

Cycle de vie et relations trait-environnement chez les plantes

du cycle de vie des organismes au cycle de vie des données

Thèse soutenue par Léo Delalandre

Directeurs : Eric Garnier et Cyrille Violle

Rapporteur·ices : Servane Lemauviel-Lavenant et Philippe Choler

Examinaterices : Alexia Stokes et Juliette Bloor

Le 02/04/2024



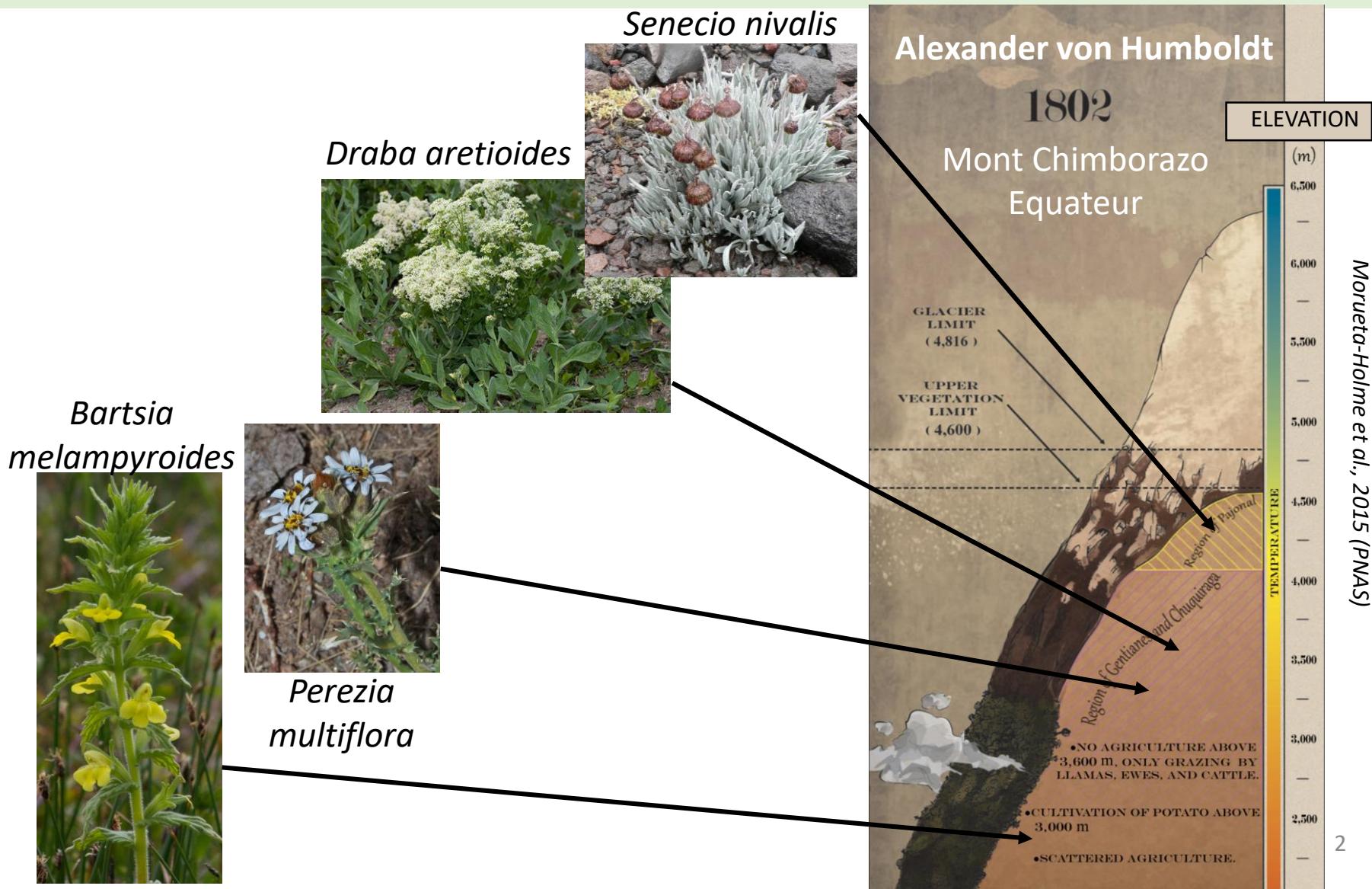
CENTRE D'ECOLOGIE
FONCTIONNELLE
& EVOLUTIVE



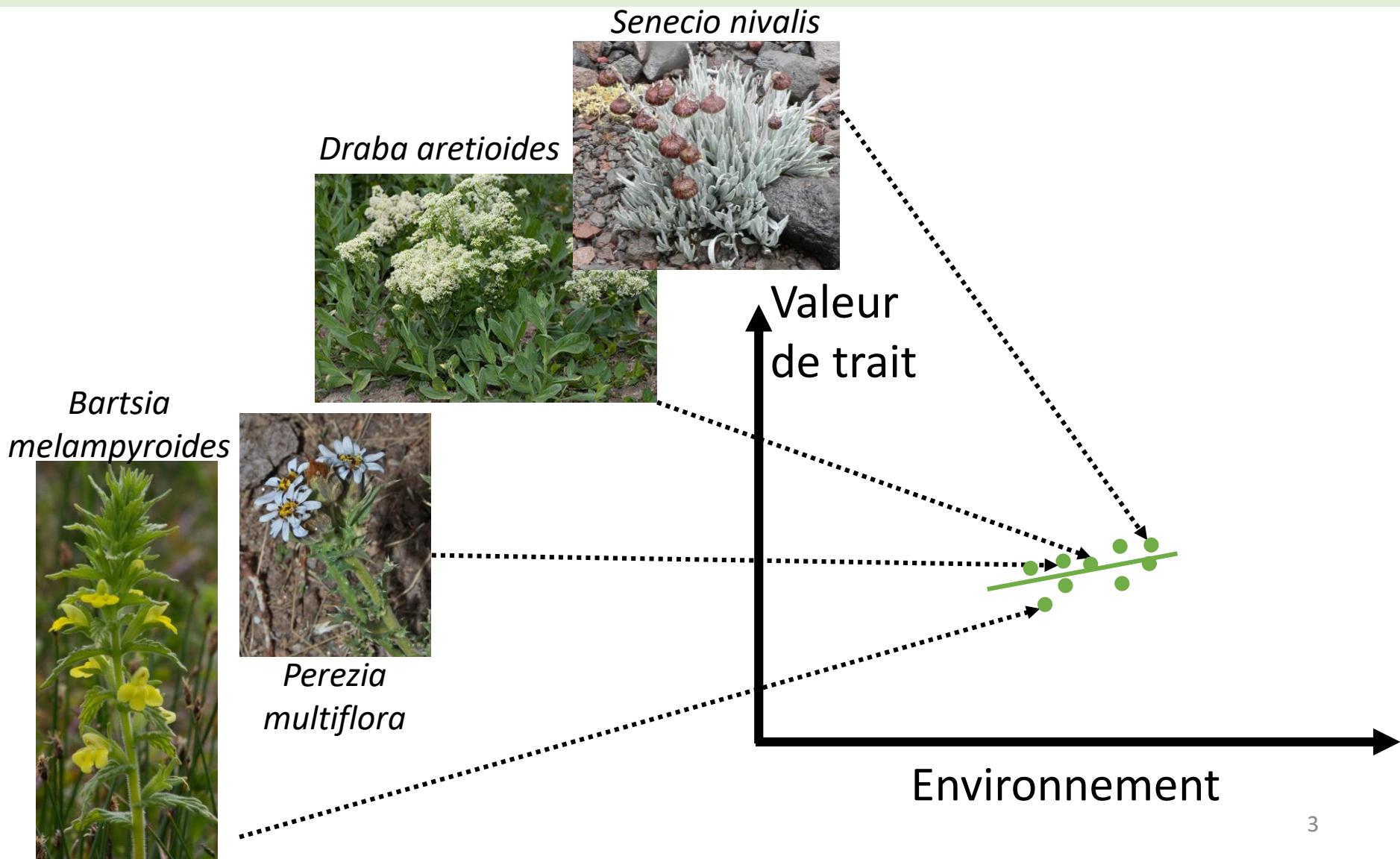
UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER



Les relations entre végétation et environnement



Les relations entre végétation et environnement



Du local au global : dépendance au contexte

CellPress
OPEN ACCESS

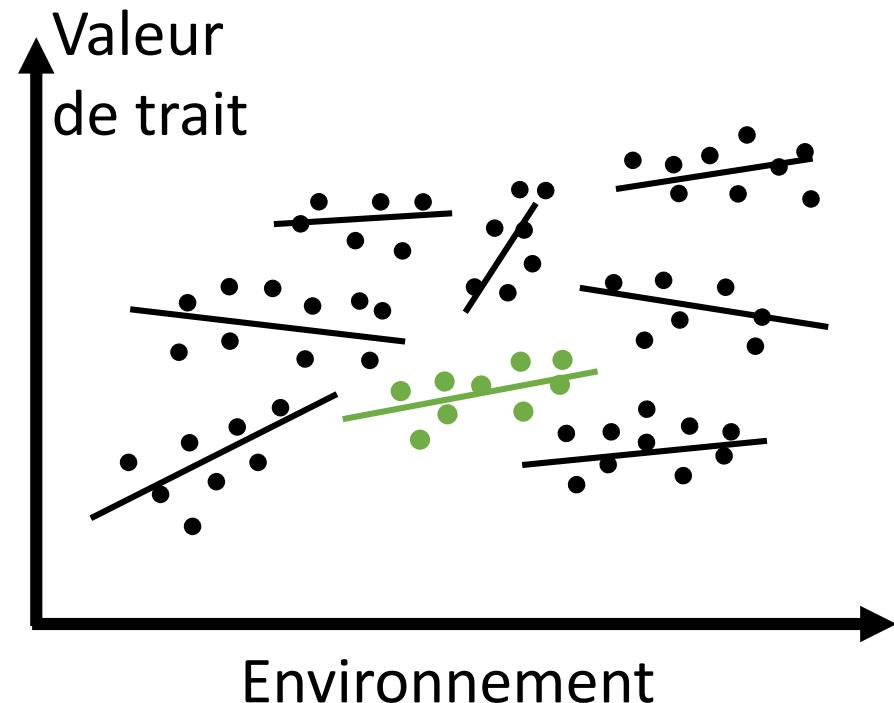
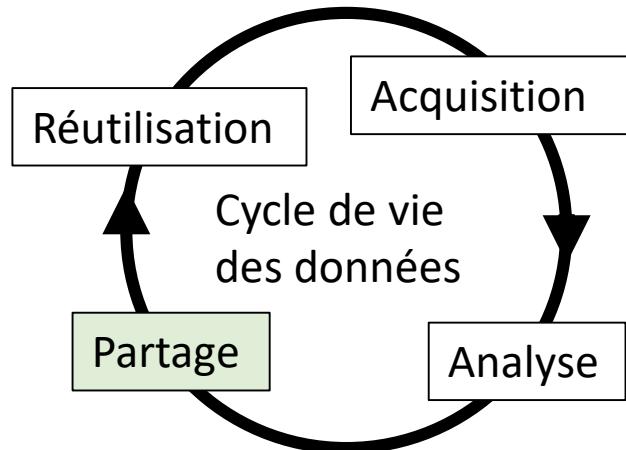
Trends in
Ecology & Evolution
2022

Review

Addressing context dependence in ecology

Jane A. Catford ,^{1,2,9,*} John R.U. Wilson ,^{3,4} Petr Pyšek ,^{5,6} Philip E. Hulme ,⁷ and Richard P. Duncan ,^{8,9}

“Context dependence arises when ecological relationships vary in magnitude or sign, depending on the conditions under which they are observed.”



