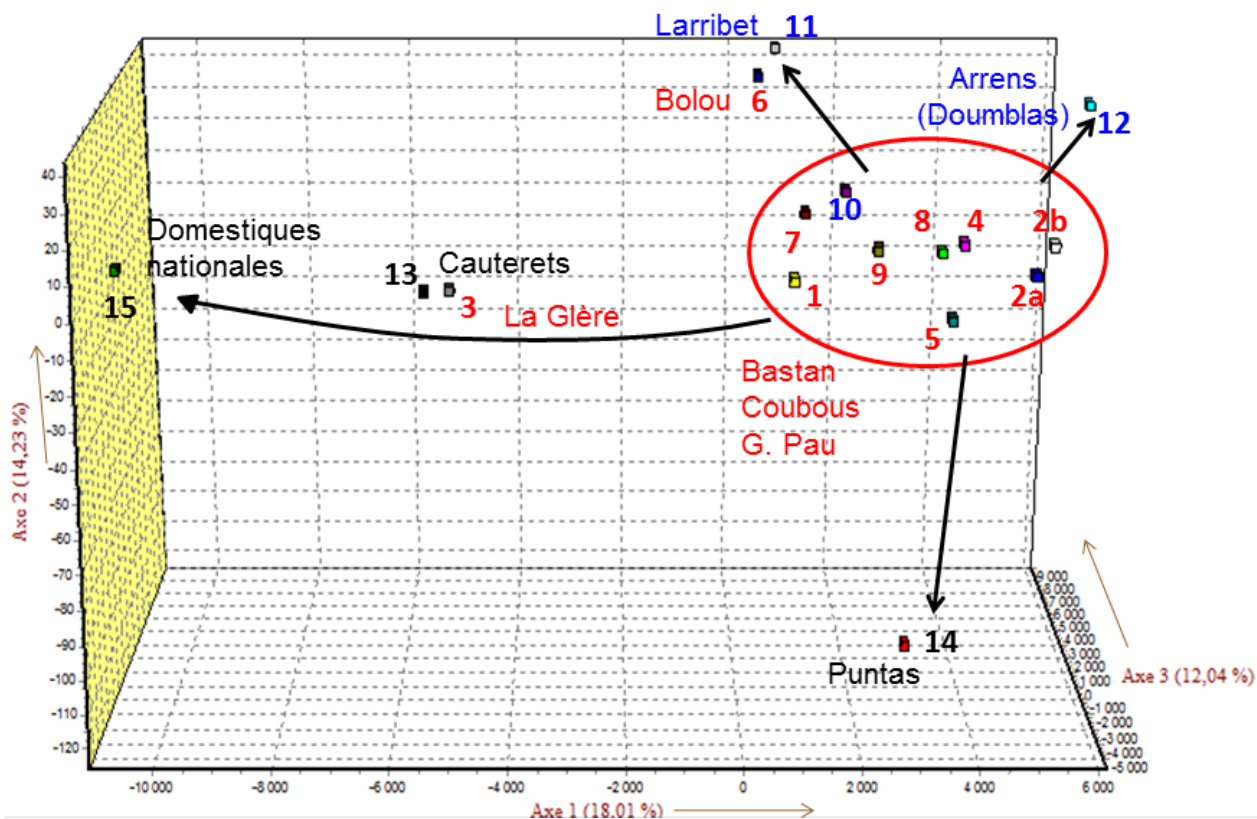


Figure 2 : Positionnement des centres de gravité des 15 échantillons. La lignée majoritaire comprend les divers échantillons du Bastan, du ru Dets Coubous et les deux échantillons du Gave de Pau. A partir de ce nuage central se distinguent les lignées domestiques (la souche nationale commerciale vers la gauche et la souche Puntas de Cauterets vers le bas). Deux autres tendances sont observées: les lignées Larribet (qui semble entraîner le Bolou, mais ces échantillons ne sont pas identiques) et Arrens-Doumbas (qui était pourtant de type Gave de Pau dans l'étude ARRENS).

4b. Analyse d'assignation

L'analyse d'assignation permet de découper l'échantillonnage total (truites de la présente étude et des échantillons de référence) en K sous-unités en équilibre populationnel, sans tenir compte de l'appartenance de chaque truite à un échantillon géographique. Le logiciel d'aide à la décision, STRUCTURE HARVESTER, suggère que K=2, mais les autres valeurs de K peuvent aussi être explorées (dans l'ordre décroissant d'importance de la structure, le logiciel suggère K=3 puis K=8).

Ici 110000 runs de préchauffage (burn'in) ont été pratiqués suivis de 220000 runs d'affinage. K a été testé de 1 à 10 avec 13 tests pour chaque valeur de K.

La Figure 3 donne l'histogramme obtenu pour K=8. Il permet de déterminer la composition de chaque échantillon en pourcentages des K sous-unités détectées.

Le Tableau 2 transpose l'histogramme coloré en pourcentages.

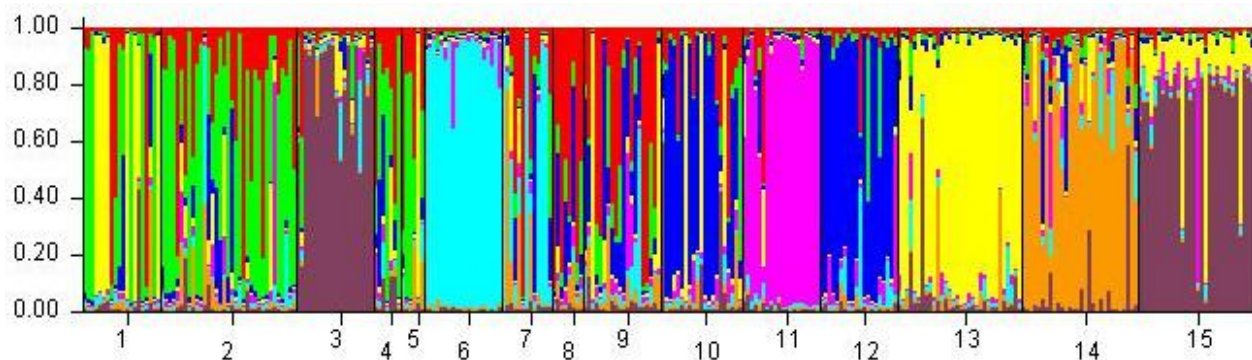


Figure 3 : Présentation de l'analyse d'assignation sous forme d'**histogramme** coloré. Les couleurs sont distribuées au hasard aux K sous unités détectées. Chaque truite est représentée par une fine ligne verticale. Les numéros des échantillons sont ceux du Tableau 1. Les détails individu par individus sont donnés en Annexe 2 et les pourcentages en Annexe 4.

