

Évaluation du comportement de la renouée du Japon (*Fallopia* spp.) avec l'ACP

Amat, I., Cantarel, A., Comte, G. Dufour, A.B.,
Lobry, J.R., Meiffen, G., Piola, F., Vial, L.

Analyse d'un tableau de 24 individus, des ramets de *Fallopia* spp., caractérisés par 13 variables quantitatives et trois variables qualitatives illustratives.

Table des matières

1	Les données	1
1.1	<i>Fallopia</i> spp.	1
1.2	Les taches de <i>Fallopia</i> spp.	5
1.3	Importation des données	5
1.4	Description des variables	5
1.4.1	Traits clonaux et morphologiques	5
1.4.2	Procyanidines	7
1.4.3	Paramètres physico-chimiques du sol adhérent aux racines	8
1.4.4	Modulation de la [dé]nitrification	9
1.4.5	Variables illustratives	10
2	Analyse en composantes principales	11
2.1	Calculs	11
2.2	Le premier facteur	11
2.3	Le deuxième facteur	14
	Références	15

1 Les données

1.1 *Fallopia* spp.

D'APRÈS Wikipédia consultée le 2019-07-22 18:40 : « *Fallopia* est un genre regroupant une quinzaine d'espèces de plantes de la famille des *Polygonaceae*. Ce sont des plantes grimpantes, herbacées, semi-ligneuses ou ligneuses. Les



FIGURE 1 – La tache A.

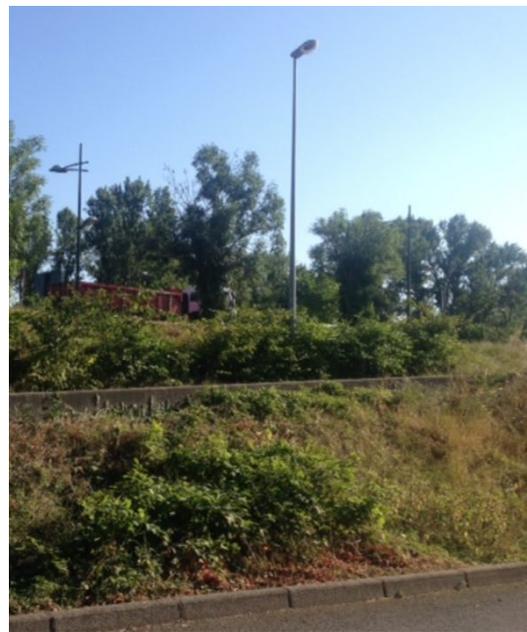


FIGURE 2 – La tache B à gauche et les taches C et D à droite. Les deux taches C et D sont en arrière plan, autour du poteau (une à gauche et une à droite).



FIGURE 3 – Géolocalisation des 4 taches étudiées (*viz.* A, B, C, D) sur le campus de la DOUA. Elles sont toutes localisées sur le boulevard Niels BOHR, en contrebas du boulevard Laurent BONNEVAY sis sur la digue de protection du campus. On distingue au Nord le parc naturel de la FEYSSINE et le RHÔNE.

noms des espèces de ce genre firent des allées et venues avec les genres *Reynoutria* ou encore *Polygonum*. Le nom de “Fallopia” vient de Gabriele FALLOPPPIO, ou FALLOPIUS, superintendant du jardin botanique de PADOUE. C’était aussi un anatomiste¹, parmi les fondateurs de l’anatomie moderne avec André VÉSALE et Bartolomeo EUSTACHI². »

1. Les trompes de FALLOPE, c’est de lui.
2. Les trompes d’EUSTACHE, c’est de lui.

Contexte général

L'INTRODUCTION de nouvelles espèces dans les écosystèmes et les scénarios écologiques qui en résultent constituent un modèle d'étude pertinent en écologie des mobilités, puisque certaines espèces introduites présentent malgré tout une croissance et des performances exceptionnelles dans leur nouveau milieu d'introduction permettant l'expansion géographique des populations envahissantes. L'étude de la dynamique de colonisation et de l'ensemble des caractéristiques menant aux performances écologiques et adaptatives offre la possibilité de comprendre les dynamiques de ces espèces envahissantes.