*Tansley insight*

Why can't we predict traits from the environment?

Author for correspondence:

Leander D. L. Anderegg

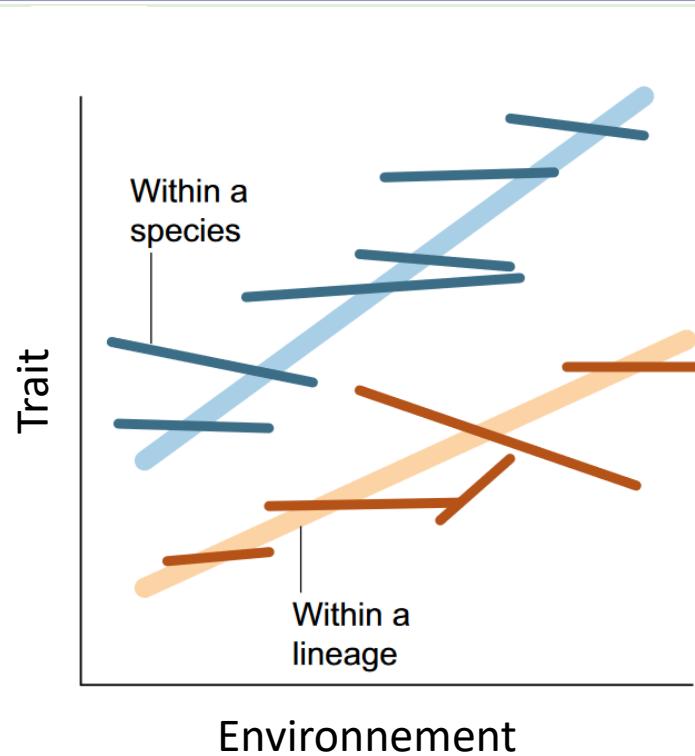
Email: landeregg@ucsb.edu

Received: 21 June 2022

Accepted: 16 September 2022

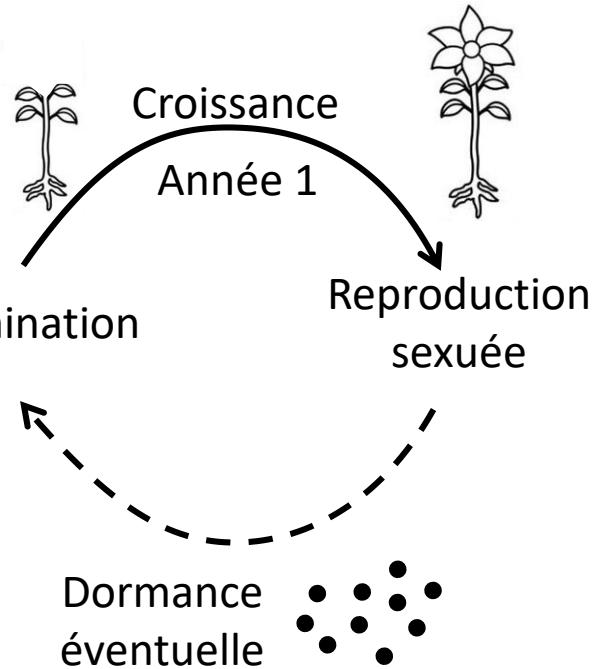
Leander D. L. Anderegg 

Department of Ecology, Evolution & Marine Biology, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, CA 93117, USA

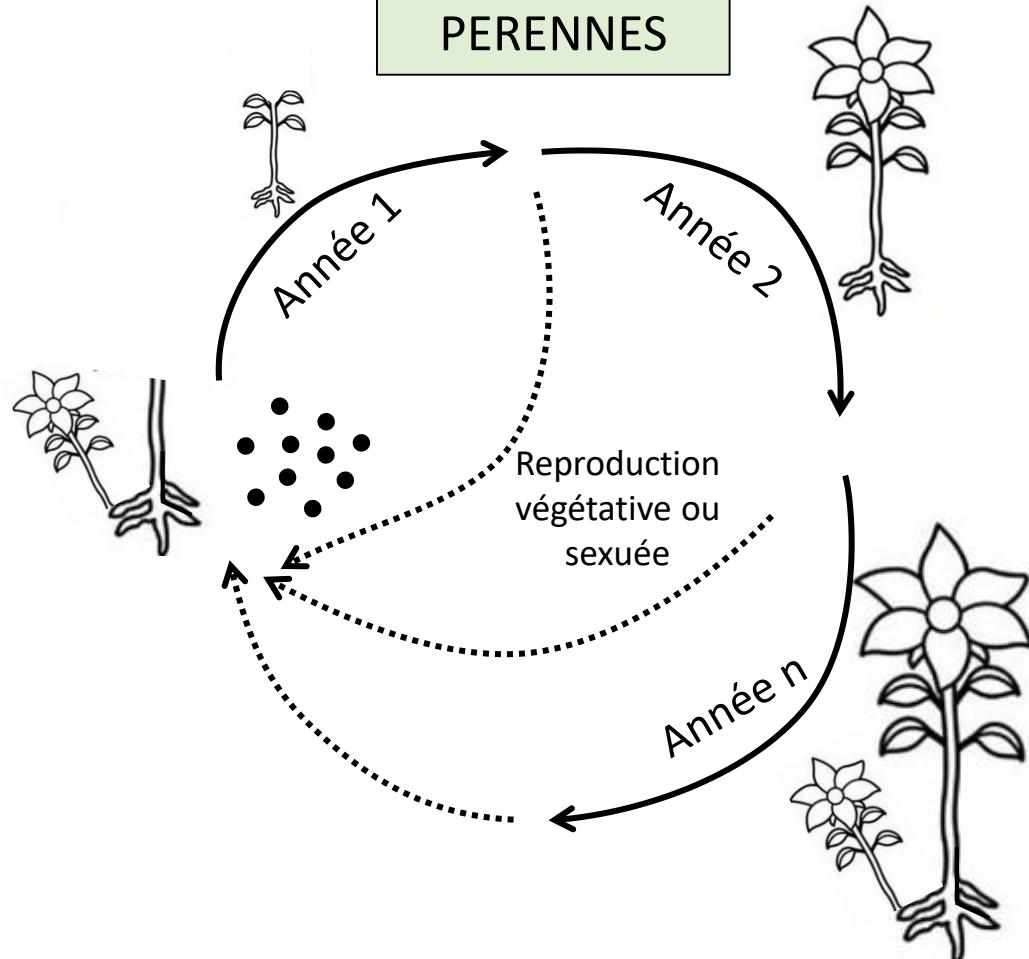


Cycles de vie chez les plantes herbacées : traits et environnement

ANNUELLES



PERENNES



Relation structure-fonction et traits fonctionnels

Structure

- Feuilles matures
- Tiges
- Racines

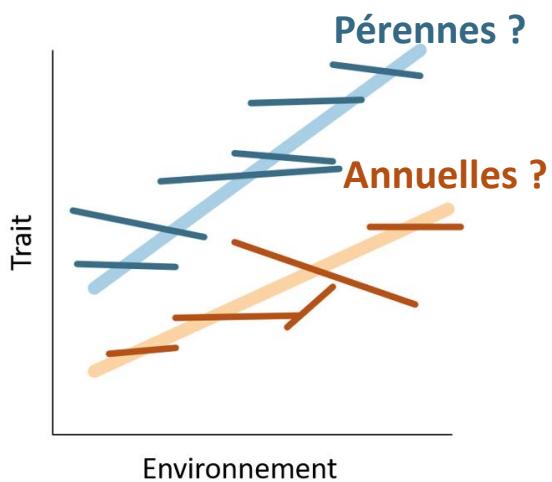


Fonction

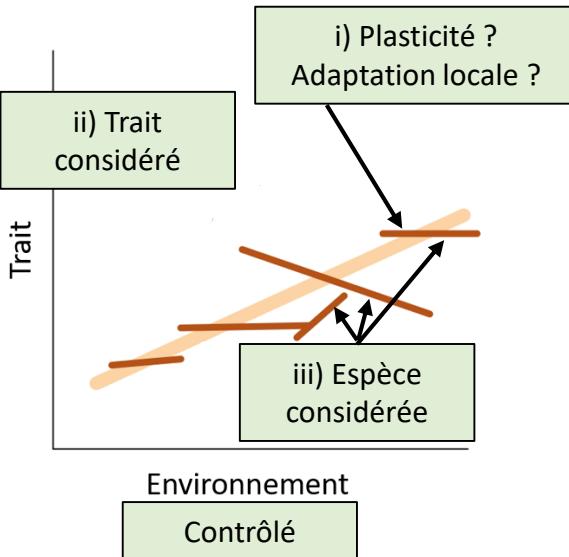
- Photosynthèse
- Soutien et transport, compétition pour la lumière
- Absorption d'eau et de nutriments, ancrage

Plan de la présentation

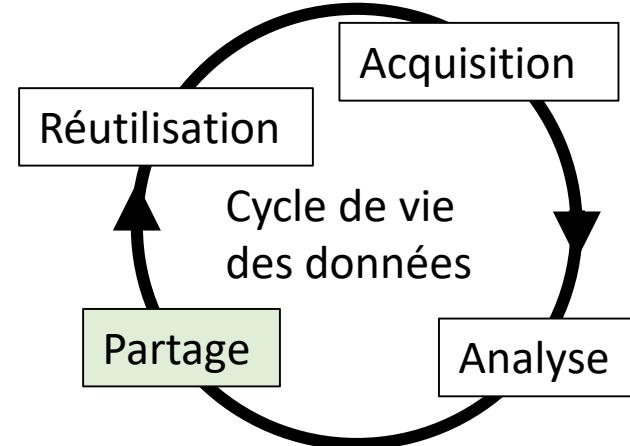
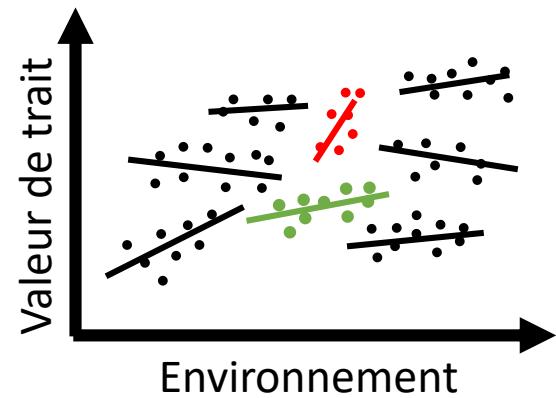
Partie 1