K=1	K=2	K=3	K=4	K=5	K=6	K=7	K=8	Stations
							1-2+4-5	Bastan amont
				1-2+4-5+8-9	1-2+4-5+8-9	1-2+4-5+8-9	8-9	Bastan aval
	1-2+4-5+8-12+14	1-2+4-5+8-10+12	1-2+4-5+8-10+12					
				10-12	10-12	10+12	10+12	G. de Pau-Arrens
						11	11	Larribet
			6-7+11	6-7	6-7	6-7	6-7	Bolou
		6-7+11+14						
			14	14	14	14	14	Puntas
	3+6-7+13+15							
		3+13+15	3+13+15	3+13+15		13	13	Cauterets
					3+15	3+15	3+15	domestique

Figure 4 : Présentation de l'analyse d'assignation sous forme d'**arbre** permettant de comprendre la progression du découpage. Les couleurs de la dernière colonne, distribuées au hasard par le logiciel, sont celles de la Figure 3. Les échantillons dont les numéros sont en rouge sont ceux qui ne suivent pas strictement les dichotomies attendues: ils changent de branche. L'étape choisie de $K=8$ pour la Figure 3 est justifiée en Annexe 1. C'est une étape permettant de distinguer les lignées d'intérêt: Bastan, Gave de Pau, Bolou ainsi que les lignées domestiques.

N° carte	Station	Bastan amont	Bastan aval	Bolou	G. de Pau- Arrens	Larribet	Cauterets	Puntas	domesti- que
1	Dets Coubous	36	14	1	5	1	35	3	4
2	Bastan (aval Dets Coubous)	51	22	4	7	4	5	4	2
3	La Glère	5	4	4	2	1	4	2	78
4	Bastan (confluence La Glère)	41	25	3	14	4	6	2	6
5	Bastan (aval confluence La Glère)	38	29	5	3	1	16	8	1
6	Bolou	1	1	89	1	4	1	1	1
7	Bastan (aval confluence Bolou)	6	22	40	10	2	5	13	2
8	Bastan (Esterre)	10	58	2	17	3	2	5	2
9	Gave de Pau (Luz St Sauveur)	10	38	7	21	5	11	5	3
10	Gave de Pau (Gavarnie)	6	13	2	52	3	14	3	7
11	Larribet	2	5	2	3	82	4	1	2
12	Arrens (Doumbles)	6	4	5	74	6	1	2	1
13	Cauterets 2013 dans le 34	2	2	3	2	2	80	4	5
14	pisciculture Cauteret (Puntas)	2	4	5	6	4	4	69	5
15	pisciculture Isère	1	2	2	1	5	14	1	74

Tableau 2 : Composition de chaque échantillon analysé et des échantillons de référence en pourcentages des K sous-unités génétiques détectées. Les valeurs égales ou inférieures à 5 sont à la limite de sensibilité de la méthode (= bruit de fond), elles sont indiquées en gris. Les couleurs des cellules rendent compte de l'importance des pourcentages obtenus.

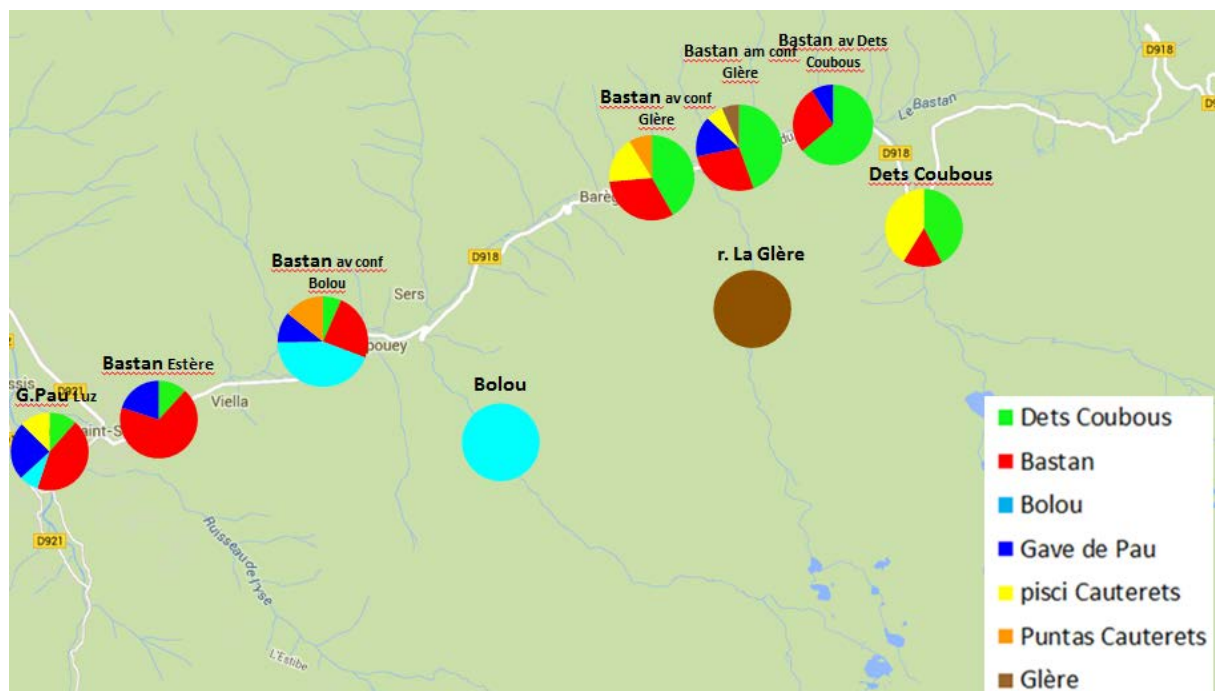


Figure 5a: Représentation géographique des lignées détectées pour K=8 (mais la lignée Larribet est hors champ). Les couleurs dans les ronds reprennent les lignées telles que représentées à la Figure 3. Les lignées présentes à moins de 6% (à la limite de la sensibilité de la méthode) n'ont pas été représentées (voir le Tableau 2 pour les valeurs exactes des tests).

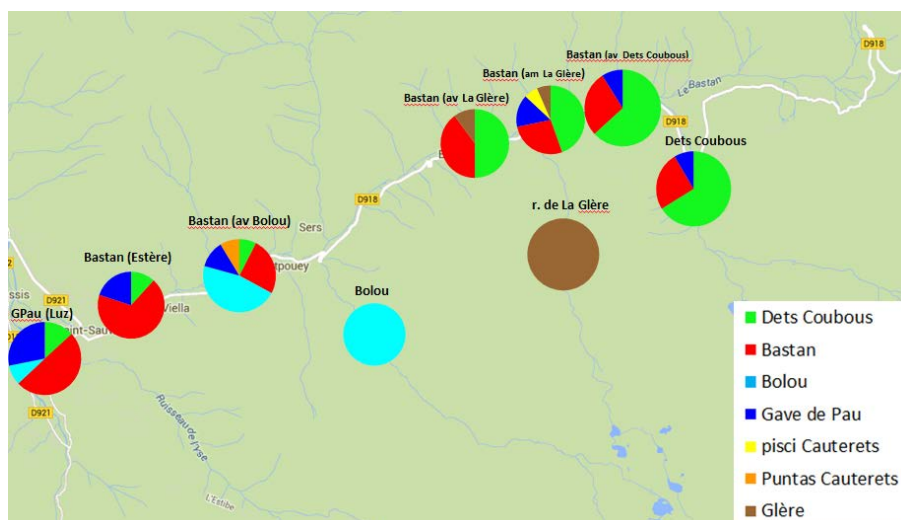


Figure 5b: Même représentation, mais en excluant les truites directement issues d'alevinage (homozygote pisciculture).

