ESPACE Arve & Rhône

Echelles
Spatiales fonctionnelles des
Processus
Associés à la
Continuité
Ecologique

FEDERATION DE PECHE 74

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Interreg
FRANCE-SUISSE

UNION EUROPÉENNE
Projet bénéficiaire
du Fonds européen
de développement régional

Programme INTERREG IV A France – Suisse
Juin 2013 – Juin 2015

Colloque de Restitution
- 17 juin 2015 - Bonneville (FR)

SIG · REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE · Société des Forces Motrices de Chancy-Pougny SFMCP · agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE établissement public de l'État · EDF · SAGE ARVE · ARVE · ONEMA Office national de l'eau et des milieux aquatiques · FÉDÉRATION NATIONALE PÊCHE

ESPACE Arve & Rhône

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Fonctionnement des populations de Chabot (*Cottus gobio*)

Diversité et structuration génétique

Lizée M-H. [(a)] , *Huchet Ph.* [(a)] , *Chasserieau C.* [(a)] ,
Grenier R. [(b)] , *Meglecz E.* [(b)] ,*Chappaz R.* [(b)] , *Dubut V.* [(b)]

(a) **FDPPMA74 -** (b) imbe

FEDERATION DE PECHE 74

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

UNION EUROPÉENNE
Projet bénéficiaire du Fonds européen de développement régional

SIG · REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE · Société des Forces Motrices de Chancy-Pougny SFMCP · agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE établissement public de l'État · EDF · SAGE ARVE · ARVE · ONEMA Office national de l'eau et des milieux aquatiques · FÉDÉRATION NATIONALE PÊCHE

Cottus gobio : le chabot comme espèce-cible

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Chabot :

Espèce classée « Vulnérable » au niveau européen **IUCN**

- 10 à 15 cm à l'âge adulte
- mœurs plutôt nocturnes
- reproduction : février - mai
- comportement territorial

- eaux fraiches et bien oxygénées
- benthique / substrat dur et grossier
- mosaïque d'habitats
- absence de vessie natatoire
- mauvais nageur

Sensibilité aux problèmes de connectivité

Cottus gobio : le chabot comme espèce-cible

Le chabot est l'une des **5 espèces-cibles** visées par les 2 premiers modules du projet ESPACE concernant le **diagnostic de la fonctionnalité biologique**

- Chabot
- Ombre commun
- Truite de rivière
- Barbeau fluviatile
- Chevaine

M1 Échelle de fonctionnement des populations	M2 Capacité et efficacité de franchissement d'ouvrages
- Identifier les différents habitats utilisés - Évaluer le domaine vital - Modéliser l'organisation des populations	- Mesures in-situ d'efficacité de franchissement - Modélisation par espèce
Diagnostic de la fonctionnalité biologique	

Intérêt écologique du Chabot :

- benthique
- sténoèce
- sédentaire
- espèce non manipulée

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Cottus gobio : le chabot comme espèce-cible

Dispersion

Méthodes directes :

Suivis individuels de mouvements
- radio-télémétrie ;
- CMR…

- % d'individus dispersants
- Distances parcourues

Méthodes indirectes :

Analyse des flux de gènes à l'aide d'outils moléculaires

- Image décalée dans le temps des événements de reproduction passés

Dispersion =
mouvement individuel pouvant induire des **flux de gènes** entre populations

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Cottus gobio : le chabot comme espèce-cible

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Faibles capacités de dispersion à l'état adulte :

Approche moléculaire:

→ Hypoth. de départ :
La réponse des individus au **degré de connectivité** se traduit au niveau populationnel en termes de **diversité et structure génétique**

hepia Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Protocole d'échantillonnage
&
Analyses génétiques

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg
FRANCE-SUISSE

Echantillonnage

45 stations échantillonnées

Au total : 1690 Chabots

Versoix
Allondon
Menoge
F. de Reignier
Borne
F. de Scionzier
Giffre
Bialle

Echantillonnage réalisé

- 30 à 50
- 20 à 30
- 6 à 14

0 5 10 20 Kilomètres

Echantillonnage

Chabot

Biométrie

Prélèvement génétique

45 stations échantillonnées

Analyses génétiques réalisées en collaboration avec le laboratoire de Marseille.