Partie 2



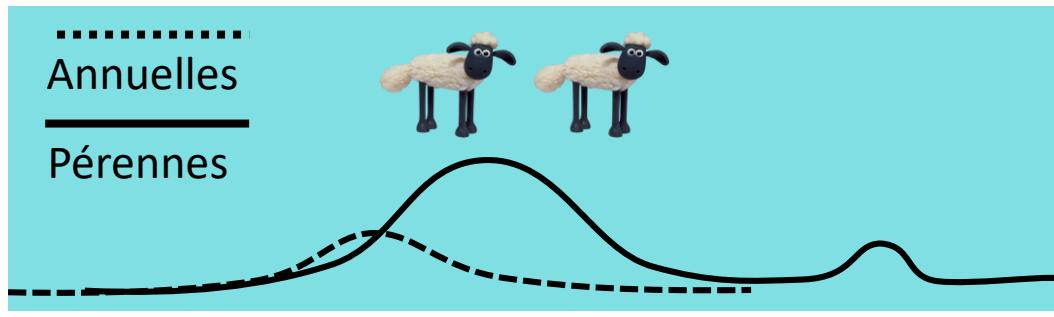
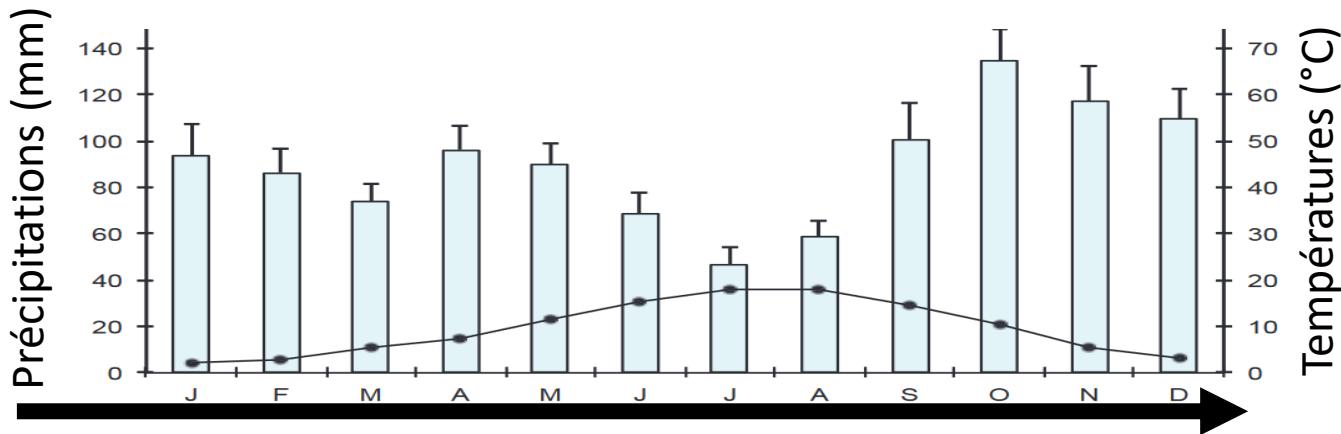
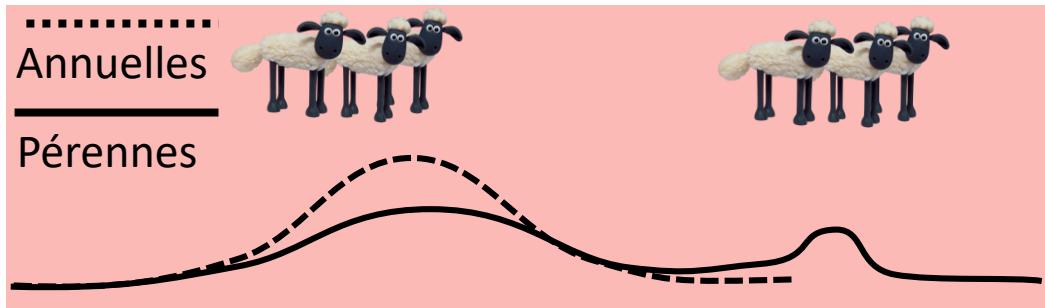
Partie 3



Partie 1 : Variations des valeurs de traits avec l'environnement selon le cycle de vie



Calendrier de pâturage



« Traitements » retenus

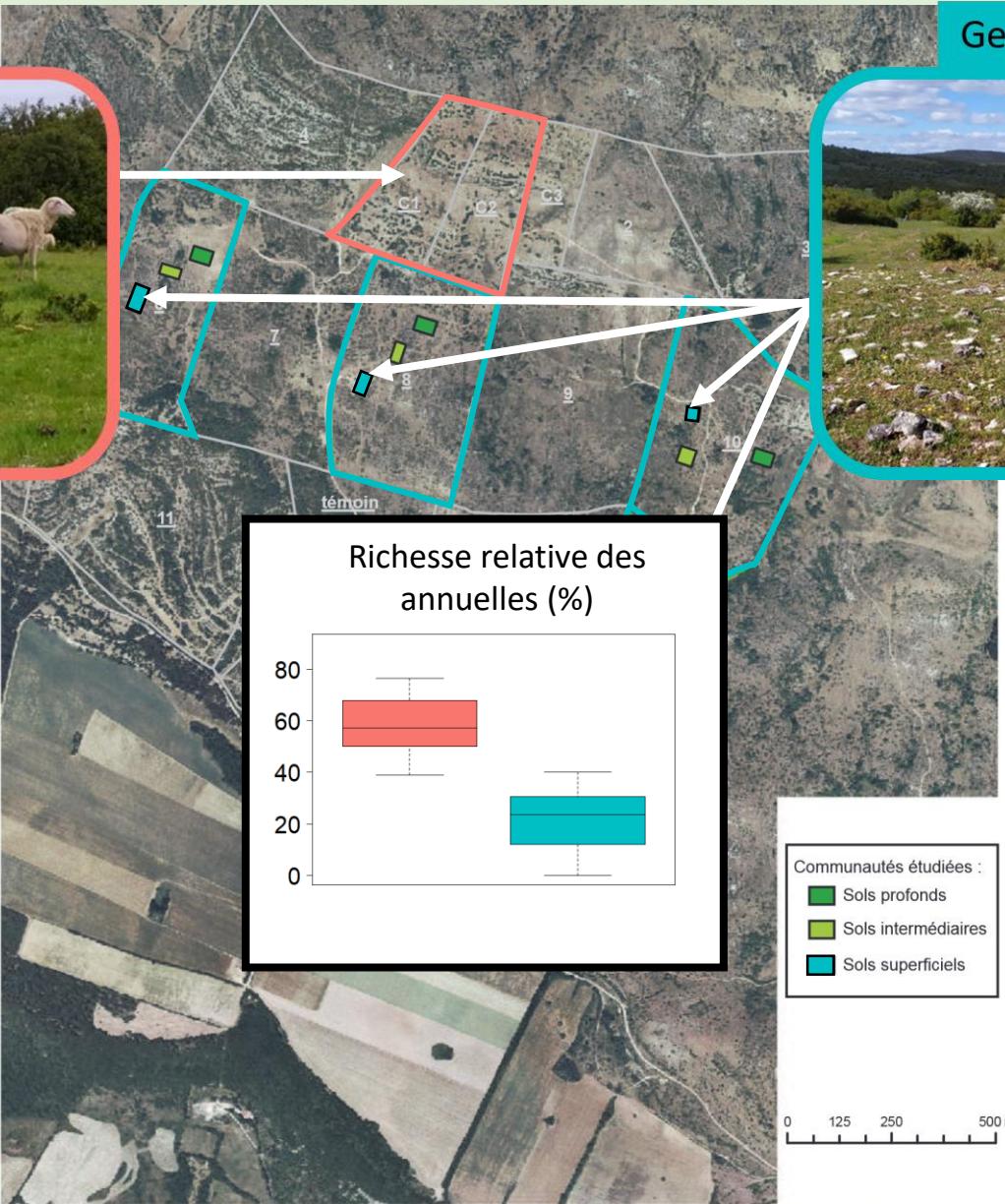
Gestion intensive

Perturbation

+ N, P

Gestion extensive

Stress



Gestion intensive

*Bromus hordeaceus**Vicia sativa**Crepis vesicaria*

Annuelles

Gestion extensive

*Bupleurum baldense**Hornungia petraea**Sabulina tenuifolia**Rumex acetosa**Carduus nutans**Bellis perennis*

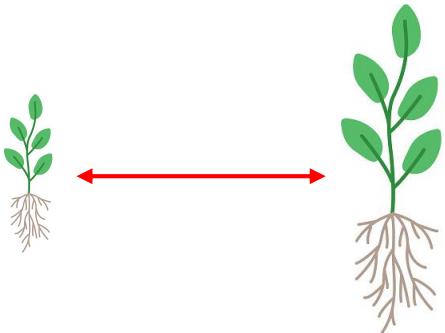
Pérennes

*Stipa pennata**Teucrium montanum**Festuca christiani-bernardii*

Traits mesurés

Axe de taille de la plante et des organes

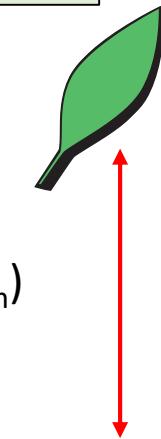
- Hauteur reproductrice (RPH)
- Surface foliaire (LA)
- Masse des graines (SeedMass)



Spectre d'économie foliaire étendu

Conservation :

- Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC)
- Teneur massique en carbone des feuilles (LCC_m)



Acquisition :

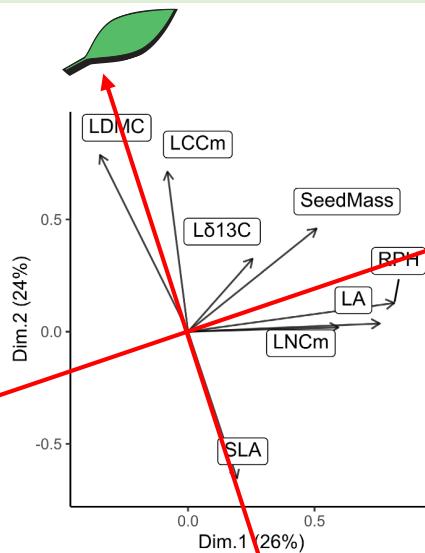
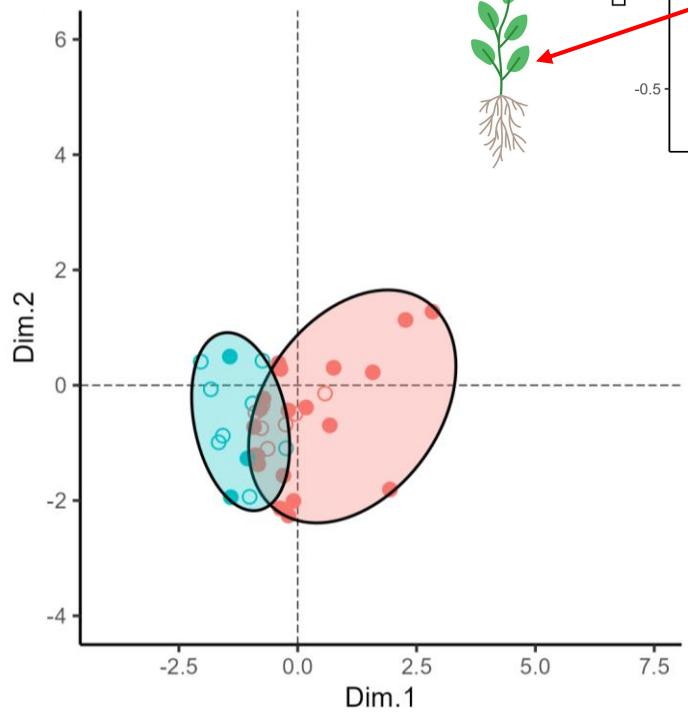
- Surface spécifique foliaire (SLA)
- Teneur massique en azote des feuilles (LNC_m)