4c. Paramètres populationnels

Les analyses de composition ou de structure (multidimensionnelle et d'assignation) ne sont pas les seules à apporter des informations. Les paramètres populationnels sont particulièrement importants pour obtenir des informations biologiques sur les populations analysées.

Les paramètres H et A renseignent sur le polymorphisme de chaque population. H_o est la diversité génétique observée et H_{nb} est cette même diversité telle qu'elle serait si la population était panmictique (reproduction au hasard entre tous ses membres, donc présence d'une seule lignée). L'écart entre H_o et H_{nb} permet de calculer le F_{is} qui renseigne sur cette panmixie. Le Tableau 3 donne les résultats obtenus ainsi que leur niveau de significativité.

N° carte	Station	Hnb	H_o	A	Fis	signif	Fis	signif
1	Dets Coubous	0,78	0,66	8,0	0,16	**	0,12	*
2A	Bastan (aval Dets Coubous) 2014	0,72	0,61	7,3	0,16	*	0,16	*
2B	Bastan (aval Dets Coubous) 2015	0,68	0,64	6,5	0,07	ns	0,07	ns
3	La Glère	0,53	0,49	5,3	0,08	ns	0,08	ns
4	Bastan (confluence La Glère)	0,70	0,57	4,8	0,19	*	0,19	*
5	Bastan (aval confluence La Glère)	0,72	0,61	4,8	0,17	ns	0,06	ns
6	Bolou	0,64	0,58	4,5	0,10	*	0,10	*
7	Bastan (aval confluence Bolou)	0,79	0,75	7,3	0,05	ns	0,05	ns
8	Bastan (Esterre)	0,70	0,68	5,2	0,03	ns	0,03	ns
9	Gave de Pau (Luz St Sauveur)	0,75	0,69	8,2	0,08	*	0,06	ns
10	Gave de Pau (Gavarnie)	0,78	0,66	8,8	0,16	**		
11	Larribet	0,73	0,73	6,2	0,01	ns		
12	Arrens (Doumbblas)	0,65	0,59	5,8	0,10	*		
13	Cauterets 2013 dans le 34	0,76	0,76	8,0	0,00	ns		
14	pisciculture Cauteret (Puntas)	0,79	0,68	10,0	0,13	***		
15	pisciculture Isère	0,66	0,64	6,2	0,04	ns		

Tableau 3 : Paramètres populationnels donnant des informations sur le polymorphisme (entêtes orange), et la panmixie (entêtes roses). Les deux dernière colonnes indiquent la valeur du F_{is} si on retire des 3 échantillons en orange les truites nées en pisciculture. ns = non significatif (=population en panmixie), *, ** et *** = niveau de significativité ou de sûreté de l'écart à la panmixie.

Les Fst mesurent la différenciation génétique entre populations prises deux par deux (Tableau 4).

N° carte	Station	1	2A	2B	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Dets Coubous	0	0,01	0,03	0,19	0,01	0,02	0,16	0,05	0,05	0,03	0,04	0,11	0,12	0,08	0,10	0,15
2A	Bastan (aval Dets Coubous) 2014	0	0,01	0,24	0,01	0,04	0,20	0,08	0,03	0,04	0,07	0,11	0,13	0,16	0,12	0,22	
2B	Bastan (aval Dets Coubous) 2015		0	0,25	0,03	0,00	0,19	0,08	0,06	0,05	0,09	0,15	0,14	0,17	0,14	0,24	
3	La Glère			0	0,27	0,23	0,26	0,20	0,19	0,18	0,18	0,23	0,30	0,20	0,24	0,21	
4	Bastan (confluence La Glère)				0	0,04	0,20	0,09	0,04	0,03	0,06	0,10	0,11	0,13	0,12	0,17	
5	Bastan (aval confluence La Glère)					0	0,15	0,03	0,06	0,04	0,09	0,16	0,15	0,13	0,09	0,21	
6	Bolou						0	0,05	0,18	0,13	0,13	0,17	0,15	0,14	0,16	0,23	
7	Bastan (aval confluence Bolou)							0	0,04	0,02	0,06	0,10	0,11	0,09	0,08	0,13	
8	Bastan (Esterre)								0	-0,01	0,03	0,09	0,12	0,13	0,12	0,18	
9	Gave de Pau (Luz St Sauveur)									0	0,03	0,08	0,09	0,09	0,09	0,15	
10	Gave de Pau (Gavarnie)										0	0,07	0,06	0,07	0,10	0,15	
11	Larribet											0	0,13	0,12	0,14	0,15	
12	Arrens (Doumbblas)												0	0,15	0,14	0,24	
13	Cauterets 2013 dans le 34													0	0,11	0,12	
14	pisciculture Cauteret (Puntas)														0	0,18	
15	pisciculture Isère																0

Tableau 4 : Matrice triangulaire des Fst par paire d'échantillon. Seules les comparaisons en vert ne sont pas significatives (=les deux échantillons comparés sont identiques). Toutes les autres comparaisons concluent à des différences génétiques réelles entre échantillons testés: du clair au foncé, le niveau de significativité va de 95% (en jaune) à 99% à 99,9%. Le test est sensible à la taille des échantillons.

5. Interprétation - discussion

5a. Impact des alevinages en truites domestiques atlantiques.

Les analyses génétiques ne sont possibles que par comparaison des truites de nature inconnue (celles qui font l'objet de cette étude) avec les truites de référence connue. En ce qui concerne les truites domestiques, une étude récente (Bohling et al. en cours de publication) a montré que ce qui peut être appelé "souche domestique atlantique nationale", issue des travaux de sélection de l'INRA dans les années 90, représentait la grande majorité des alevinages. Nous avons aussi ajouté deux références (Cauterets et Puntas) car ce sont les souches de truites qui sont utilisées pour les alevinages dans les Hautes Pyrénées. Toutefois, si une autre souche inconnue a été utilisée dans la zone étudiée, les estimations seront faussées sans que nous le sachions.