35 indiv. / stations

chacun caractérisé par
25 marqueurs microsatellites

Au total : 1340 individus génotypés

Marqueurs microsatellites

Microsatellites :

= Répétition d'un motif nucléotidique de base (ici, motif = 3 pb)

Polymorphisme = variation du nombre de répétitions (ici, 5 allèles de 6 à 14 repet.)

→ Flux de gènes entre populations peu divergentes (Suk & Neff, 2009)

→ Analyse fine de la structure des populations (Allen et al, 2005)

Mise au point de 2 kits multiplex

42 marqueurs ont été sélectionnés à partir de la littérature :
- Englbretch et al. 1999
- Nolte et al. 2005
- Fujishin et al. 2009

Certaines amorces ont été **re-designées** afin d'obtenir des tailles de fragments satisfaisantes (16 amorces sur 42). ★

Vincent Dubut
Emese Meglecz
Rémi Grenier

Amplification de 25 marqueurs par individu :

Kit Cg1 – 12 marqueurs

Kit Cg2 – 13 marqueurs

★ = amorces « re-designées »

Mise au point de 2 kits multiplex

42 marqueurs ont été sélectionnés à partir de la littérature :
- Englbretch et al. 1999
- Nolte et al. 2005
- Fujishin et al. 2009

Certaines amorces ont été **re-designées** afin d'obtenir des tailles de fragments satisfaisantes (16 amorces sur 42). ★

Vincent Dubut
Emese Meglecz
Rémi Grenier

Amplification de 25 marqueurs par individu :

Kit Cg1 – 12 marqueurs

Kit Cg2 – 13 marqueurs

Après génotypage, 23 marqueurs conservés sur 25

★ = amorces « re-designées »

Analyses des fréquences alléliques

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Exemple sur 1 marqueur et 2 individus :

Génotypage :

Analyses des fréquences alléliques

Exemple sur 1 marqueur et 2 individus :

Individu 1 :
Allèles identiques sur les 2 chromosomes
=
Individu homozygote

Analyses des fréquences alléliques

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Exemple sur 1 marqueur et 2 individus :

Individu 1 :
Allèles identiques sur les 2 chromosomes
=
Individu homozygote

Individu 2 :
Allèles différents sur les 2 chromosomes
=
Individu hétérozygote

Analyses des fréquences alléliques

Exemple sur 1 marqueur et 2 individus :

Individu 1 :
Allèles identiques sur les 2 chromosomes
=
Individu homozygote

Individu 2 :
Allèles différents sur les 2 chromosomes
=
Individu hétérozygote

Caractériser chaque station en fonction des **fréquences alléliques** qu'on y a observées

Démarche

Patrons de distribution des fréquences alléliques

Comment **la dispersion** (ou inversement la présence de barrières), a-t-elle pu façonner l'arrangement spatial de la **diversité génétique** ?

1. Estimer la diversité génétique des stations échantillonnées

Statistiques descriptives
Fstat

2. Assigner les individus échantillonnés à des « unités fonctionnelles » ; Quantifier les flux de gènes.

Statistiques bayésiennes
Structure
Bayesass

→ Mettre en évidence des unités de base pour la gestion

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg
FRANCE-SUISSE

1. Patrons généraux d'organisation à l'échelle des 45 stations

Statistiques descriptives :
Diversité
&
Différenciation

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg
FRANCE-SUISSE

Richesse allélique / Diversité génétique

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

23 marqueurs microsatellites considérés

1340 individus

Richesse standardisée pour 24 individus par station

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Richesse allélique / Diversité génétique

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

23 marqueurs microsatellites considérés

1340 individus

Richesse standardisée pour 24 individus par station

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Richesse allélique / Diversité génétique