LES performances de ces végétaux reposent sur un ensemble de traits fonctionnels et de stratégies écologiques. Dans ce cadre, le modèle *Fallopia* spp. présente une stratégie d'acquisition des ressources novatrice, l'inhibition biologique de la dénitrification (BDI^a) [1]. Cette stratégie permet à la plante, au travers de la production de métabolites secondaires particuliers (*i.e.* procyanidines), d'entrer en compétition avec les bactéries dénitrifiantes du cycle de l'azote et de détourner à son profit le nitrate de cette voie bactérienne [1]. Dans une étude récente [2] visant à démontrer un retour à la plante du nitrate ainsi détourné, une surproduction de ces métabolites secondaires a été mimée en les ajoutant à des plantules en croissance. Les résultats montrent que les procyanidines, en provoquant une BDI, entraînent une augmentation du nitrate disponible dans le sol et une modification des traits racinaires chez *Fallopia* spp. avec une stimulation de la croissance du système racinaire, suggérant une capacité de colonisation du milieu accrue dans l'écosystème.

Fallopia spp. est une plante clonale constituée d'unités structurales répétées, les ramets^b, connectées ensemble par un système souterrain en réseau (rhizome). La multiplication végétative ou clonalité confère aux organismes végétaux une capacité de conquête rapide de l'espace et des ressources. Elle peut être définie comme « la capacité à se propager et à produire des descendants par voie végétative » [3]. La performance clonale, équivalente à la fitness pour les individus clonaux, peut être mesurée par des traits tels que la biomasse, la hauteur, le nombre de feuilles, le taux de croissance (RGR^c), le nombre de ramets, le taux de multiplication clonale (prenant en compte à la fois le nombre de ramets et des estimateurs de leur propre performance) ainsi que la surface couverte par l'individu [10]. De surcroît, la structure et la dynamique des parties aériennes est largement dépendante de l'architecture et des patrons de croissance de la partie souterraine [4]. Ces traits, particulièrement plastiques, sont à l'origine des stratégies de croissance et de l'architecture clonale, ils déterminent l'organisation spatiale de l'espèce et l'acquisition des ressources [8]. Chez les plantes clonales en réseau la plasticité phénotypique pourrait s'exprimer à l'échelle intra-individuelle [6]. Chaque ramet aurait alors la capacité de répondre de manière locale et semi-autonome aux micro-conditions environnementales qu'il rencontre. Une division du travail par une spécialisation morphologique ou physiologique des ramets peut être mis en place en réponse aux conditions environnementales [7, 12]. La structuration spatiale intraplante, déterminée par les stratégies de croissance des ramets et l'architecture clonale a donc des effets fondamentaux sur la colonisation et la prolifération de l'espèce dans l'écosystème [11]. La structuration spatiale des traits chimiques responsables du BDI combinée à celle des traits clonaux pourrait alors représenter un avantage certain pour l'acquisition des ressources azotées, et la dynamique d'invasion de *Fallopia* spp.

a. Acronyme de l'anglais *Biological Denitrification Inhibition*.

b. Un synonyme de ramet est « module ».

c. Acronyme de l'anglais *Relative Growth Rate*. Comme le soulignait déjà le botaniste LIORET en 1974 [9] la traduction en français d'icelui par « taux de croissance relatif » est un pléonisme puisqu'un taux est déjà relatif par définition.

1.2 Les taches de *Fallopia* spp.

Sur le site du campus de la DOUA, 4 taches (A, B, C et D) de *Fallopia* spp. ont été étudiées. La tache A est donnée dans la figure 1 page 2 et les trois restantes dans la figure 2 page 2. Pour chaque tache végétale, 6 ramets ont été prélevés en avril 2019, soit 3 sur le front de colonisation et 3 au centre de la tache. Les 4 taches sont inégalement réparties : A est un peu plus isolée géographiquement que les 3 autres (B, C, D) qui sont très proches (*cf.* figure 3 page 3).

1.3 Importation des données

Ce sont des données réelles issues d'une collaboration entre l'UMR 5023 LEHNA (Florence PIOLA) et l'UMR 5557 LEM (Amélie CANTAREL) et le CESN (LEM, Guillaume MEIFFREN et Gilles COMTE).

```
load(url("http://pbil.univ-lyon1.fr/R/donnees/tdr606.Rda"))
colnames(Fallopia)

[1] "Hauteur"           "NbFeuilles"      "AerienMF"         "AerienMS"
[5] "RacinaireMF"      "RacinaireMS"     "Procyanidines"   "pH"
[9] "NH4"              "NO3"             "DOC"              "Nitrification"
[13] "Denitrification" "Tache"           "INTEXT"           "Geo"
```

1.4 Description des variables

1.4.1 Traits clonaux et morphologiques

Hauteur : hauteur végétative exprimée en centimètres. C'est la hauteur de la plante prélevée du collet à la dernière feuille en croissance.