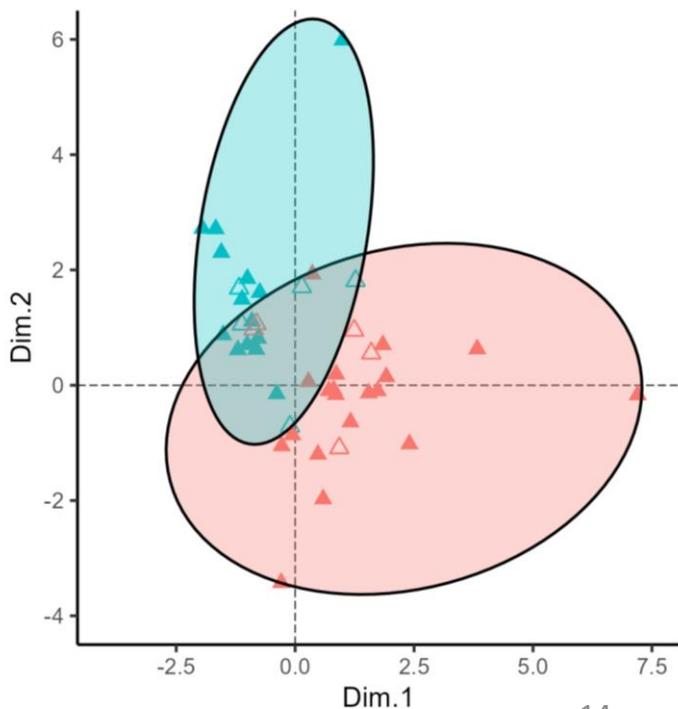
Composition isotopique des feuilles ($L\delta^{13}C$)

Variabilité des traits fonctionnels

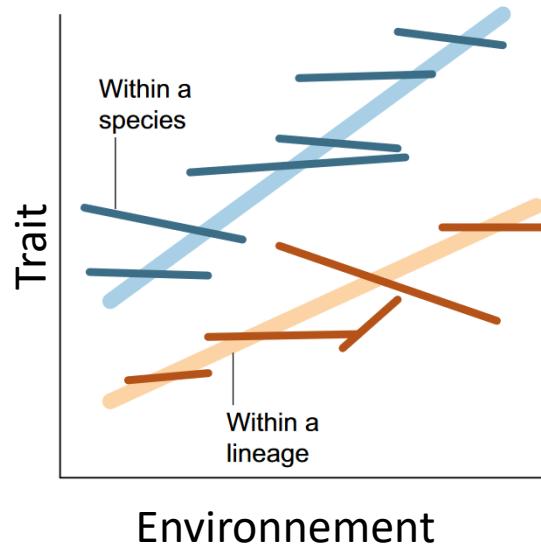
Annuelles



Pérennes



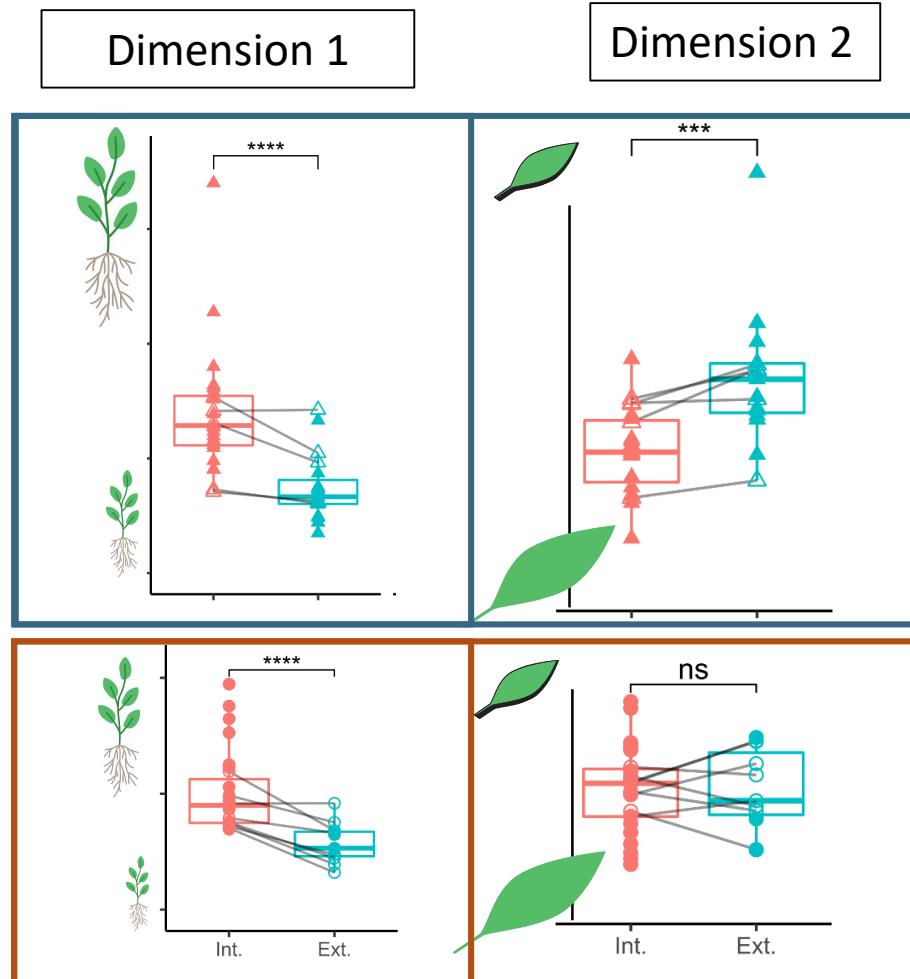
Conclusion : le cycle de vie affecte les variations de traits avec l'environnement



Pérennes

Annuelles

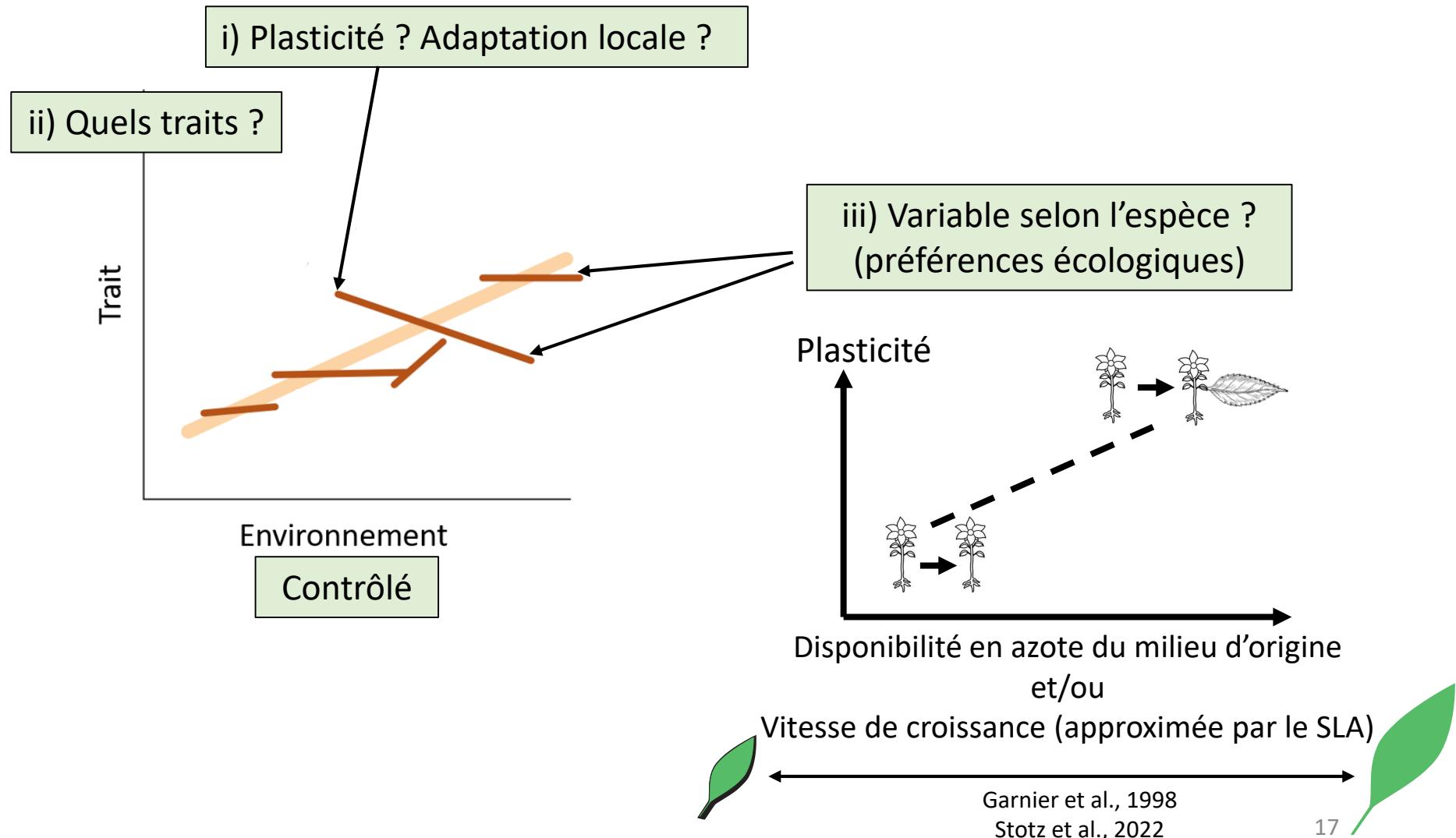
Variations
intraspécifiques
identiques entre
annuelles et pérennes
pour la plupart des traits



Partie 2 : réponse à la fertilisation chez 17 espèces annuelles du domaine de La Fage

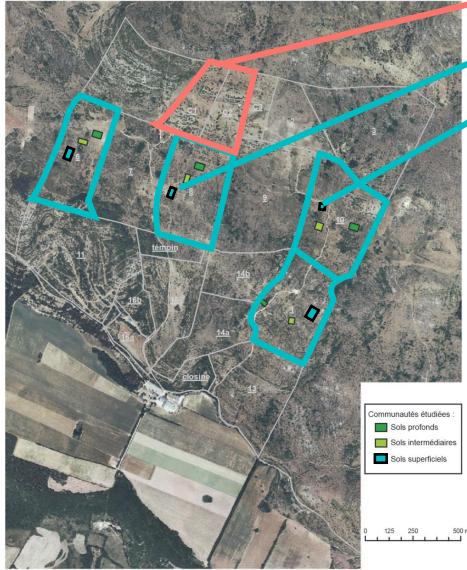


Question et hypothèses



Variations intraspécifiques

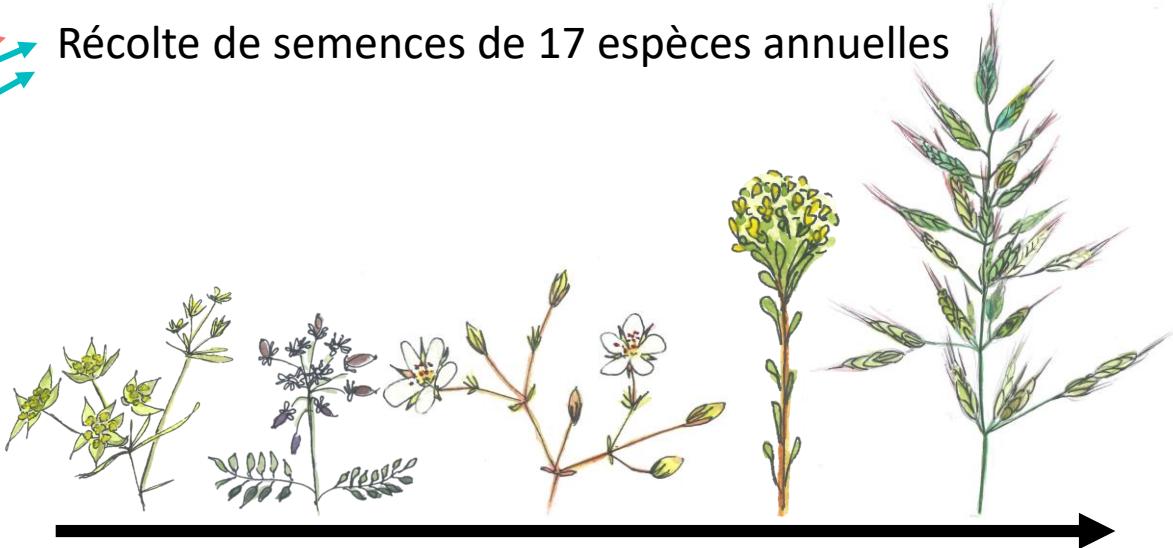
In situ



Document réalisé au CEFE par A. Fayolle, S. Mühlerger, E. Garner & H. Boitbot à partir de photographies aériennes (IGN 2003)