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

23 marqueurs microsatellites considérés

1340 individus

Richesse standardisée pour 24 individus par station

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Fst : Différenciation des stations

Isolement par la distance :

Différenciation très forte des stations

Fst moyen = 0.26

Fst : **de 0 et 0.05** : différenciation faible
0.05 à 0.15 : différenciation modérée
0.15 à 0.25 : différenciation importante
> à 0.25 : différenciation très importante

Fst : Différenciation des stations

Isolement par la distance :

Différenciation très forte des stations

Fst moyen = 0.26

Fst : **de 0 et 0.05** : différenciation faible
0.05 à 0.15 : différenciation modérée
0.15 à 0.25 : différenciation importante
> à 0.25 : différenciation très importante

Effet significatif de la distance sur la différenciation

Fst : Différenciation des stations

Isolement par la distance :

La forme du nuage de points nous renseigne sur l'influence relative des **flux de gènes** vs **dérive**

(Hutchinson & Templeton, 1999)

Fst : **de 0 et 0.05** : différenciation faible
0.05 à 0.15 : différenciation modérée
0.15 à 0.25 : différenciation importante
> à 0.25 : différenciation très importante

Effet significatif de la distance sur la différenciation

Fst : Différenciation des stations

Isolement par la distance :

La forme du nuage de points nous renseigne sur l'influence relative des **flux de gènes** vs **dérive**

Fst : **de 0 et 0.05** : différenciation faible
0.05 à 0.15 : différenciation modérée
0.15 à 0.25 : différenciation importante
> à 0.25 : différenciation très importante

Flux de gènes prépondérants

Dérive prépondérante

Fst : Différenciation des stations

Isolement par la distance :

Fst : **de 0 et 0.05** : différenciation faible
0.05 à 0.15 : différenciation modérée
0.15 à 0.25 : différenciation importante
> à 0.25 : différenciation très importante

Flux de gènes prépondérants

Dérive prépondérante

Fst : Différenciation des stations

Isolement par la distance :

Fst : **de 0 et 0.05** : différenciation faible
0.05 à 0.15 : différenciation modérée
0.15 à 0.25 : différenciation importante
> à 0.25 : différenciation très importante

Flux de gènes prépondérants

Dérive prépondérante

Distance hydro. vs ouvrages

Influence relative de la distance et des ouvrages sur la différenciation:

Tests de Mantel partiels :

- Influence des distances hydrologiques
  [en contrôlant l'effet des ouvrages]

  Mantel partial r = 0.35 **

- Influence du nombre d'ouvrages
  [en contrôlant l'effet de la distance hydro.]

  Mantel partial r = -0.03 *non significatif*

Distance hydro. vs ouvrages

Influence relative de la distance et des ouvrages sur la différenciation:

Tests de Mantel partiels :

- Influence des distances hydrologiques
  [en contrôlant l'effet des ouvrages]

  Mantel partial r = 0.35 **

- Influence du nombre d'ouvrages
  [en contrôlant l'effet de la distance hydro.]

  Mantel partial r = -0.03 *non significatif*

Structuration liée à la biogéographie

Statistiques descriptives

- **Identification de zones sensibles :**

→ faible diversité génétique

~ diminution du potentiel adaptatif qui peut mettre en jeu à court terme leur viabilité.

Menoge / Amont du f. de Reignier / Amont du Giffre / Amont du f. de Scionzier / R. des Bordes

- **Différenciation forte entre stations :**

Variation des **F st** avec la distance hydrologique :

→ patron qui traduit une influence relative variable des **flux de gènes vs dérive génétique** selon l'échelle d'observation

- **Impact des ouvrages sur la différenciation :**

Les ouvrages ont une influence significative sur la différenciation

→ mais, **effet confondu avec celui de la distance** pour cette espèce peu mobile

2. Structuration génétique
&
Flux de gènes

Regrouper les individus échantillonnés sur la base de leur génotype
= « Assignation »
&
Quantifier les échanges génétiques
à partir des taux de migration

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg
FRANCE-SUISSE

Structure génétique

Forte structuration génétique

<u>10 clusters génétiques</u> bien différenciés

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Structure génétique

Forte structuration génétique

<u>10 clusters génétiques</u> bien différenciés

Différenciation propre à chaque affluent

Structuration liée à la biogéographie

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Structure génétique

F. de fillinges

Translocation ?