NbFeuilles : nombre de feuilles du ramet.

AerienMF : biomasse aérienne humide, en grammes.

AerienMS : biomasse aérienne sèche, en grammes.

RacinaireMF : biomasse racinaire humide, en grammes.

RacinaireMS : biomasse racinaire sèche, en grammes.

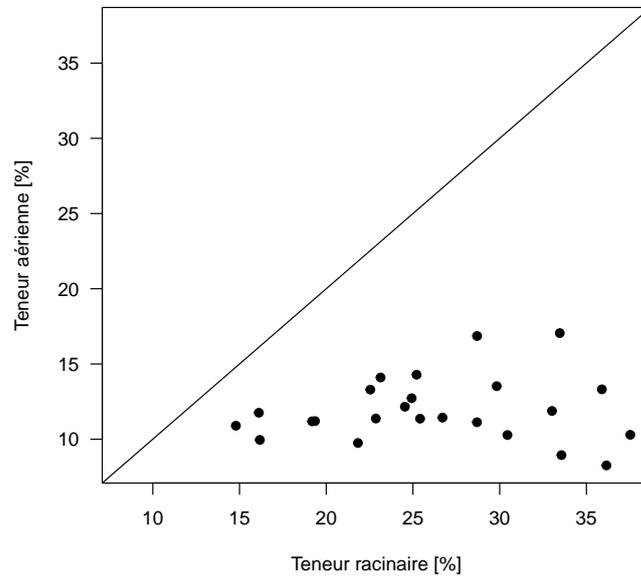
Tous ces traits sont des variables quantitatives continues à l'exception de l'un d'entre eux qui est une variable quantitative discrète. Lequel ?

Réponse :

Le code R suivant calcule la teneur en masse sèche aérienne et racinaire des ramets puis les compare graphiquement. Avez-vous besoin de faire un test statistique pour tester l'hypothèse selon laquelle la teneur en masse sèche des racines est supérieure à celle des parties aériennes ?

```
tA <- with(Fallopia, 100*AerienMS/AerienMF)
tR <- with(Fallopia, 100*RacinaireMS/RacinaireMF)
gmin <- min(tA, tR) ; gmax <- max(tA, tR)
plot(tR, tA, xlim = c(gmin, gmax), ylim = c(gmin, gmax), pch = 19, las = 1,
      main = "Comparaison des teneurs en masse sèche\nn = 24 ramets",
      xlab = "Teneur racinaire [%]", ylab = "Teneur aérienne [%]")
abline(c(0, 1))
```

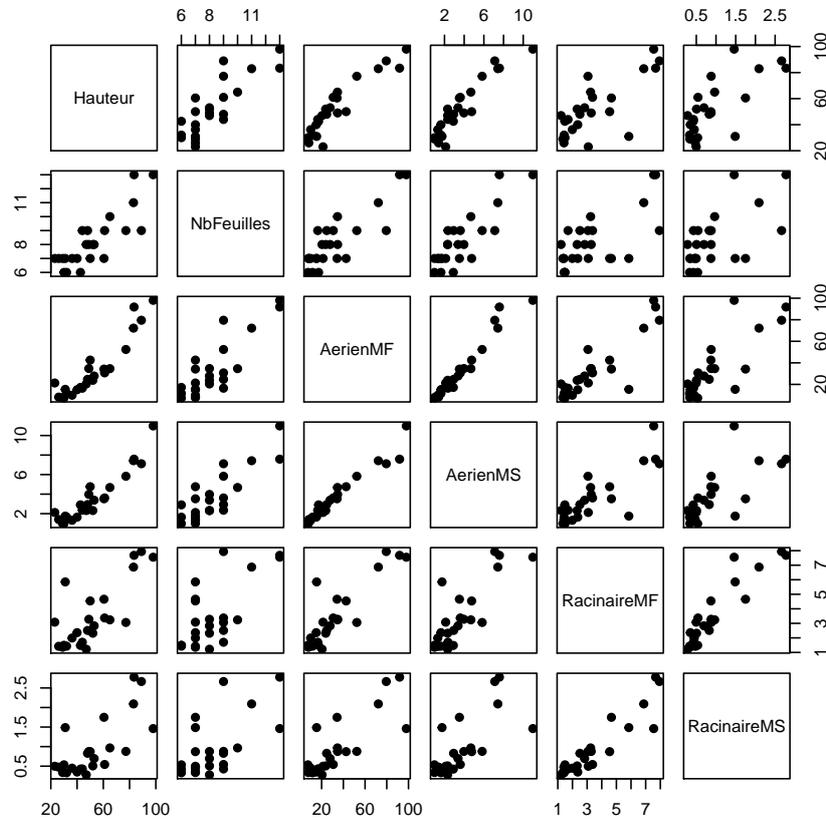
**Comparaison des teneurs en masse sèche
n = 24 ramets**