D'après le Tableau 2, les populations de la zone étudiée sont irrégulièrement impactées par ces souches domestiques, allant de 1 à 6% pour la souche domestique nationale, de 1 à 13% pour la souche Puntas, de 1 à 35% pour la souche Cauterets classique. L'impact domestique minimal est de 3% (considéré comme du "bruit de fond") pour le Bolou, purement sauvage et maximal avec 42% pour le ru Dets Coubous (essentiellement suite à un alevinage en 2014).

Le ru de La Glère présente un total de 84% de présence domestique. Cette même population avait été analysée en 1997 (rapport ADOUR1, voir Annexe 3) et, selon les marqueurs enzymatiques alors utilisés, était composée de 44% de la lignée atlantique ancestrale du sud (donc sauvage) et 66% de la lignée atlantique moderne (sans pouvoir distinguer entre une origine

sauvage ou domestique). La question qui se pose est la surprenante présence de la souche domestique nationale à près de 80% dans une population qui n'est pas repeulée par cette souche depuis au moins 30 ans (bien qu'on ne puisse pas affirmer que ce ru n'ait jamais été repeulé avec cette souche domestique). Compte tenu de la fonctionnalité et de la productivité de ce cours d'eau, l'hypothèse d'une "similitude fortuite" des marqueurs (phénomène d'homoplasie) peut aussi être proposée. Cette question sera reprise dans la méta-analyse prévue dans un an sur l'ensemble du Gave de Pau.

Une autre série de mesure d'introgression domestique est possible et informative. Dans le Tableau 2, la totalité des allèles domestiques ont été comptés. Mais la présence domestique peut revêtir deux aspects: (i) il peut s'agir d'hybrides issus de croisements sauvages / domestique: c'est l'introgression représentant la vraie pénétration des allèles domestique dans la population, mais (ii) il peut aussi s'agir de truites nées en pisciculture et déversées dans la rivière entre quelques mois et quelques années auparavant. A l'exception de La Glère, très majoritairement domestique (mais voir le paragraphe précédent et la discussion plus bas), on peut supposer que ces truites nées en pisciculture ont très peu de chance de s'implanter. Il est donc réaliste de les retirer des calculs. Ainsi, les valeurs de présence domestique changent (passage de la Figure 5a à la 5b): ainsi la présence domestique stable est inférieure à l'estimation du tableau 2: Dets Coubous passe de 42 à 7% de présence domestique des trois souches testées, Bastan à l'aval de La Glère de 25 à 11% et le Gave de Pau à Luz St Sauveur de 19 à 10%. Les profils des stations Dets Coubous et La Glère sont substantiellement modifiés.

5b. Structure des peuplements naturels

En faisant abstraction de l'impact des repeuplements en truites domestiques, la composition en lignées naturelles des truites étudiées fait apparaître 4 sous-unités sauvages (Tableau 2). Leur distribution géographique est précisée aux Figures 5. On remarque l'originalité de la plupart des affluents analysés et leur impact sur le cours d'eau principal, le Bastan. Ainsi la lignée Bastan amont se trouve bien représentée dans le ru Dets Coubous et en amont du Bastan. Il est possible que ce soit la lignée type de Dets Coubous qui ait colonisé le Bastan. C'est plus net pour le Bolou, de type génétique très original, qui semble enrichir le Bastan essentiellement à proximité de la confluence, avec des traces jusqu'au Gave de Pau. Le cas de l'affluent La Glère est plus difficile à estimer: étant composé de truites apparemment domestiques, mais en l'absence d'alevinages avec la lignée domestique nationale (seule les souches Cauterets classique ou Puntas y ont été utilisées), l'hypothèse d'un peuplement sauvage de La Glère ressemblant génétiquement à la souche domestique nationale reste réaliste et à tester.

5c. Autres questions

D'autres questions intéressantes peuvent être abordées grâce aux paramètres populationnels (Tableau 3).

La diversité génétique, analysée au niveau de trois paramètres assez proches, est très élevée dans le Bastan, au même niveau que celle des souches domestiques considérées comme très polymorphes (Hnb de l'ordre de 0,7 et parfois au-dessus). Elle est moins élevée dans les affluents, La Glère et le Bolou, ce qui est attendu dans des populations de plus faible effectif.

Cependant, le très faible polymorphisme de la population de La Glère (Hnb de 0,49) ne correspond pas bien à une population remplacée par une lignée domestique classique, sauf si ce changement est ancien. Cela ne correspond pas non plus aux caractéristiques de cette population dont la densité est très forte (plus de 500 truites sur 100 m). Cette population ne suit donc pas les

caractéristiques génétiques attendues, sans qu'on en ait une explication. Peut-être que la méta-analyse de tout le Gave de Pau en fournira une.

L'origine du déséquilibre panmictique (Fis significatif) observé dans presque la moitié des populations analysées n'a pas non plus d'explication évidente. Notons que ce déséquilibre est souvent faiblement significatif et peut correspondre par exemple à une structure en familles. D'autre part, après retrait des truites nées en pisciculture (assignation de 88% et plus à une des lignées domestiques, voir annexe 4) réduit encore le nombre de populations en déséquilibre (Tableau 3, deux dernières colonnes).

5d. Impact des crues de 2015

Dans ce domaine, il n'y a pas de certitude. La situation observée lors des captures est une photographie de la structure des populations, il est difficile d'en déduire une information dynamique.

Seule la station aval Dets Coubous du Bastan a bénéficié d'un échantillonnage diachronique, un an et deux ans après la crue. Les principales lignées: 'Bastan amont / Bastan aval / Gave de Pau / domestiques' passent de '48 / 20 / 9 / 10%' en 2014 à '53 / 24 / 6 / 3%' soit une réduction de la présence domestique, mais cette réduction est faible et non significative (Tableau 4).

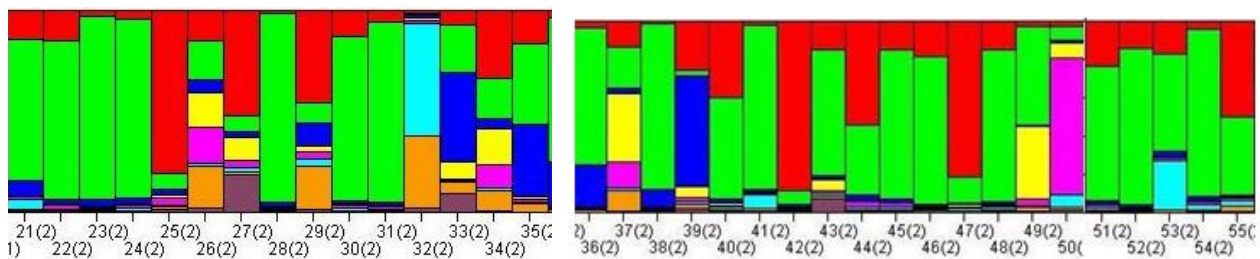


Figure 6: Présentation des truites du Bastan à la station aval Dets Coubous en 2014 (à gauche) et en 2015 (à droite). Bien que très variée génétiquement, cette population ne semble pas avoir évolué entre un an et deux ans après la crue.