Rupture dans la connectivité = effet de barrière

Structure génétique

Ruptures dans la connectivité :

- Arve amont
- Giffre amont / Giffre aval
- F. de Reignier amont / aval
- Menoge

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Structure génétique

Ruptures dans la connectivité :

- Arve amont
- Giffre amont / Giffre aval
- F. de Reignier amont / aval
- Menoge

K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10

0 5 10 20 Kilomètres

Echelle de fonctionnement de l'ordre de l'affluent, voire du tronçon

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Exemples de déplacements

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Ruptures dans la connectivité :

- Arve amont
- Giffre amont / Giffre aval
- F. de Reignier amont / aval
- Menoge

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Déplacements « naturels »

Exemple 1 : *Déplacements « naturels »*

Taux de migration entre le Risse et le Giffre aval

Déplacements « naturels »

Exemple 1 : *Déplacements « naturels »*

Taux de migration entre le Risse et le Giffre aval

Déplacements « naturels »

Exemple 1 : *Déplacements « naturels »*

Tendance naturelle à la dévalaison

Les chabots de la station 54 alimentent les stations 25 et 53 situées en aval.

Déplacements « naturels »

Exemple 1 : *Déplacements « naturels »*

Tendance naturelle à la dévalaison

Les chabots de la station 54 alimentent les stations 25 et 53 situées en aval.

Alors que les échanges en sens inverse représentent moins de 1% des individus par génération !

Rupture dans la connectivité liée à la présence d'obstacles

Exemple 2 : *Rupture dans la connectivité*

Taux de migration entre le Giffre amont et le Giffre aval

Rupture dans la connectivité liée à la présence d'obstacles

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Exemple 2 : *Rupture dans la connectivité*

Taux de migration entre le Giffre amont et le Giffre aval

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Rupture dans la connectivité liée à la présence d'obstacles

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique
ARVE & RHONE

Exemple 2 : *Rupture dans la connectivité*

Taux de migration entre le Giffre amont et le Giffre aval

Barrage de Mieussy

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Rupture dans la connectivité liée à la présence d'obstacles

Echelles Spatiales fonctionnelles des Processus Associés à la Continuité Ecologique

ARVE & RHONE

Exemple 2 :

Taux de migration entre le Giffre amont et le Giffre aval

Barrage de Mieussy

h e p i a
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Rupture dans la connectivité liée à la présence d'obstacles

Exemple 2 : *Rupture dans la connectivité*

Taux de migration entre le Giffre amont et le Giffre aval

Le barrage entrave les mouvements naturels vers l'aval

Et bloque complètement la montaison

Barrage de Mieussy

Détection de zones « sources »

Exemple 3 : *Détection de zones « sources »*

Cas particulier du foron de Taninges

Détection de zones « sources »

Exemple 3 : *Détection de zones « sources »*

Cas particulier du foron de Taninges

migrants qui dévalent (vu précédemment)

Détection de zones « sources »

Exemple 3 : *Détection de zones « sources »*

Cas particulier du foron de Taninges

migrants qui dévalent (vu précédemment)

Mais, aussi de nombreux migrants qui remontent le Giffre pour alimenter les stations situées en amont

Détection de zones « sources »

Exemple 3 : *Détection de zones « sources »*

Cas particulier du foron de Taninges

migrants qui dévalent (vu précédemment)

Mais, aussi de nombreux migrants qui remontent le Giffre pour alimenter les stations situées en amont

Y aurait-t-il un lien avec le glissement de terrain de 2003 ?