Réponse :

QUE pouvez-vous déduire de la représentation graphique suivante. Comment l'interprétez-vous d'un point de vue biologique ?

`pairs(Fallopia[, 1:6], pch = 19)`



Réponse :

1.4.2 Procyanidines

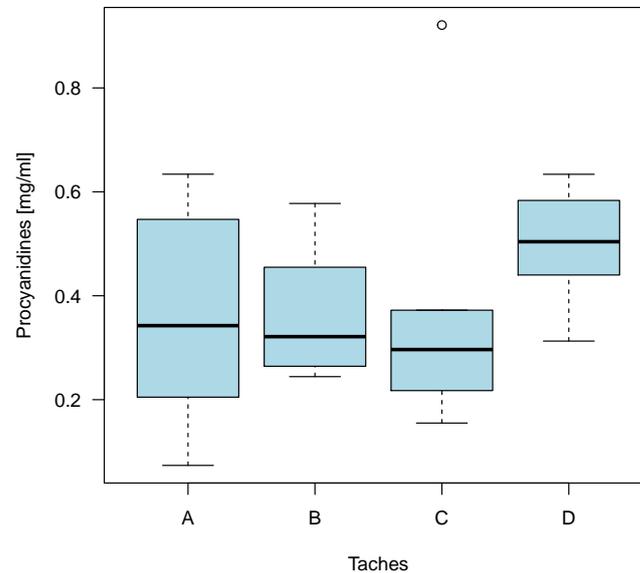
Procyanidines : expression des procyanidines (mg/ml) *via* l'analyse des métabolites secondaires présents dans les racines et le rhizome de chaque ramet.

Au vu des résultats ci-après, que pensez-vous de l'hypothèse selon laquelle il y aurait un effet des taches sur la teneur en procyanidines ?

```
anova(lm(Procyanidines-Tache, Fallopia))
Analysis of Variance Table
Response: Procyanidines
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tache  3  0.07765  0.025883  0.6828 0.5729
Residuals 20  0.75819  0.037909

boxplot(Procyanidines-Tache, Fallopia, col = "lightblue", las = 1,
        xlab = "Taches", ylab = "Procyanidines [mg/ml]",
        main = "Teneur en procyanidines des taches")
```

Teneur en procyanidines des taches



Réponse :

1.4.3 Paramètres physico-chimiques du sol adhérent aux racines

pH : le pH du sol (sans dimension).

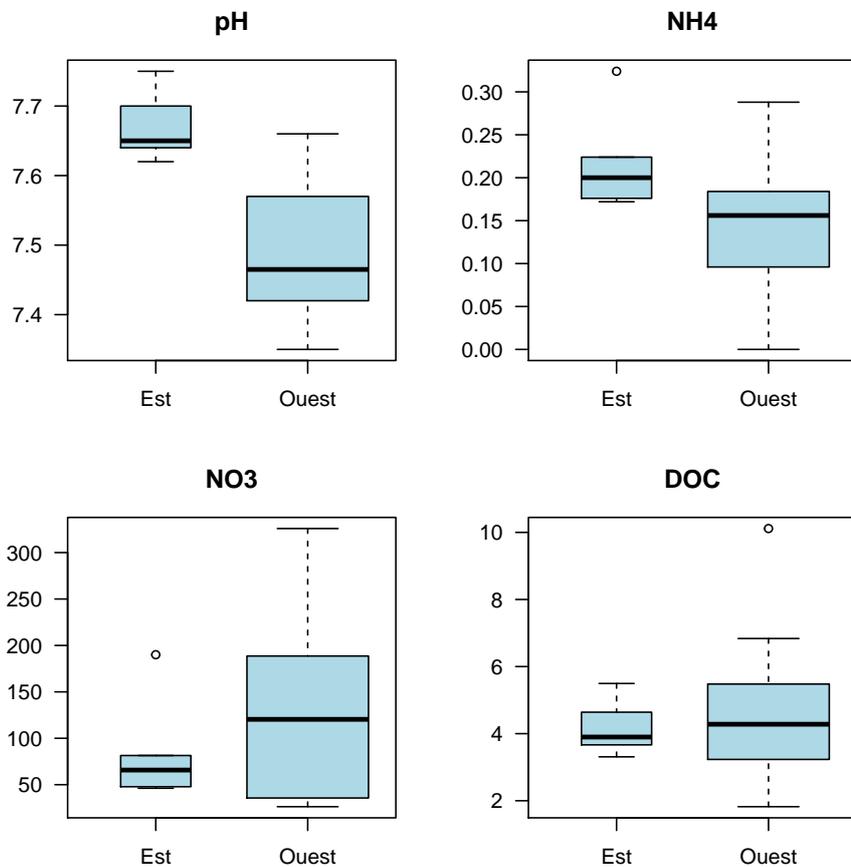
NH4 : teneur en ammonium du sol ($\mu\text{g N}-(\text{NH}_4^+)/\text{g sol sec}$).