Les autres stations sont organisées le long d'un cline Bastan amont / Bastan aval (passant de 51 / 22% à 10 / 58% entre aval Dets Coubous et Esterre), les affluents semblent déverser une partie de leur peuplement dans le cours principal.

Un tel déversement de truites des affluents dans le Bastan (40% pour le Bolou dont le suivi est le plus sûr car d'un type génétique exclusif donc facile à suivre dans son déversement dans le Bastan) et surtout leur survie depuis 2013 est surprenant: à l'échelle des milliers d'années durant lesquelles ces peuplements se sont stabilisés dans cette région, le phénomène aurait homogénéisé tout le Bastan (pas ses affluents car ils sont isolés à la remontée: La Glère et Bolou surtout, Dets Coubous un peu moins). Il est donc probable que ce que nous observons aujourd'hui est atypique dans le fonctionnement du Bastan: même si il fallait une crue centennale pour provoquer ces mouvements de populations, l'homogénéisation aurait eu lieu car de telles crues sont banales à l'échelle de 10000 ans (100 crues!) et nous savons qu'il y en eu une à la fin du 19^{ème} siècle.

Ce qui a probablement été différent en 2013, c'est l'ampleur des travaux qui ont suivi la crue et ont fini de dévaster la rivière et les truites survivantes, créant un vide exceptionnel favorisant la survie des truites dévalantes depuis les affluents du fait d'une moindre compétition. Le Bastan héberge normalement 170 à 250 truites/100 m (avant la crue) mais seulement 8 à 50 maintenant.

On retrouve tout de même des traces (7%) de la lignée Bolou dans le gave de Pau (hybride entre lignées) qui montre que ces truites dévalantes participent à la reproduction. Par contre, les

clines inversés des lignées Bastan amont (surtout présente à l'aval de la confluence avec Dets Coubous) et Bastan aval (surtout présente au niveau d'Esterre) sont le résultat de l'histoire des peuplements mais pas de migrations actuelles.

Enfin, deux hypothèses permettent de suggérer un fonctionnement du système:

1/ Le Bastan amont est relativement isolé du Bastan aval permettant la coexistence de deux lignées: celle du "Bastan amont" qui pourrait être nommée "Dets Coubous" en amont et celle du Bastan aval qui "déborde" dans le Gave de Pau au niveau de Luz St Sauveur. La rupture de continuité située en aval immédiat de Barèges (lieu-dit Cabadur) empêche la remontée des truites de la partie aval et isole donc partiellement (seule la dévalaison est possible) ces deux secteurs.

2/ La partie amont du Bastan est moins productive que l'aval. L'apport de son affluent Dets Coubous (qui est très productif) est donc décisif. L'aval du Bastan est plus productif, ce qui fait que la lignée "Bastan aval" y est majoritaire.

Cette double hypothèse permet de suggérer que le cline Bastan-amont / Bastan-aval est stabilisé par deux zones de production intensive de chaque lignée. Les abondances de truites observées dans le Bastan avant la crue (moyenne dans le Bastan amont et forte à très forte dans Bastan aval) soutient ces hypothèses de fonctionnement dynamique du système.

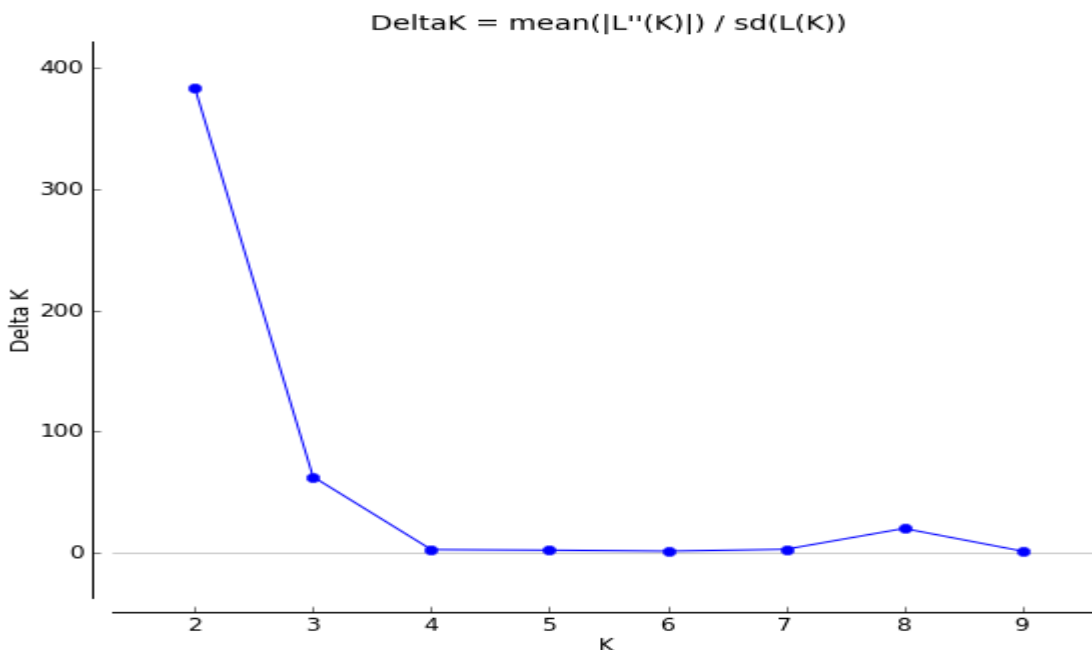
L'ensemble de ces hypothèses seront mises à l'épreuve des prochaines analyse diachroniques prévues dans les deux prochaines années.

Fait à Montpellier le 24 mars 2016

6. Références bibliographiques. La plupart des rapports cités sont consultables sur le site: <http://data.oreme.org/trout/home> (utiliser le navigateur Mozilla Firefox)

- Berrebi P. 1997. Biodiversité génétique des truites fario des bassins de l'Adour, la nivelle et l'Untxin - Marqueurs allozymiques - Rapport de janvier 1997: Université Montpellier II. (ADOUR1)
- 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., Schikorski D. 2014. Cartographie génétique (microsatellites) des peuplements de truites françaises - Programme GENETRUTTA - Septembre 2014 (GT2014) - 2/3: Rapport d'étude pour la FNPF, Université Montpellier 2. 24p.
- Berrebi P., Schikorski D. 2015. Structure génétiques des truites du haut bassin du gave de Pau: le gave d'Arrens et son affluent le Larrivet - Rapport ARRENS: Rapport d'analyse pour la FD65, Université de Montpellier. 15p.
- Berrebi P. 2015. Structure génétique des truites naturelles et domestiques de l'Orb amont - marqueurs microsatellites- Rapport MAE1 (juin 2015): Rapport d'étape pour la thèse de Maëva Leitwein. Université de Montpellier. 9p.
- Bohling J., Shao Z., Haffray P., Berrebi P. soumis 2016. Genetic diversity and population structure of domestic brown trout (*Salmo trutta*) in France. Aquaculture.