Détection de zones peu fonctionnelles

Exemple 4 : *Détection de zones pas ou peu fonctionnelles*

Cas particulier des stations 10 et 9

Détection de zones peu fonctionnelles

Exemple 4 : *Détection de zones pas ou peu fonctionnelles*

Cas particulier des stations 10 et 9

Très peu d'individus représentant un mélange entre clusters génétiques au niveau de ces stations

St. 9 (5 indiv)

St. 10 (3 indiv)

1 barre verticale = 1 individu

Détection de zones peu fonctionnelles

Exemple 4 : *Détection de zones pas ou peu fonctionnelles*

Cas particulier des stations 10 et 9

Très peu d'individus représentant un mélange entre clusters génétiques au niveau de ces stations

St. 9 (5 indiv)

St. 10 (3 indiv)

Détection de zones peu fonctionnelles

Exemple 4 : *Détection de zones pas ou peu fonctionnelles*

Aval du foron de Reignier
St. 44

Peu de reproduction au niveau de ces stations (10 & 9)
= **Peu de dispersion efficace**

Cas particulier des stations 10 et 9

Très peu d'individus représentant un mélange entre clusters génétiques au niveau de ces stations

St. 9 (5 indiv)

St. 10 (3 indiv)

Détection de zones peu fonctionnelles

Exemple 4 :

La station 10 compte plus d'individus assignés au « cluster bleu » (Giffre amont)
que la station 9, pourtant située plus près de la confluence…

Cas particulier des stations 10 et 9

Très peu d'individus représentant un mélange entre clusters génétiques au niveau de ces stations

St. 9 **St. 10**

Détection de zones peu fonctionnelles

Exemple 4 :

La station 10 compte plus d'individus assignés au « cluster bleu » (Giffre amont)
que la station 9, pourtant située plus près de la confluence…

Dispersion par le canal EDF (?)

Cas particulier des stations 10 et 9

Très peu d'individus représentant un mélange entre clusters génétiques au niveau de ces stations

St. 9 **St. 10**

Conclusion

- **Echelle de fonctionnement**
  → de l'ordre de l'affluent, voire du tronçon dans certains cas !

- **Mise en évidence d'unités fonctionnelles :**
  10 clusters génétiques répartis en 12 unités fonctionnelles pour le bassin de l'Arve

- **Asymétrie de flux au bénéfice de l'aval** = tendance naturelle chez le chabot

- **Détection de zones « sources » :**
  - Au niveau de l'Arve : - Risse et Giffre aval (cluster orange)
    - Borne (cluster bleu ciel)
  - Au niveau du Giffre amont et de la Menoge :
    → en lien avec perturbations récentes (processus de recolonisation)

- **Détection de zones « pas ou peu fonctionnelles »**

- **Détection d'une potentielle translocation….** (fillinges / versoix)

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg FRANCE-SUISSE

Merci de votre attention

14 unités fonctionnelles

Répartition des stations échantillonnées en 14 unités de bases :
en fonction de leur assignation à un cluster génétique majoritaire

Bialle + Arve amont	st. 61-62-17-18-21-15-14	groupe 1
F. du reposoir	st. 32-19	groupe 2
Giffre amont	st. 58-35-33-57-55-56-31	groupe 3
Giffre aval	st. 54-53-25	groupe 4
Borne	st. 60-30-49-20	groupe 5
F. de Reignier amont	st. 59-29	groupe 6
F. de Reignier aval	st. 22-44	groupe 7
Ménoge	st. 52-51-28-48-24	groupe 8
Arve médian	st. 10-09	groupe 9
Arve aval	st. 27-26-08-06-05-02	groupe 10
Ruiss. Des bordes	st. 23	groupe 11
F. de fillinges	st. 50	groupe 12
Versoix	st. 471-472	groupe 13
Allondon	st. 380	groupe 14