NO3 : teneur en nitrate du sol ($\mu\text{g N}-(\text{NO}_3^-)/\text{g sol sec}$).

DOC : teneur en carbone organique dissous du sol, acronyme de *Dissolved Organic Carbon* (mg de carbone/l).

D'APRÈS la représentation graphique suivante, quel paramètre physico-chimique du sol pourrait être modulé par la géolocalisation des taches ?

```
par(mfrow = c(2, 2), mar = c(3, 3, 3, 2) + 0.1)
for(j in 8:11)
  boxplot(Fallopia[, j]-Fallopia$Geo, las = 1, main = names(Fallopia)[j],
          varwidth = TRUE, col = "lightblue")
```



Réponse :

1.4.4 Modulation de la [dé]nitrification

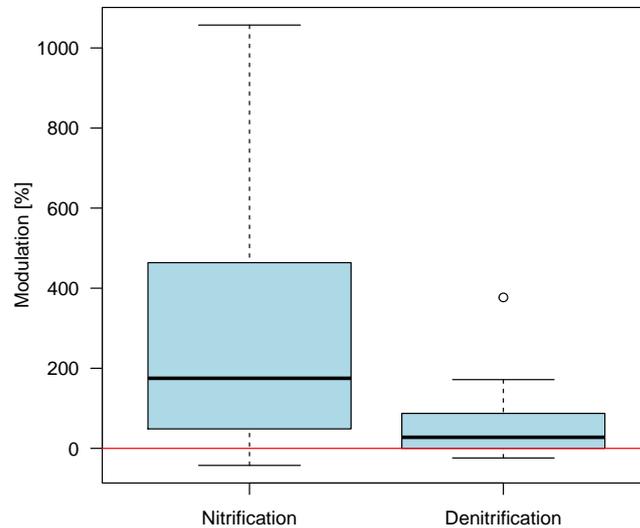
Nitrification : modulation de l'activité de nitrification (pourcentage).

Denitrification : modulation de l'activité de dénitrification (pourcentage).

POUR les activités microbiennes de nitrification et dénitrification, on compare ce qui se passe hors tache (sol sans la plante) de ce qui se passe à l'intérieur de chaque tache. On l'exprime en pourcentage de stimulation (ou d'inhibition) par la plante : si x est la valeur sous la plante et y la valeur hors plante, on calcule $100 \times \frac{x-y}{y}$.

D'APRÈS la représentation graphique suivante, les plantes ont-elles tendance à stimuler ou inhiber les activités microbiennes de nitrification et dénitrification ?

```
boxplot(Fallopia[ , 12:13], col = "lightblue", ylab = "Modulation [%]", las = 1)
abline(h = 0, col = "red")
```



Réponse :

1.4.5 Variables illustratives

LES variables illustratives ne seront pas utilisées directement dans l'analyse en composantes principales mais comme une aide à l'interprétation des résultats.

Tache : clef d'identification des taches (*viz.* A, B, C, D) dont la géolocalisation est donnée dans la figure 3 page 3.

INTEXT : position des ramets dans la tache avec EXT pour le front de colonisation et INT pour le centre de la tache.