Conditions contrôlées

Récolte de semences de 17 espèces annuelles



Préférences écologiques : Besoins en nutriments (indice d'Ellenberg)

N-



Jardin commun

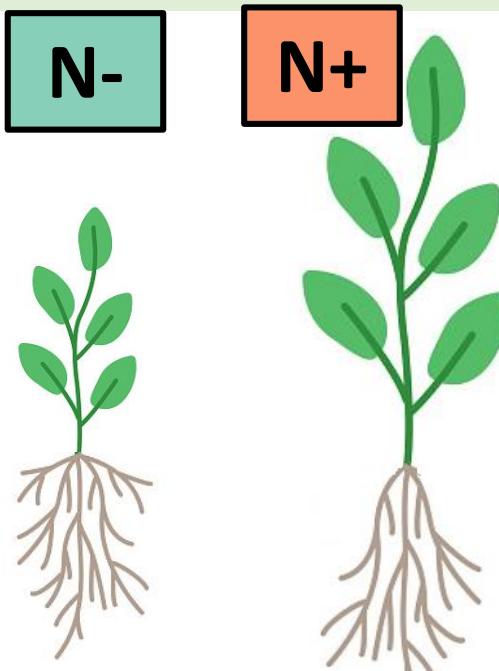


N+

Quels traits répondent à la fertilisation ? Plasticité et équilibre fonctionnel

a) Stratégies écologiques (traits aériens)

- Hauteur végétative (H_{veg})
- Surface foliaire (LA)
- Surface spécifique foliaire (SLA)
- Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC)



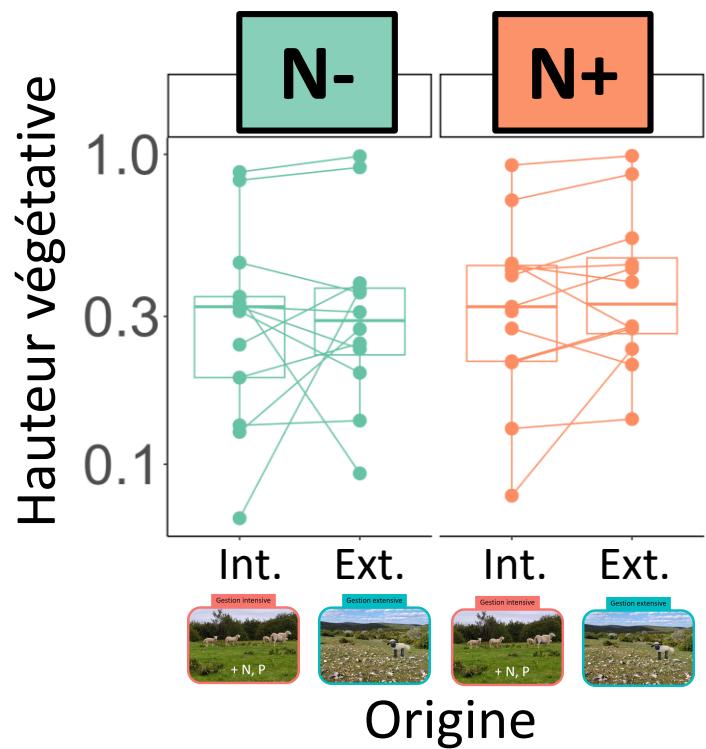
b) Absorption de nutriments (traits racinaires)

- Diamètre racinaire moyen (diam)
- Longueur spécifique racinaire (SRL)
- Densité des tissus racinaires (RTD)
- Teneur en matière sèche des racines (RTD)
- Intensité de branchement (BI)

c) Traits mesurés sur la plante entière

- Masse sèche (M_T)
- Teneur massique en azote ($[N]_T$)
- Fraction massique foliaire (LMF)
- Fraction massique des tiges (SMF)
- Fraction massique des racines (RMF)

i) Pas d'effet de l'origine détecté

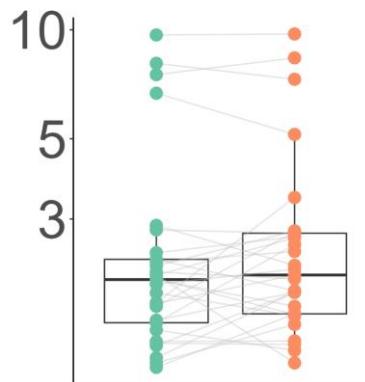
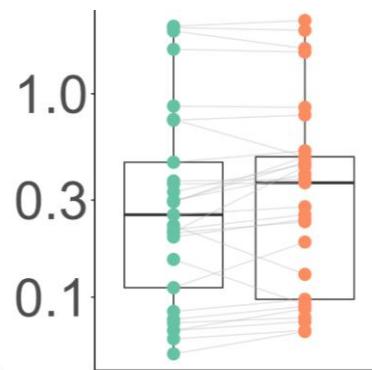
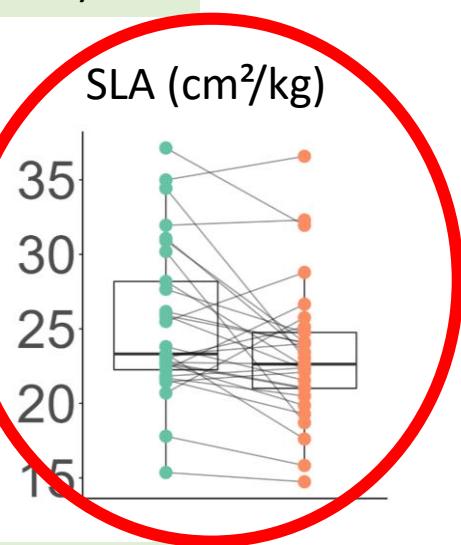


ii) Une plasticité des traits aériens et racinaires quasi nulle

N-**N+**

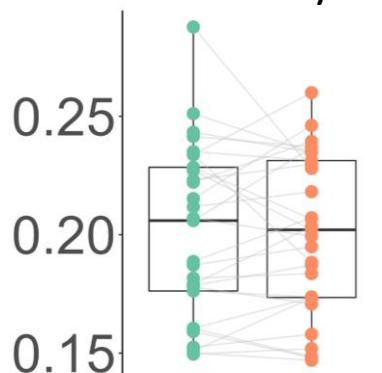
a) Stratégies écologiques (traits aériens)

Hauteur végétative (cm)

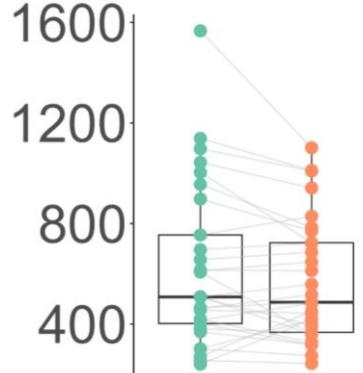
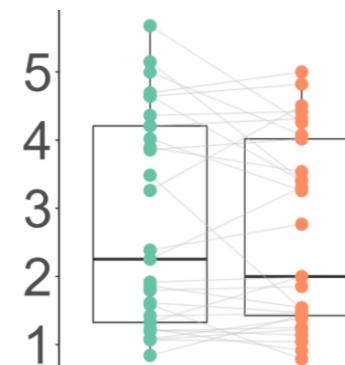
Surface foliaire (cm^2)SLA (cm^2/kg)

b) Absorption de nutriments (traits racinaires)

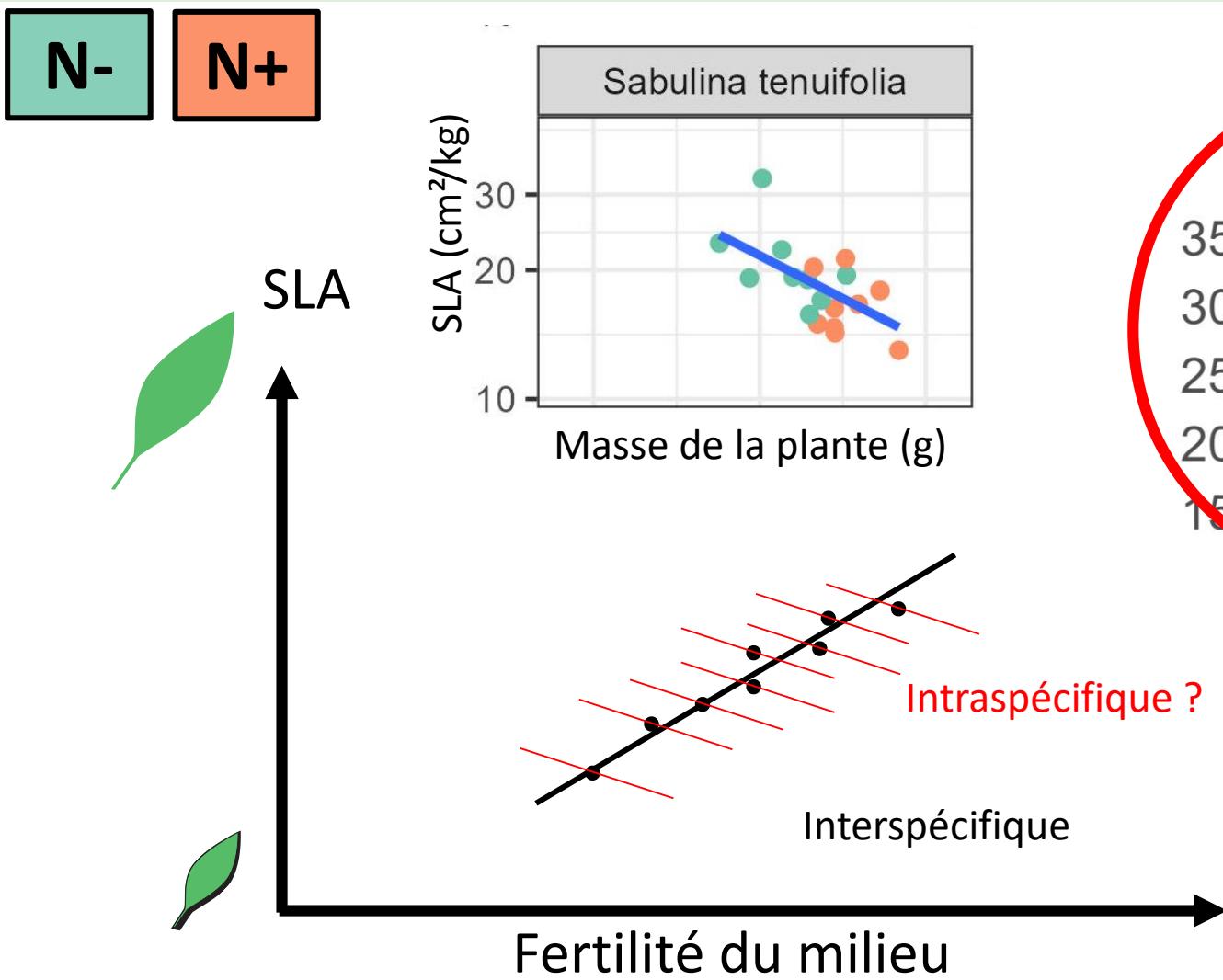
Diamètre moyen (mm)