14 unités fonctionnelles

Rupture dans la connectivité = effet de barrière

- **Pairwise Fst en considérant 14 « unités fonctionnelles » :**

		Gp1	Gp2	Gp3	Gp4	Gp5	Gp6	Gp7	Gp8	Gp9	Gp10	Gp11	Gp12	Gp13	Gp14
Bialle	gp01	0,00	0,19	0,14	0,11	0,10	0,26	0,11	0,30	0,08	0,07	0,21	0,30	0,18	0,22
Scionzier	gp02	0,19	0,00	0,31	0,28	0,21	0,45	0,28	0,52	0,05	0,20	0,43	0,51	0,32	0,37
Giffre amont	gp03	0,14	0,31	0,00	0,13	0,21	0,39	0,24	0,40	0,16	0,11	0,30	0,42	0,32	0,35
Giffre aval	gp04	0,11	0,28	0,13	0,00	0,17	0,35	0,18	0,42	0,14	0,02	0,23	0,38	0,23	0,31
Borne	gp05	0,10	0,21	0,21	0,17	0,00	0,28	0,14	0,33	0,13	0,10	0,27	0,31	0,20	0,19
Reignier amont	gp06	0,26	0,45	0,39	0,35	0,28	0,00	0,12	0,44	0,34	0,28	0,37	0,46	0,32	0,44
Reignier aval	gp07	0,11	0,28	0,24	0,18	0,14	0,12	0,00	0,31	0,16	0,12	0,20	0,30	0,17	0,28
Menoge	gp08	0,30	0,52	0,40	0,42	0,33	0,44	0,31	0,00	0,41	0,33	0,49	0,42	0,38	0,48
Arve milieu	gp09	0,08	**0,05**	0,16	0,14	0,13	0,34	0,16	0,41	0,00	0,08	0,28	0,38	0,22	0,27
Arve aval	gp10	0,07	0,20	0,11	**0,02**	0,10	0,28	0,12	0,33	0,08	0,00	0,19	0,31	0,18	0,24
R. des Bordes	gp11	0,21	0,43	0,30	0,23	0,27	0,37	0,20	0,49	0,28	0,19	0,00	0,46	0,24	0,39
Fillinges	gp12	0,30	0,51	0,42	0,38	0,31	0,46	0,30	0,42	0,38	0,31	0,46	0,00	0,27	0,41
Versoix	gp13	0,18	0,32	0,32	0,23	0,20	0,32	0,17	0,38	0,22	0,18	0,24	0,27	0,00	0,27
Allondon	gp14	0,22	0,37	0,35	0,31	0,19	0,44	0,28	0,48	0,27	0,24	0,39	0,41	0,27	0,00

- **Taux de migration entre ces 14 « unités fonctionnelles »** :

comme attendu, les unités échangeant le plus de migrants sont celles qui se ressemblent le plus (cf. Fst).

Lecture : % d'individus de la « pop » en ligne qui sont issus de la « pop » en colonne par génération.

Les chiffres en gris (comparaison d'une unité avec elle-même) = % d'individus « sédentaires » par génération.