Geo : géolocalisation Est ou Ouest des taches.

```
summary(Fallopia[ , 14:16])
```

```
Tache INTEXT      Geo
A:6   EXT:12     Est  : 6
B:6   INT:12     Ouest:18
C:6
D:6
```

POUR ces trois variables, précisez leur nature, le nombre de modalités et le caractère ordonné ou non de ces dernières.

Réponse :

2 Analyse en composantes principales

2.1 Calculs

```
library(ade4)
acp <- dudi.pca(Fallopia[ , 1:13], scannf = FALSE, nf = 2)
summary(acp)
Class: pca dudi
Call: dudi.pca(df = Fallopia[, 1:13], scannf = FALSE, nf = 2)
Total inertia: 13

Eigenvalues:
  Ax1   Ax2   Ax3   Ax4   Ax5
5.3991 2.3656 1.7688 0.9328 0.8484

Projected inertia (%):
  Ax1   Ax2   Ax3   Ax4   Ax5
41.532 18.197 13.606 7.175 6.527

Cumulative projected inertia (%):
  Ax1 Ax1:2 Ax1:3 Ax1:4 Ax1:5
41.53 59.73 73.33 80.51 87.04

(Only 5 dimensions (out of 13) are shown)
```

QUEL est le pourcentage de l'inertie totale prise en compte quand on décide de ne conserver que les deux premiers facteurs ?

Réponse :

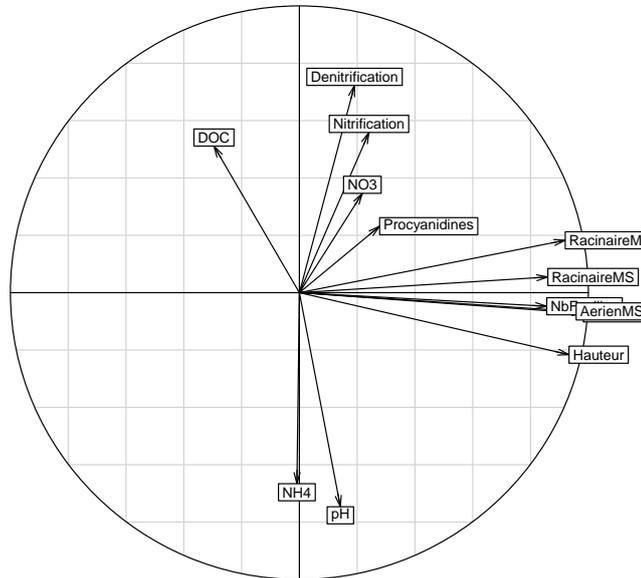
SACHANT que notre table contient 13 variables, combien de comparaisons aurait-il fallu réaliser si on avait voulu les comparer toutes deux à deux ?

Réponse :

2.2 Le premier facteur

ON s'intéresse dans un premier temps au premier axe du cercle des corrélations.

```
s.corcircle(acp$co, clab = 0.75)
```



EN vous aidant, si besoin est, de la figure de la section 1.4.1 page 5, expliquez pourquoi tous les vecteurs correspondant aux traits clonaux et morphologiques ont tous des coordonnées voisines de l'unité sur le premier facteur.

Réponse :

Proposez une interprétation biologique du premier facteur de l'ACP.

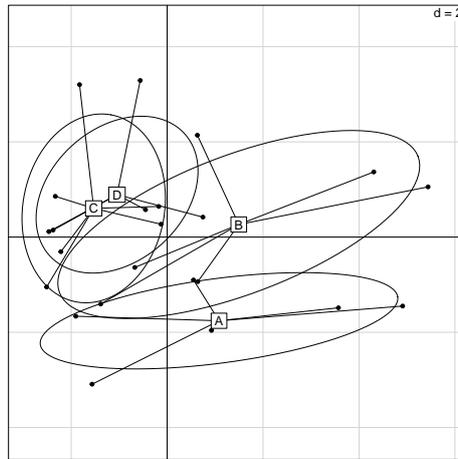
Réponse :

SACHANT que les ramets A et B sont plus grands que les C et D, préisez comment ils vont se positionner sur le premier facteur de l'ACP.

Réponse :

LE code R suivant produit le graphique donnant la position des ramets sur le premier plan factoriel en utilisant comme variable illustrative les taches. Cette représentation est-elle conforme à votre prédiction ?