SRL (m/g)

Intensité de branchemen (cm⁻¹)

ii) Une plasticité des traits aériens et racinaires quasi nulle

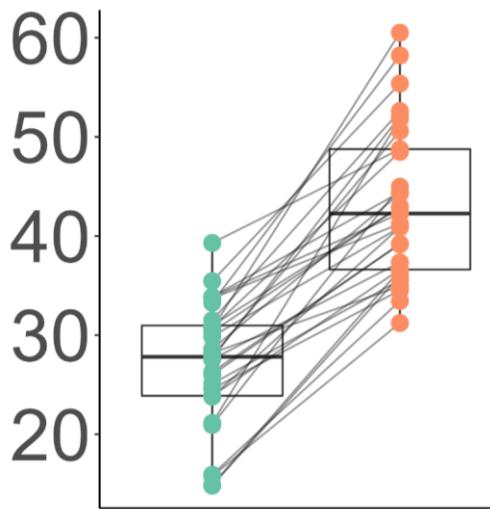


ii) Une forte plasticité des traits mesurés sur la plante entière

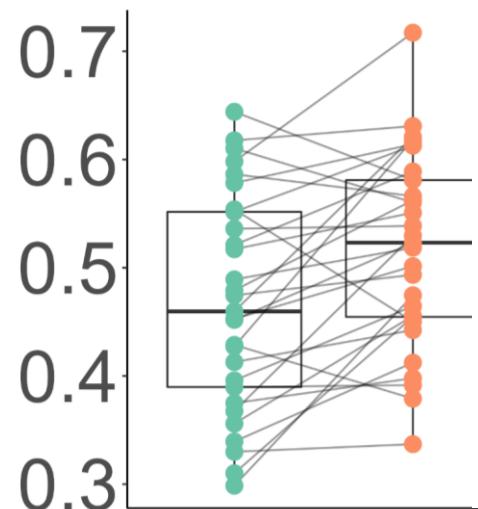
N- N+

c) Traits mesurés sur la plante entière

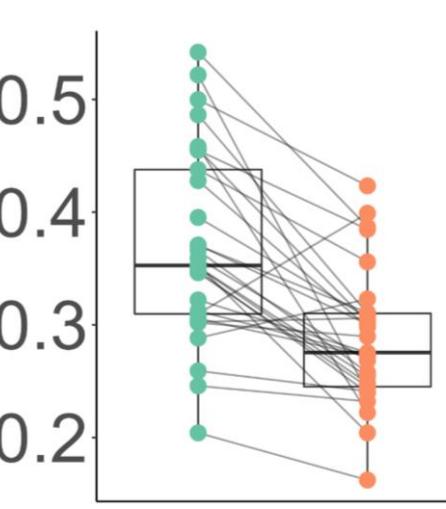
Teneur en azote de la plante (mg/g)



Masse sèche de la plante (g)

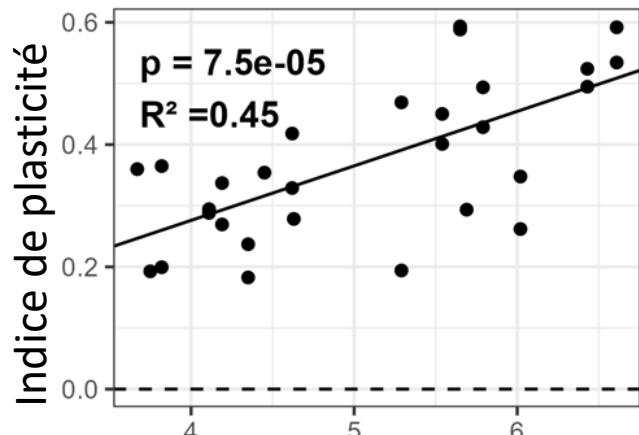


Fraction de biomasse racinaire (g/g)

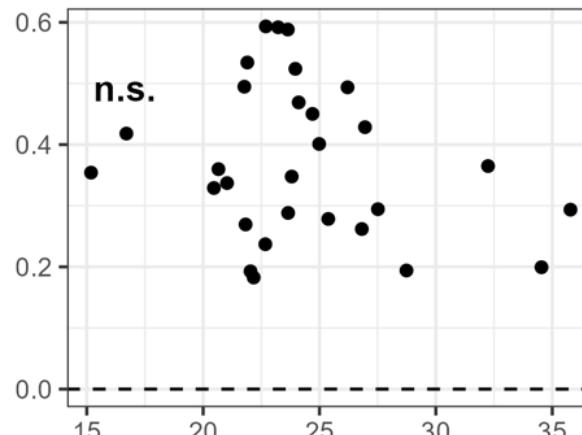


iii) La plasticité varie selon les besoins en nutriments de l'espèce, mais pas son SLA

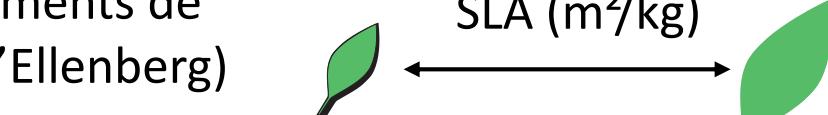
Plasticité de la teneur en azote
(par unité de masse) des plantes



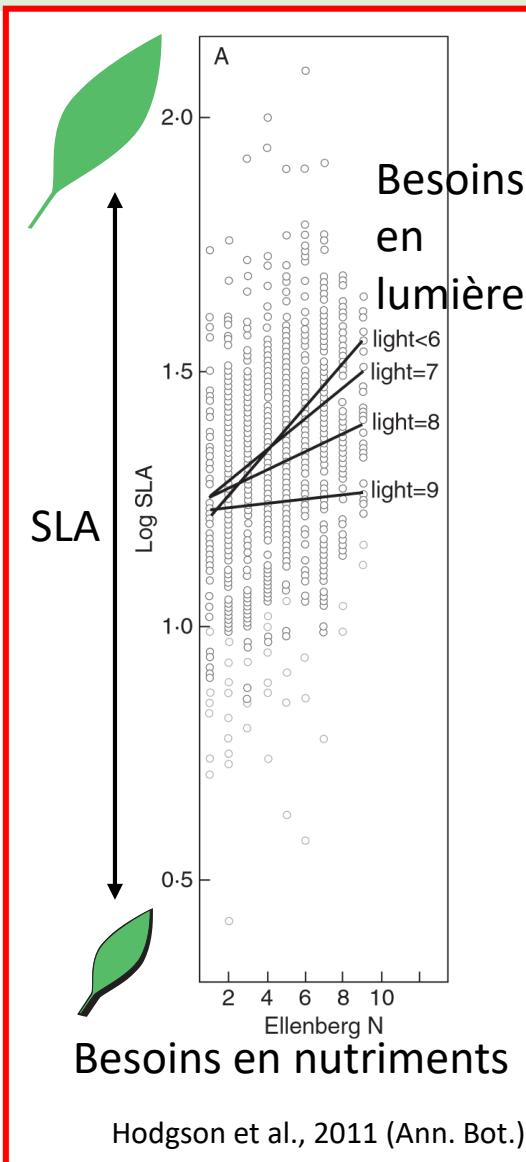
Besoins en nutriments de l'espèce (indice d'Ellenberg)



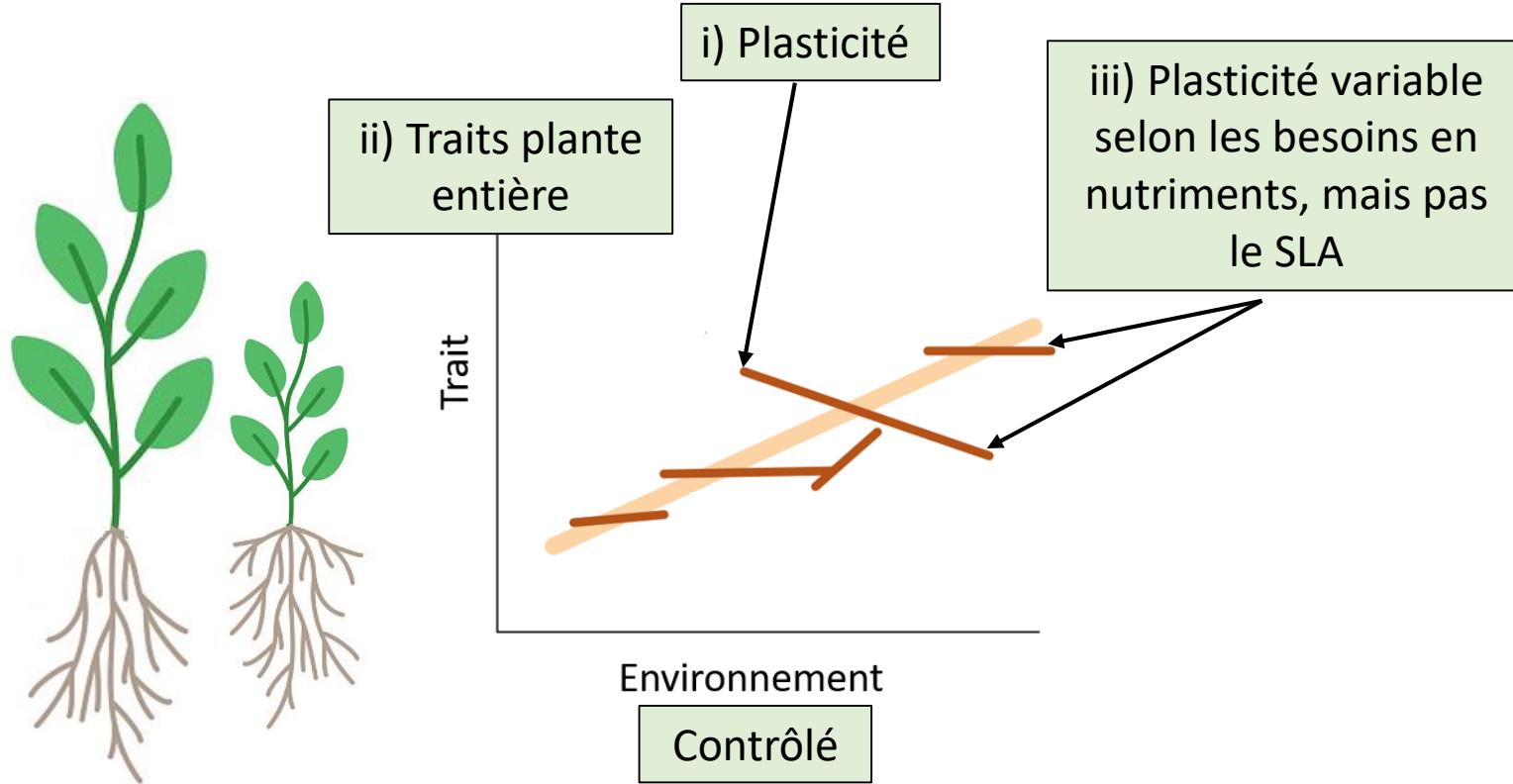
SLA (m^2/kg)