		gp01	gp02	gp03	gp04	gp05	gp06	gp07	gp08	gp09	gp10	gp11	gp12	gp13	gp14
Bialle	gp01	97,69	0,15	0,24	0,24	0,17	0,16	0,16	0,16	0,14	0,19	0,21	0,17	0,18	0,14
Scionzier	gp02	0,78	93,76	0,85	0,40	0,43	0,42	0,44	0,41	0,44	0,40	0,44	0,38	0,46	0,38
Giffre amont	gp03	0,17	0,14	97,95	0,15	0,14	0,19	0,16	0,17	0,13	0,16	0,15	0,14	0,16	0,18
Giffre aval	gp04	0,36	0,93	3,59	91,96	0,29	0,29	0,33	0,29	0,27	0,42	0,35	0,29	0,31	0,32
Borne	gp05	0,26	0,26	0,29	0,26	96,60	0,22	0,30	0,23	0,23	0,43	0,25	0,22	0,26	0,18
Reignier amont	gp06	0,42	0,41	0,37	0,40	0,40	94,67	0,43	0,41	0,43	0,42	0,39	0,40	0,41	0,44
Reignier aval	gp07	0,72	0,52	0,52	1,14	0,99	8,90	81,40	0,52	0,59	2,43	0,75	0,49	0,53	0,50
Menoge	gp08	0,19	0,20	0,19	0,21	0,16	0,18	0,19	97,61	0,16	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19
Arve milieu	gp09	5,51	15,53	3,70	3,31	0,45	0,44	0,46	0,44	67,15	1,23	0,44	0,45	0,44	0,45
Arve aval	gp10	0,24	0,40	0,33	12,58	2,30	0,35	0,54	0,20	0,22	81,98	0,28	0,18	0,22	0,18
R. des Bordes	gp11	0,75	0,80	0,74	0,75	0,77	0,75	0,76	0,72	0,72	0,74	90,36	0,76	0,67	0,71
Fillinges	gp12	0,71	0,66	0,72	0,70	0,70	0,69	0,70	0,72	0,70	0,73	0,72	90,83	0,70	0,73
Versoix	gp13	0,43	0,42	0,41	0,37	0,43	0,38	0,41	0,39	0,43	0,40	0,40	0,40	94,72	0,41
Allondon	gp14	0,75	0,80	0,79	0,82	0,83	0,81	0,85	0,75	0,78	0,89	0,79	0,86	0,78	89,50

- **<u>Statistiques descriptives pour les 14 unités fonctionnelles :</u>**

		N	Ar	Ho	He	Fis	Ne_IAM	Ne_SMM	Ne_LD [0,01]	Ne_LD [0,02]
Bialle	gp01	194	4,26	0,50	0,53	0,05	563,83	881,73	80,3	65,3
Scionzier	gp02	67	2,88	0,35	0,34	-0,04	257,58	323,92	188,1	237,6
Giffre amont	gp03	196	2,56	0,34	0,38	0,12	306,45	400,36	37,6	32
Giffre aval	gp04	95	3,75	0,43	0,44	0,02	392,86	547,19	375,3	1089,2
Borne	gp05	131	4,29	0,51	0,52	0,02	541,67	835,07	114,3	93,4
Reignier amont	gp06	67	1,98	0,26	0,29	0,10	204,23	245,93	23,2	23,2
Reignier aval	gp07	49	3,81	0,46	0,44	-0,03	392,86	547,19	143,4	159,2
Menoge	gp08	167	2,16	0,22	0,23	0,04	149,35	171,66	121,2	149,2
Arve milieu	gp09	61	4,06	0,37	0,47	0,21	443,40	640,00	10,1	8,1
Arve aval	gp10	152	5,02	0,48	0,51	0,06	520,41	791,23	129	131,2
R. des Bordes	gp11	31	2,19	0,33	0,33	0,00	246,27	306,92	21,6	20,9
Fillinges	gp12	33	1,74	0,28	0,25	-0,13	166,67	194,44	318,6	57,3
Versoix	gp13	69	4,31	0,49	0,50	0,03	500,00	750,00	1001,7	383,4
Allondon	gp14	28	2,99	0,42	0,42	-0,01	362,07	493,16	14,4	37,7

N : effectif du groupe (nb chabots)
Ar : Richesse allélique standardisée pour n=28 (effectif le plus petit)
Ho : Hétérozygotie observée
He : Hétérozygotie attendue
Fis : Coefficient de consanguinité
Ne IAM : effectif efficace selon Knaepkens et al (2008) – « Infinite allele model »
Ne SMM : effectif efficace selon Knaepkens et al (2008) – « Stepwise mutation model »
Ne LD [0.01] : effectif efficace calculé avec « Ne estimator » selon la méthode du déséquilibre de liaison
Ne LD [0.02] : : effectif efficace calculé avec « Ne estimator » selon la méthode du déséquilibre de liaison

(dans la mesure [0.01], on prend tous les allèles qui ont une fréquence sup à 1 %, pour la mesure [0.02], on s'intéresse à ceux dont la fréquence est sup à 2%)

h e p i a
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Interreg
FRANCE-SUISSE