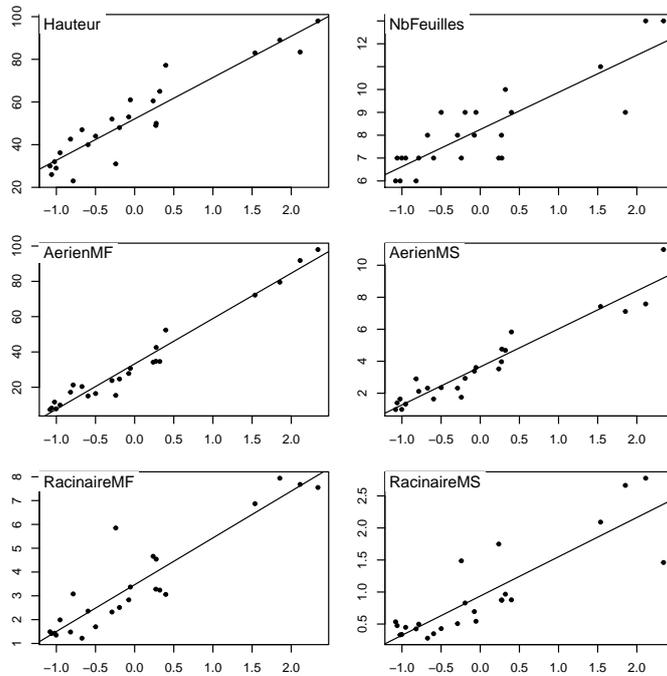
```
s.class(acp$li, Fallopia$Tache, axesell = FALSE)
```



Réponse :

La fonction `score()` du paquet `ade4` [5] donne une aide à l'interprétation en confrontant les coordonnées des individus sur un facteur avec les variables initiales. Si vous n'aviez à choisir qu'une seule des six variables représentées ci-après pour estimer la biomasse des individus, laquelle choisiriez-vous ?

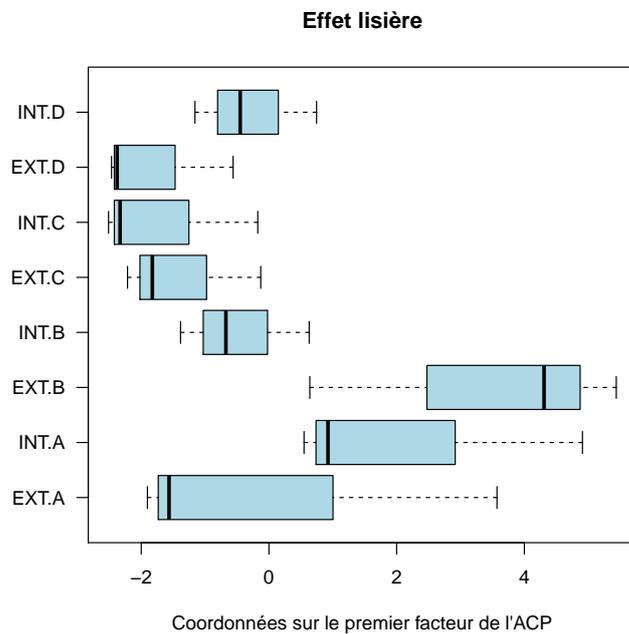
```
score(acp, which.var = 1:6)
acp$co[1:6, 1]
[1] 0.9331759 0.8559980 0.9826097 0.9578343 0.9200606 0.8599104
```



Réponse :

Au vu de la représentation graphique suivante, pensez-vous qu'il y ait un effet lisière, c'est-à-dire une croissance améliorée au front de colonisation (EXT meilleure que INT) ?

```
boxplot(acp$li[, 1]~Fallopia$INTEXT+Fallopia$Tache, horizontal = TRUE, las = 1,
        xlab = "Coordonnées sur le premier facteur de l'ACP", col = "lightblue",
        main = "Effet lisière")
```



Réponse :

2.3 Le deuxième facteur

SACHANT qu'un pH inférieur à 7 correspond à une solution acide et un pH supérieur à 7 à une solution basique, quelle interprétation pouvez-vous donner à la forte corrélation entre les variables pH et NH4 ?