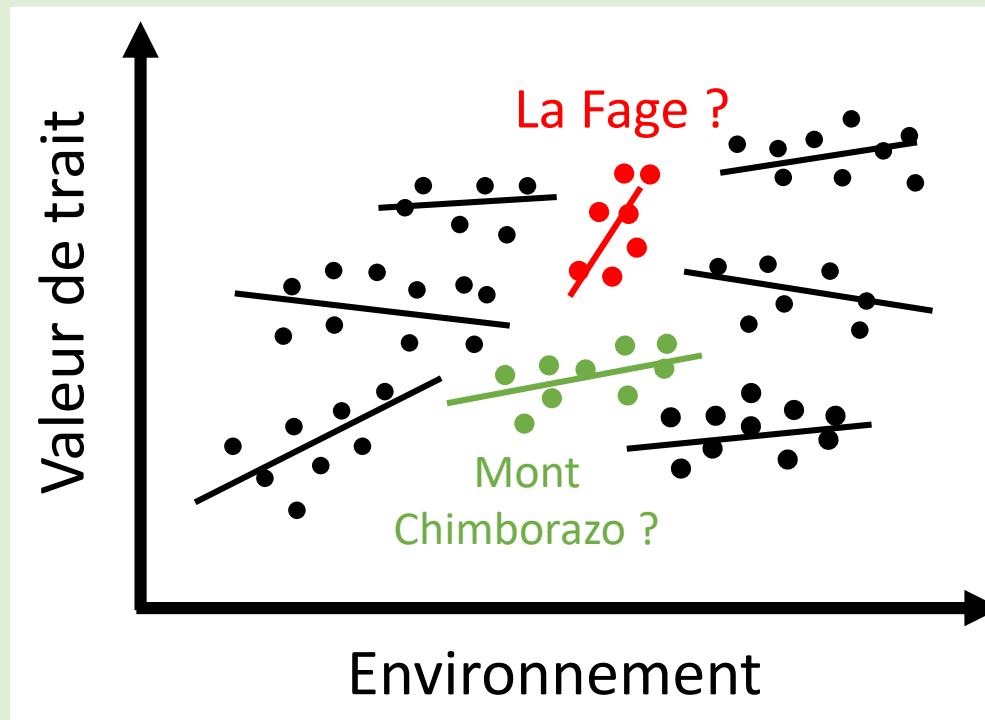
Découplage chez certaines espèces ?



Conclusion de la partie 2

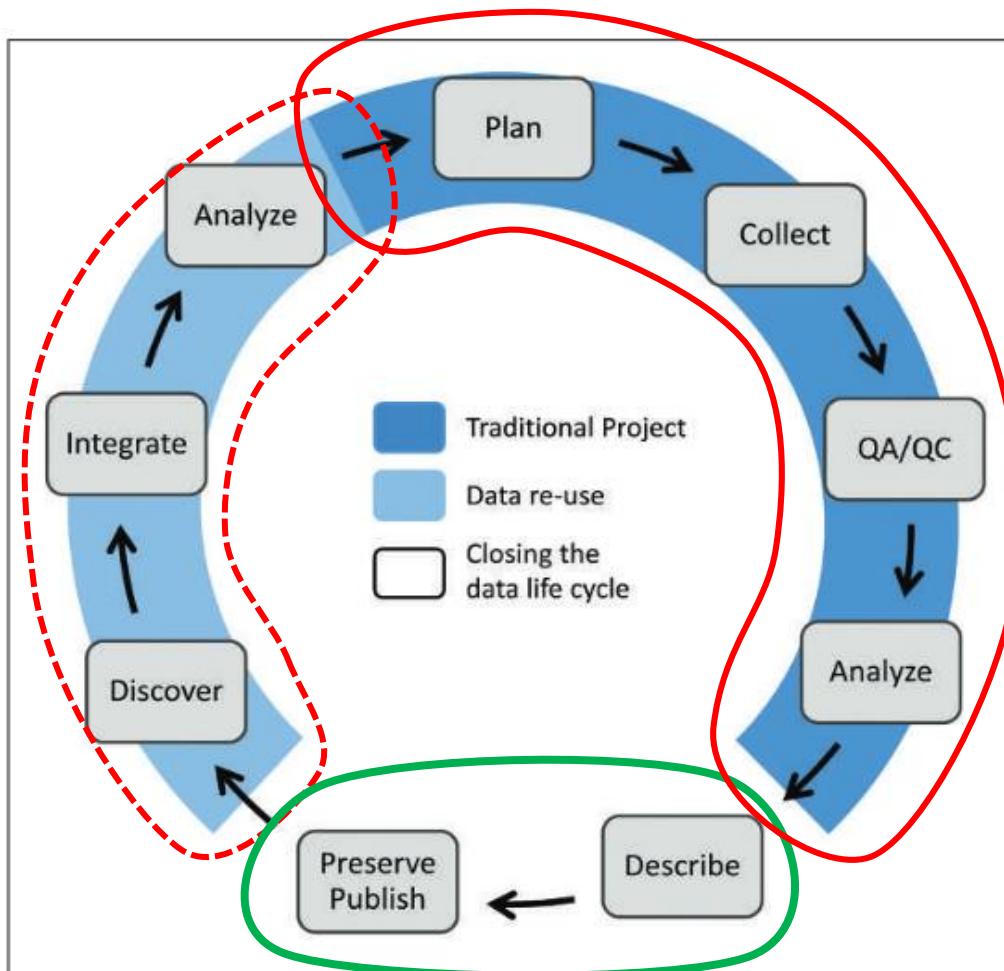


Partie 3 : Cycle de vie des données et analyse de la dépendance au contexte dans les relations trait-environnement



Réutilisation des données : clore le cycle de vie des données

Mesures effectuées dans la même équipe de recherche mais antérieures à cette thèse



Etapes nécessaires à l'analyse
avec d'autres données

Mesures faites sur des plantes annuelles durant cette thèse

Principes FAIR

Rendre les données :

- Facile à trouver
- Accessibles
- Interopérables
- Réutilisables

Wilkinson et al., 2016 (Scientific Data)

Received: 25 July 2022

Accepted: 7 November 2022

DOI: 10.1111/2041-210X.14033

Methods in Ecology and Evolution



REVIEW

Ten (mostly) simple rules to future-proof trait data in ecological and evolutionary sciences

Alexander Keller¹ | Markus J. Ankenbrand² | Helge Bruehlheide^{3,4} |
Stefanie Dekeyzer⁵ | Brian J. Enquist^{6,7} | Mohammad Bagher Erfanian⁸ |
Daniel S. Falster⁹ | Rachael V. Gallagher¹⁰ | Jennifer Hammock¹¹ |
Jens Kattge^{4,12} | Sara D. Leonhardt¹³ | Joshua S. Madin¹⁴ | Brian Maitner^{15,16} |
Margot Neyret¹⁷ | Renske E. Onstein^{4,18} | William D. Pearse¹⁹ |
Jorrit H. Poelen^{20,21} | Roberto Salguero-Gomez²² | Florian D. Schneider^{17,23} |
Anikó B. Tóth²⁴ | Caterina Penone²⁵

Structuration des (méta)données

Traits



traitValues

Species	siteName	traitPlot	envPlotID	traitName	verbatimTraitValue	traitID	measurementMethod	verbatimOccurrenceID	...
---------	----------	-----------	-----------	-----------	--------------------	---------	-------------------	----------------------	-----

Structuration des (méta)données

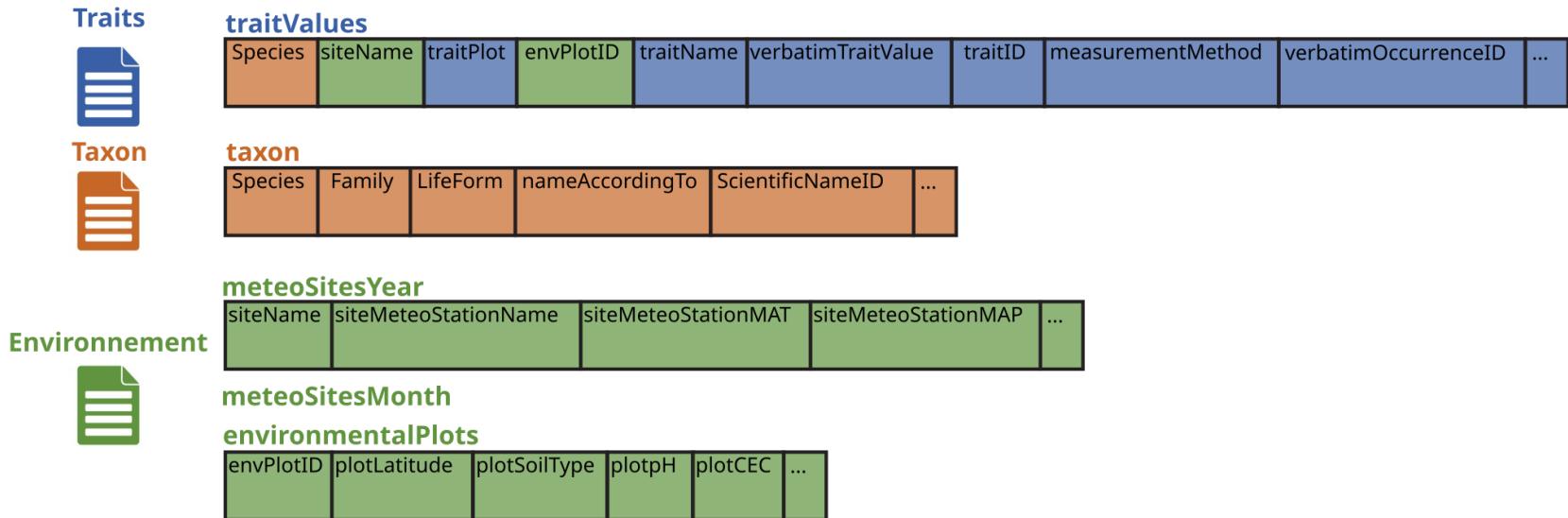
Traits**traitValues**

Species	siteName	traitPlot	envPlotID	traitName	verbatimTraitValue	traitID	measurementMethod	verbatimOccurrenceID	...
---------	----------	-----------	-----------	-----------	--------------------	---------	-------------------	----------------------	-----