7. Annexes

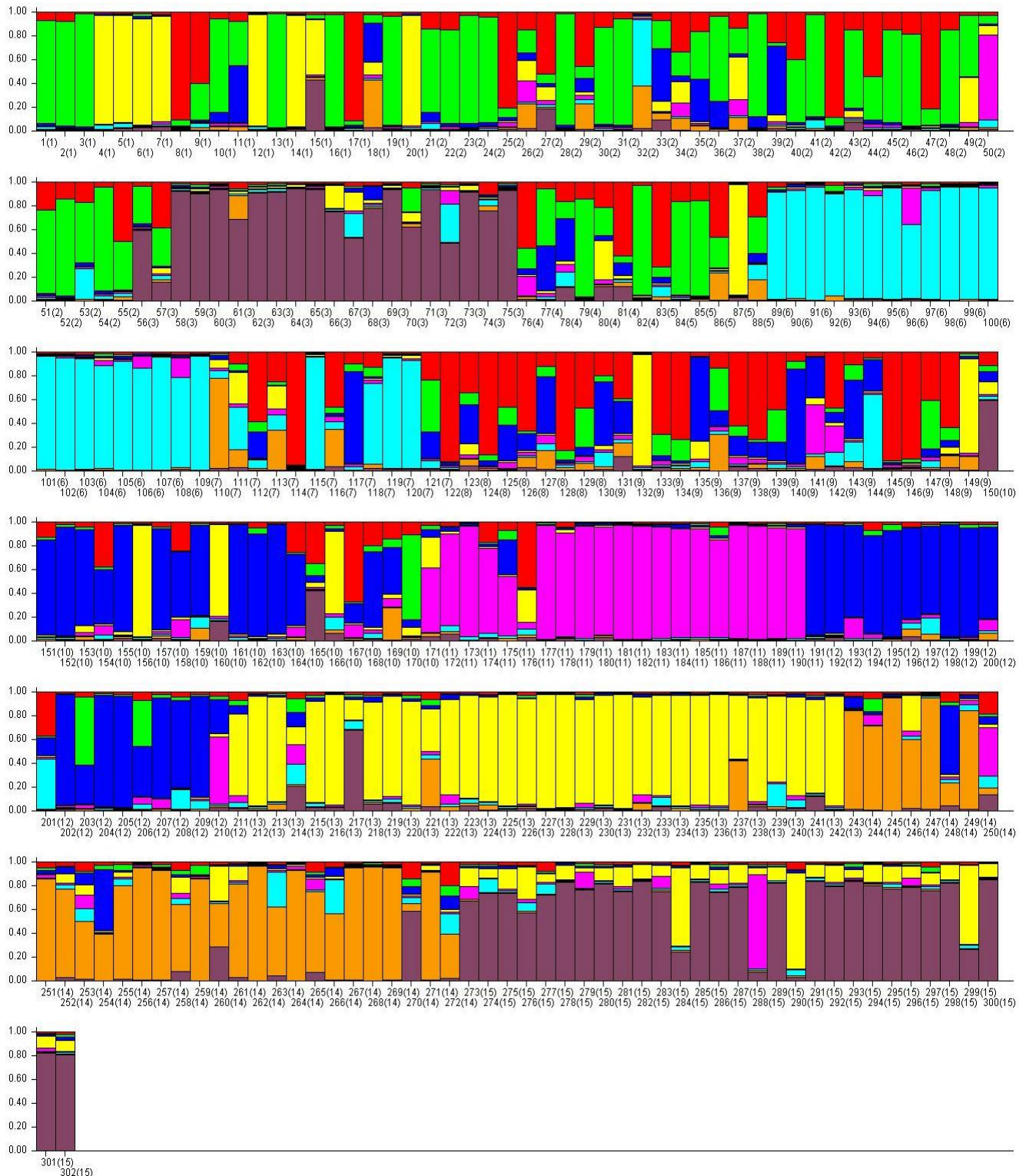


Delta K

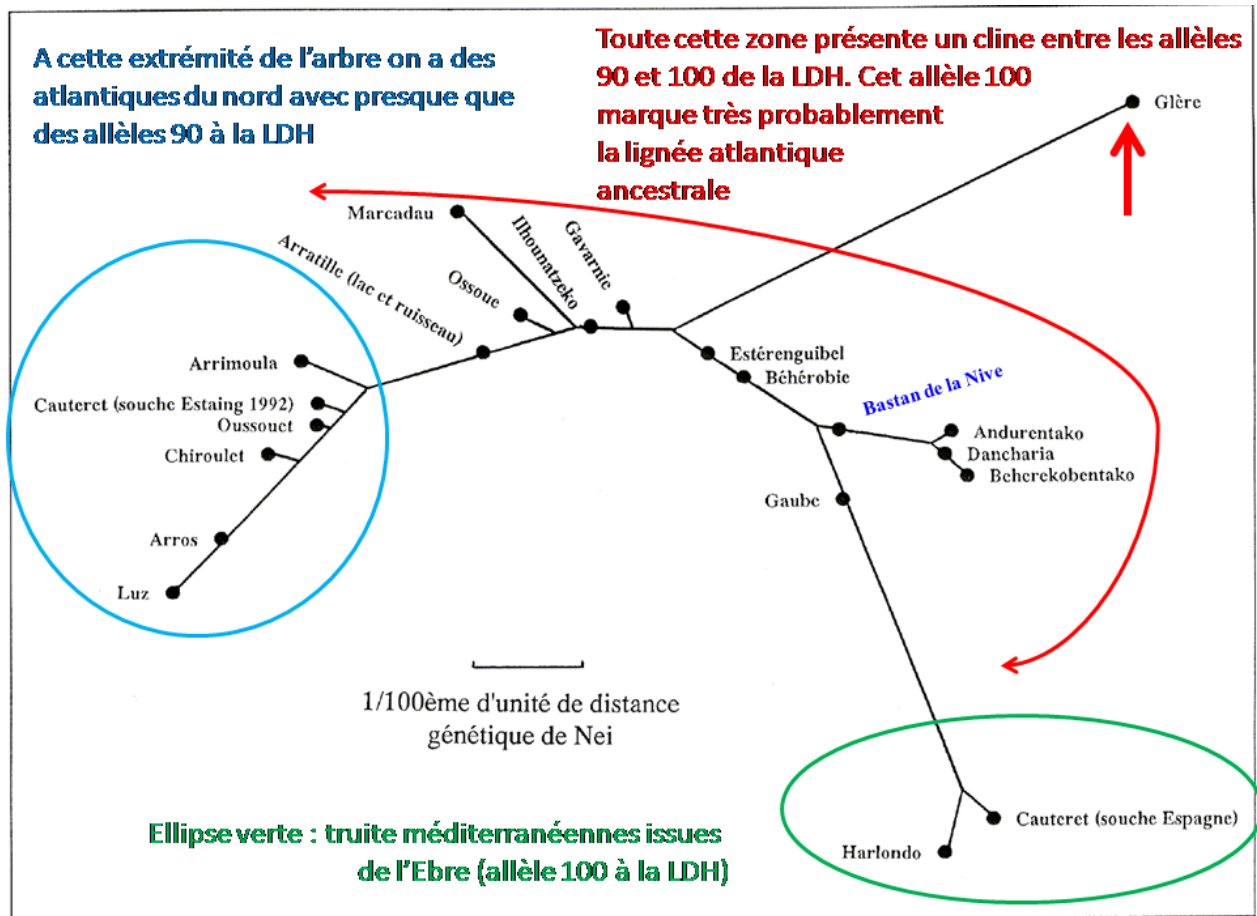
The Evanno table output is also available as a tab-delimited text file (for use with Excel) [here](#).