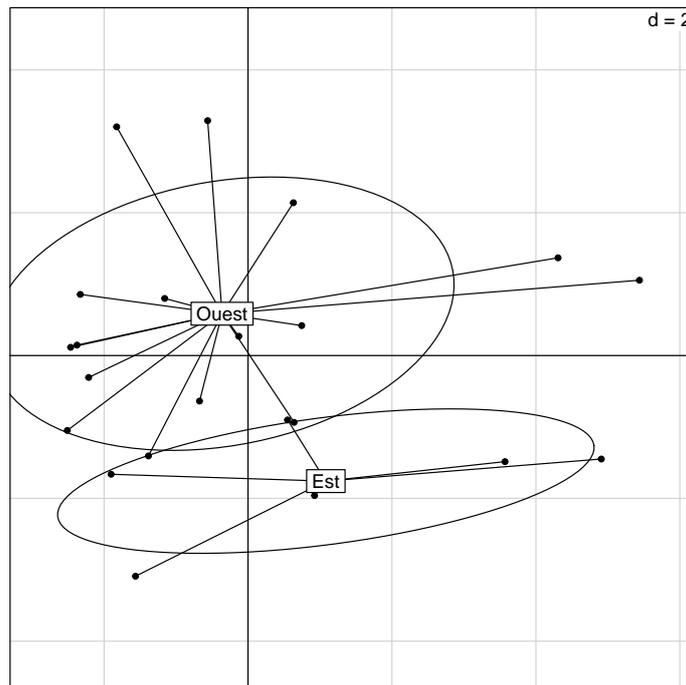
Réponse :

QUELLE interprétation biologique pourriez-vous proposer pour le deuxième facteur ?

Réponse :

Au vu de la représentation graphique suivante, donnez deux hypothèses biologique, non exclusives l'une de l'autre, pour expliquer la répartition des individus sur le deuxième facteur.

```
s.class(acp$li, Fallopia$Geo, axesell = FALSE)
```



Réponse :

Références

- [1] BARDON, C., PIOLA, F., BELLVERT, F., EL ZAHAR HAICHAR, F., COMTE, G., MEIFFREN, G., POMMIER, T., PUIJALON, S., TSAFACK, N., AND POLY, F. Evidence for biological denitrification inhibition (BDI) by plant secondary metabolites. *New Phytologist* 204 (2014), 620–630.
- [2] BARDON, C., POLY, F., EL ZAHAR HAICHAR, F., ROUX, X. L., SIMON, L., MEIFFREN, G., COMTE, G., ROUFED, S., AND PIOLA, F. Biological denitrification inhibition (BDI) with procyanidins induces modification of root traits, growth and n status in *Fallopia x bohemica*. *Soil Biology and Biochemistry* 107 (2017), 41–49.

- [3] BELL, A. *Perspectives in Plant Population Ecology*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA, 1984, ch. Dynamic morphology : a contribution to plant population ecology, pp. 48–65.
- [4] BELL, A., ROBERTS, D., AND SMITH, A. Branching patterns : the simulation of plant architecture. *Journal of Theoretical Biology* 81 (1979), 351–375.
- [5] CHESSEL, D., DUFOUR, A.-B., AND THIOULOUSE, J. The ade4 package-I- One-table methods. *R News* 4 (2004), 5–10.
- [6] DE KROON, H., HUBER, H., STUEFER, J., AND VAN GROENENDAEL, J. A modular concept of phenotypic plasticity in plants. *The New phytologist* 166 (2005), 73–82.
- [7] DE KROON, H., AND HUTCHINGS, M. Morphological plasticity in clonal plants : The foraging concept reconsidered. *Journal of Ecology* 83 (1995), 143–152.
- [8] HUBER, H., LUKÁCS, S., AND WATSON, M. Spatial structure of stoloniferous herbs : an interplay between structural blue-print, ontogeny and phenotypic plasticity. *Plant Ecology* 141 (1999), 107–115.
- [9] LIORET, C. L’analyse des courbes de croissance. *Physiologie végétale* 12 (1974), 413–434.
- [10] PUIJALON, S., BORNETTE, G., AND SAGNES, P. Adaptations to increasing hydraulic stress : morphology, hydrodynamics and fitness of two higher aquatic plant species. *Journal of Experimental Botany* 56 (2005), 777–786.
- [11] TILMAN, D. Plant dominance along an experimental nutrient gradient. *Ecology* 65 (1984), 1445–1453.
- [12] WANG, L., CHEUNG, J. T.-M., PU, F., LI, D., ZHANG, M., AND FAN, Y. Why do woodpeckers resist head impact injury : A biomechanical investigation. *PLOS ONE* 6 (2011), 1–8.