K	Reps	Mean LnP(K)	Stdev LnP(K)	Ln'(K)	Ln''(K)	Delta K
1	3	-7415.766667	0.115470	—	—	—
2	10	-6908.080000	0.713053	507.686667	273.266667	383.234771
3	10	-6673.660000	1.372913	234.420000	86.252308	62.824327
4	13	-6525.492308	10.593194	148.167692	30.216923	2.852485
5	13	-6347.107692	8.728255	178.384615	20.646154	2.365439
6	13	-6189.369231	30.789836	157.738462	47.206731	1.533192
7	8	-6078.837500	22.405863	110.531731	69.177564	3.087476
8	6	-6037.483333	21.945242	41.354167	444.237500	20.242998
9	3	-6440.366667	529.950699	-402.883333	844.916667	1.594331
10	3	-5998.333333	14.541091	442.033333	—	—

Annexe 1: Sortie du logiciel *STRUCTURE HARVESTER*, qui suggère que $K=2$ est la structure la plus forte, puis $K=3$ puis $K=8$. Les couleurs orange-jaune-beige de classement des assignations sont portées sur la représentation en arbre (Figure 4).



Annexe 2: Détail par individu de l'histogramme d'assignation présenté en Figure 3.



*Annexe 3: Rappel et commentaires sur l'analyse publiée en 1997 dans le rapport ADOURI. Seule la station Harlondo (bassin de l'Ebre) était peuplée de truites méditerranéennes (ainsi que la souche espagnole de Caunterets, disparue depuis). L'étalement des autres stations le long de l'arbre est interprété comme un cline de truites atlantiques du type ancestral (allèle LDH-C1*100) à droite vers les truites de lignée atlantique moderne (allèle LDH-C-90) à gauche dans l'ellipse bleue. A noter que la station Bastan (texte en bleu sur l'arbre) est un affluent de la Nive et ne correspond pas à la station Bastan de la présente étude (affluent du Gave de Pau)*

N° carte	Station	Bastan amont	Bastan aval	Bolou	G. de Pau-Arrens	Larribet	Cauterets	Puntas	domestique
1	Dets Coubous	36	14	1	5	1	35	3	4
2	Bastan (aval Dets Coubous)	51	22	4	7	4	5	4	2
3	La Glère	5	4	4	2	1	4	2	78
4	Bastan (confluence Glère)	41	25	3	14	4	6	2	6
5	Bastan (aval confluence La Glère)	38	29	5	3	1	16	8	1
6	Bolou	1	1	89	1	4	1	1	1
7	Bastan (aval confluence Bolou)	6	22	40	10	2	5	13	2
8	Bastan (Esterre)	10	58	2	17	3	2	5	2
9	Gave de Pau (Luz St Sauveur)	10	38	7	21	5	11	5	3
10	Gave de Pau (Gavarnie)	6	13	2	52	3	14	3	7
11	Larribet	2	5	2	3	82	4	1	2
12	Arrens (Doumbas)	6	4	5	74	6	1	2	1
13	Cauterets 2013 dans le 34	2	2	3	2	2	80	4	5
14	pisciculture Cauteret (Puntas)	2	4	5	6	4	4	69	5
15	pisciculture Isère	1	2	2	1	5	14	1	74

N° carte	Etiquette du tube	Bastan amont	Bastan aval	Bolou	G. de Pau-Arrens	Larribet	Cauterets	Puntas	domestique
1	FD65-501	86	7	2	2	1	1	1	1
1	FD65-502	88	8	1	1	1	1	1	1
1	FD65-503	95	1	1	1	1	1	1	1
1	FD65-504	1	1	3	1	1	92	1	1
1	FD65-505	1	1	3	1	1	90	1	3
1	FD65-506	2	1	1	2	1	89	1	3
1	FD65-507	1	2	1	1	3	88	1	4
1	FD65-508	5	90	1	1	1	1	1	1
1	FD65-509	31	60	4	1	1	1	2	1
1	FD65-510	79	6	1	8	3	1	3	1
1	FD65-511	37	8	1	48	2	1	3	1
1	FD65-512	1	1	2	1	1	93	1	1
1	FD65-513	96	1	1	1	1	0	1	0
1	FD65-514	1	1	1	1	1	94	1	2
1	FD65-515	3	2	1	1	2	46	2	43
1	FD65-516	95	2	1	1	1	1	1	1
1	FD65-517	4	91	1	1	1	1	1	1
1	FD65-518	7	2	1	33	3	11	40	3
1	FD65-519	92	3	1	1	1	1	1	1
1	FD65-520	1	1	1	1	1	93	1	1
2	FD65-461	70	14	5	8	1	0	1	1
2	FD65-462	79	14	1	2	2	1	1	1
2	FD65-463	91	3	1	4	1	1	1	1
2	FD65-464	89	4	1	3	2	1	1	1
2	FD65-465	8	81	1	3	3	1	2	2
2	FD65-466	19	15	1	6	18	17	21	3
2	FD65-467	7	52	2	3	4	12	2	19
2	FD65-468	93	1	1	2	1	1	1	1
2	FD65-469	10	46	3	12	4	3	21	2
2	FD65-470	81	12	1	2	1	1	1	1
2	FD65-471	89	5	1	2	1	1	1	1
2	FD65-472	1	1	56	2	1	2	36	2
2	FD65-473	24	7	1	44	1	8	6	10
2	FD65-474	20	33	1	5	12	18	10	1
2	FD65-475	40	16	1	36	2	1	4	1
2	FD65-581	71	4	1	22	1	1	1	1

N° carte	Etiquette du tube	Bastan amont	Bastan aval	Bolou	G. de Pau- Arrens	Larribet	Cauterets	Puntas	domesti- que
2	FD65-582	21	13	1	3	14	36	10	1
2	FD65-583	86	1	1	10	1	1	1	1
2	FD65-584	2	26	2	58	2	6	2	2
2	FD65-585	53	40	1	2	1	1	1	1
2	FD65-586	86	2	8	1	1	1	1	1
2	FD65-587	7	88	1	2	1	1	1	1
2	FD65-588	66	15	1	2	2	6	2	7
2	FD65-589	37	54	1	2	3	1	1	1
2	FD65-590	78	15	1	2	2	1	1	1
2	FD65-591	77	18	1	1	1	1	1	2
2	FD65-592	13	81	1	1	1	1	1	1
2	FD65-593	80	14	1	2	1	1	1	1
2	FD65-594	51	2	1	1	3	38	2	1
2	FD65-595	7	3	7	2	71	8	1	2
2	FD65-596	70	23	1	1	1	1	1	1
2	FD65-597	82	14	1	1	1	1	1	1
2	FD65-598	51	17	26	2	2	1	1	1
2	FD65-599	87	4	3	2	1	1	1	1
2	FD65-600	41	49	3	1	1	1	3	1
3	FD65-121	31	3	1	2	1	1	1	60
3	FD65-122	32	39	4	2	1	5	2	16
3	FD65-123	2	1	2	1	1	1	1	93
3	FD65-124	2	2	1	2	1	2	1	90
3	FD65-125	1	1	1	1	1	1	1	94
3	FD65-126	1	6	1	1	1	2	20	69
3	FD65-127	1	2	2	1	1	1	1	91
3	FD65-128	1	1	2	1	1	1	1	92
3	FD65-129	1	1	1	1	1	2	1	94
3	FD65-130	1	1	1	1	1	1	1	94
3	FD65-131	1	1	1	1	1	19	1	75
3	FD65-132	1	4	20	3	2	16	1	53
3	FD65-133	1	3	2	12	1	2	1	78
3	FD65-134	1	1	1	1	1	2	1	94
3	FD65-135	20	4	1	1	1	8	3	63
3	FD65-136	1	1	1	1	1	1	1	94
3	FD65-137	1	2	32	1	11	3	1	49
3	FD65-138	1	1	1	1	1	4	1	91
3	FD65-139	1	10	5	1	1	2	4	76
3	FD65-140	2	1	1	1	1	1	1	93
4	FD65-322	17	55	1	5	17	1	2	2
4	FD65-323	48	5	2	38	3	2	1	1
4	FD65-324	15	16	12	35	6	3	1	12
4	FD65-325	83	14	1	1	1	1	1	1
4	FD65-326	23	21	1	5	3	33	1	13
4	FD65-327	6	62	2	11	1	2	4	12
4	FD65-328	92	3	1	1	1	1	1	1
5	FD65-601	9	71	9	5	1	2	3	1
5	FD65-602	78	16	2	1	1	1	1	1
5	FD65-603	80	16	1	1	1	1	1	1
5	FD65-604	25	46	1	1	1	1	23	1
5	FD65-605	1	1	1	1	1	93	1	3
5	FD65-606	31	29	13	8	1	1	17	1
6	FD65-261	2	4	90	1	1	1	1	1
6	FD65-262	1	1	91	2	1	2	1	1
6	FD65-263	1	1	95	1	2	1	1	0
6	FD65-264	5	2	86	1	1	1	4	1

N° carte	Etiquette du tube	Bastan amont	Bastan aval	Bolou	G. de Pau-Arrens	Larribet	Cauterets	Puntas	domestique
6	FD65-265	1	1	92	1	2	2	1	2
6	FD65-266	2	1	86	2	5	2	1	2
6	FD65-267	1	1	94	1	1	1	1	1
6	FD65-268	1	2	62	1	31	1	1	2
6	FD65-269	2	1	92	1	2	1	1	1
6	FD65-270	1	1	94	1	1	1	1	1
6	FD65-271	1	1	95	1	1	1	1	1
6	FD65-272	1	1	94	1	2	1	1	1
6	FD65-273	1	1	95	1	1	1	1	1
6	FD65-274	1	1	94	1	1	1	1	1
6	FD65-275	1	2	93	1	1	1	1	1
6	FD65-276	2	1	87	2	4	2	1	1
6	FD65-277	2	2	91	2	2	1	1	1
6	FD65-278	1	1	86	1	10	1	1	1
6	FD65-279	1	1	95	1	1	1	1	1
6	FD65-280	1	2	75	1	16	1	2	2
7	FD65-611	1	1	96	1	1	1	1	1
7	FD65-612	1	1	7	4	3	7	75	3
7	FD65-613	6	10	35	2	3	26	15	3
7	FD65-614	8	59	7	22	1	1	1	1
7	FD65-615	2	25	12	1	5	19	34	1
7	FD65-616	1	94	1	1	1	1	1	1
7	FD65-617	0	1	94	1	1	1	1	1
7	FD65-618	5	46	7	2	4	1	31	4
7	FD65-619	7	9	3	78	2	1	1	1
7	FD65-620	8	12	68	2	3	1	3	2
7	FD65-621	1	1	93	1	1	1	1	2
7	FD65-622	1	1	91	1	1	3	1	2
7	FD65-623	43	23	7	22	1	1	1	2
8	FD65-626	1	92	1	2	2	1	1	1
8	FD65-627	10	34	1	33	3	10	6	5
8	FD65-628	5	86	1	4	1	1	1	1
8	FD65-629	15	46	1	30	5	1	1	1
8	FD65-630	2	66	1	14	3	1	8	3
8	FD65-631	9	12	6	47	7	1	16	2
8	FD65-632	8	83	2	2	1	1	3	1
8	FD65-633	33	47	1	7	4	1	5	1
9	FD65-640	5	20	12	53	2	4	2	2
9	FD65-641	2	39	2	27	4	2	12	13
9	FD65-642	1	1	1	1	1	94	1	1
9	FD65-643	18	69	2	3	3	1	1	3
9	FD65-644	18	73	2	3	1	1	1	1
9	FD65-645	1	3	5	70	2	15	2	1
9	FD65-646	36	13	3	13	4	1	30	1
9	FD65-647	9	62	1	17	6	1	1	4
9	FD65-648	2	73	1	13	3	2	3	3
9	FD65-649	27	48	3	16	2	1	2	1
9	FD65-650	6	8	1	80	2	1	2	1
9	FD65-651	1	3	2	34	42	6	11	1
9	FD65-652	4	47	12	8	22	3	1	4
9	FD65-653	13	10	16	49	1	2	5	3
9	FD65-654	2	4	63	27	2	1	1	2
9	FD65-655	2	91	1	1	2	1	1	2
9	FD65-656	3	90	1	1	2	1	1	3
9	FD65-657	41	41	6	6	3	1	2	2
9	FD65-658	10	63	1	6	1	6	10	3
9	FD65-659	2	1	1	2	2	79	12	1

Annexe 4: Composition génétique de chaque truite du Bastan analysée.