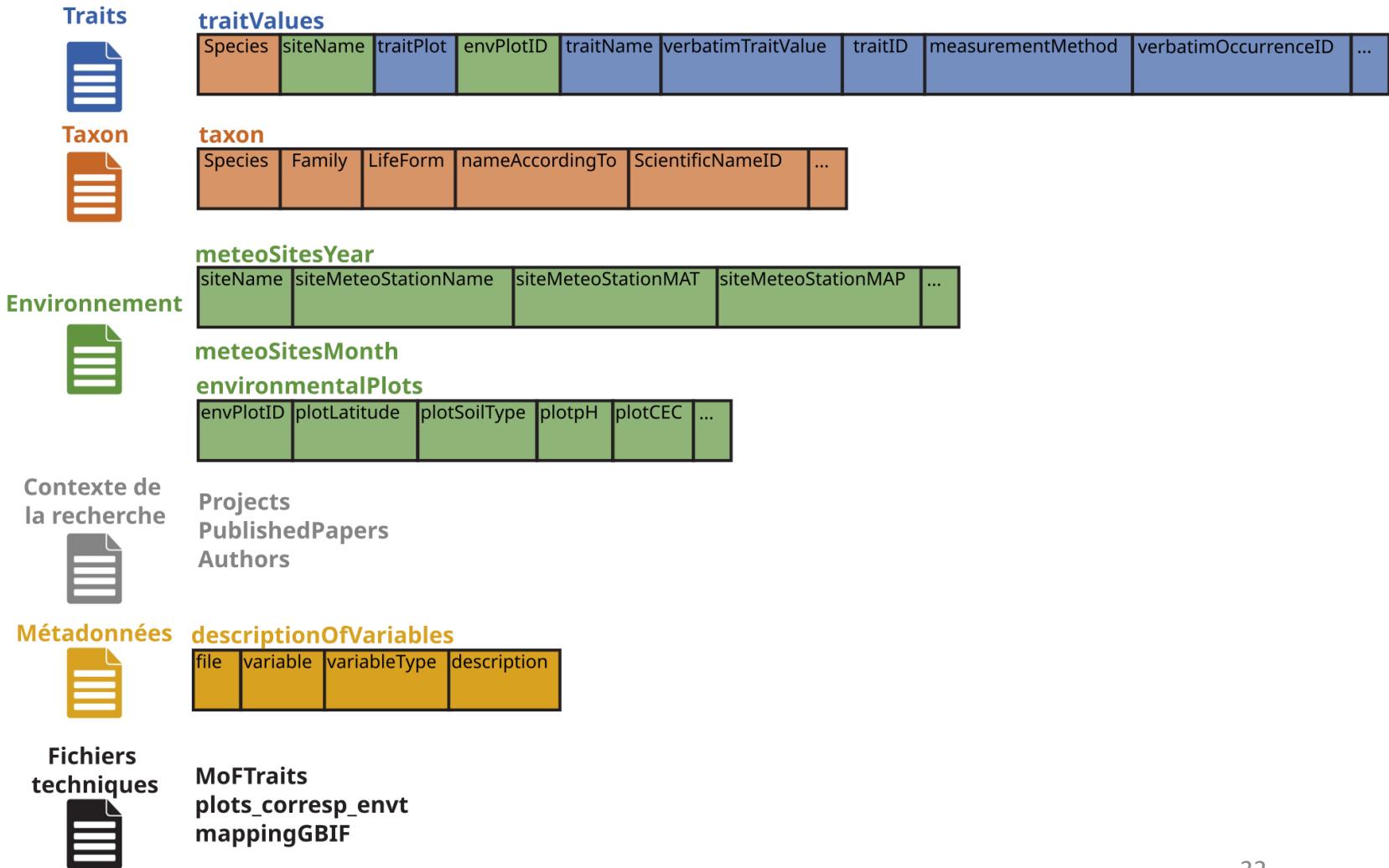
Taxon**taxon**

Species	Family	LifeForm	nameAccordingTo	ScientificNameID	...
---------	--------	----------	-----------------	------------------	-----

Structuration des (méta)données



Structuration des (méta)données

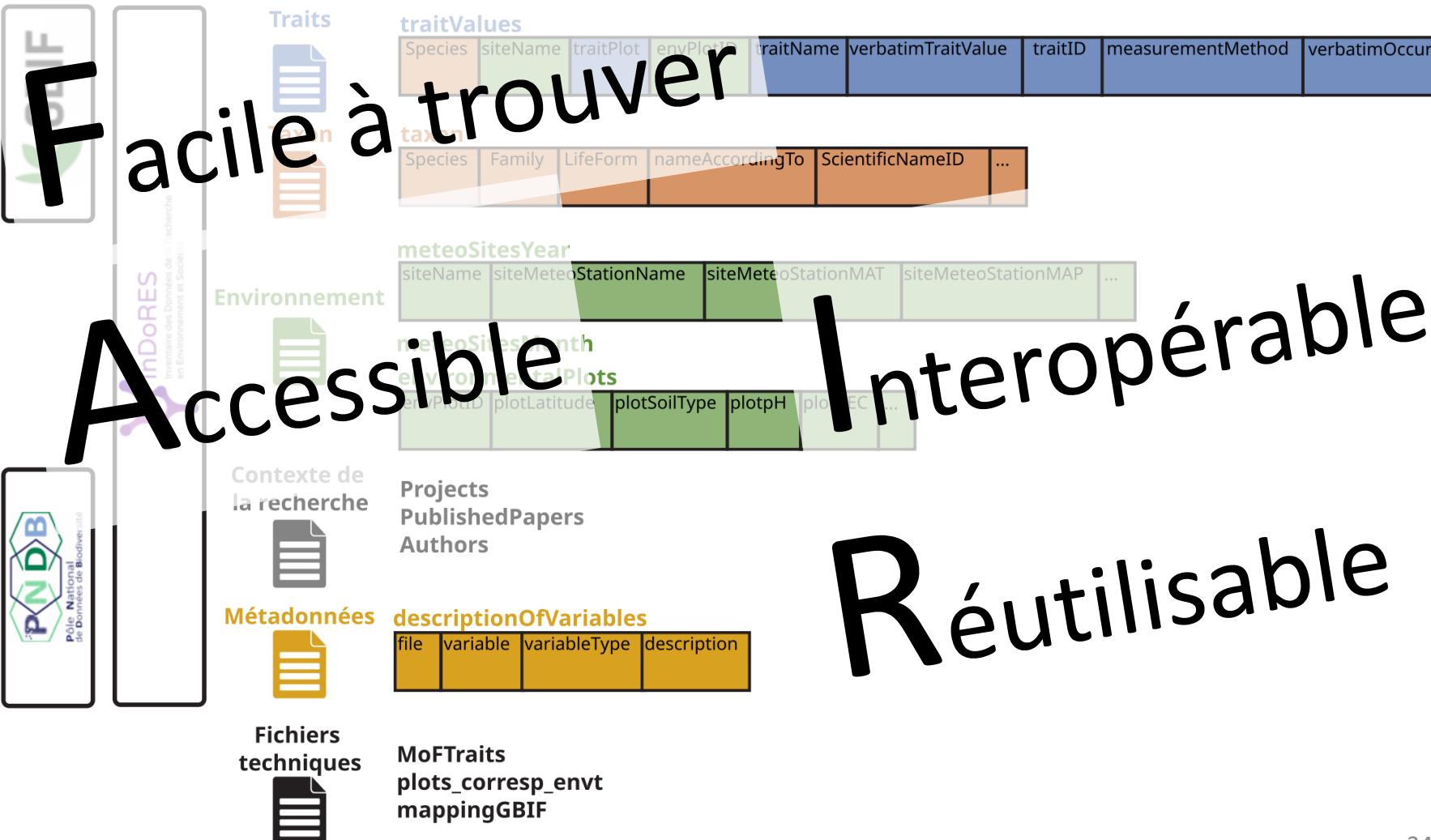


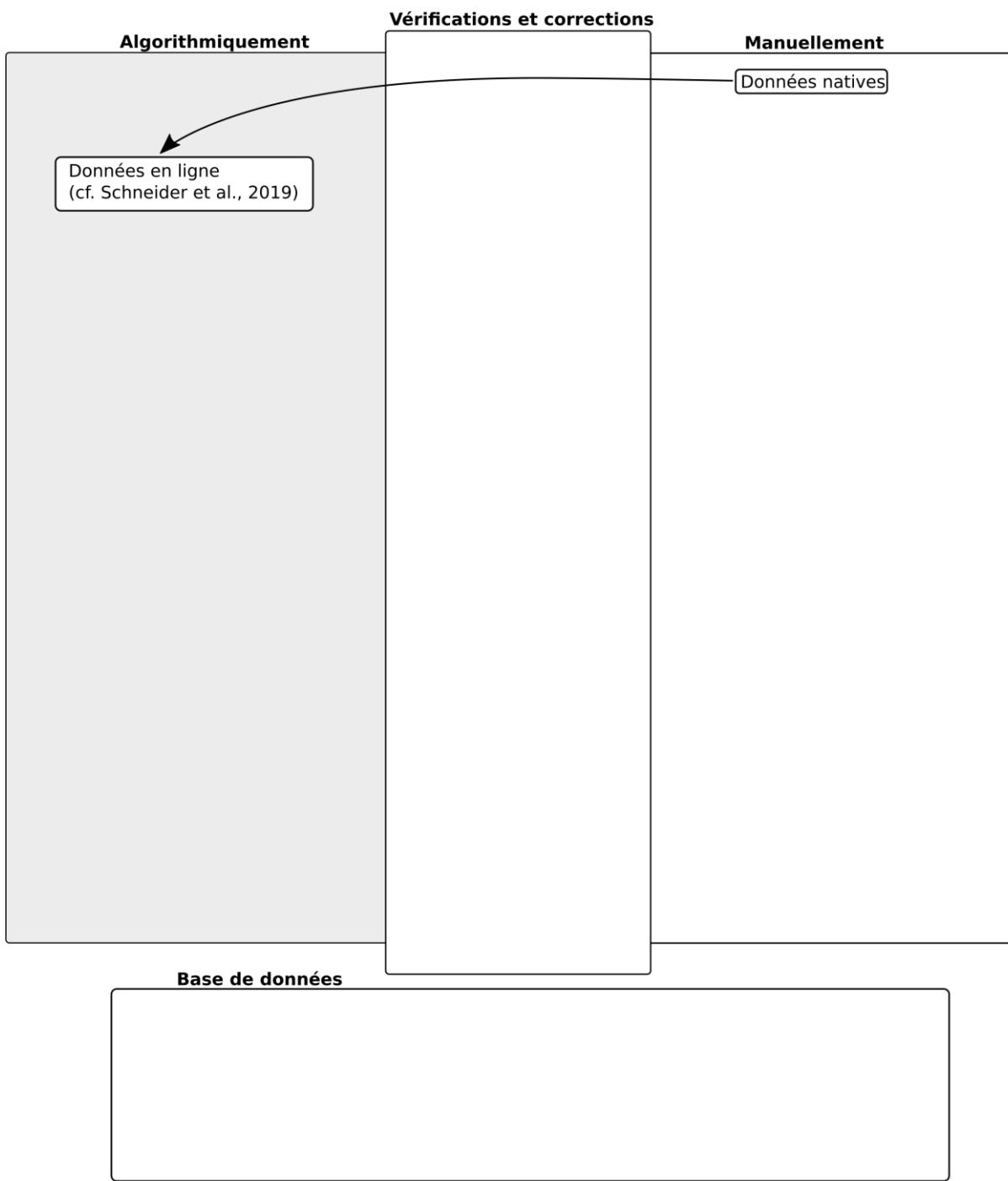
Structuration des (méta)données

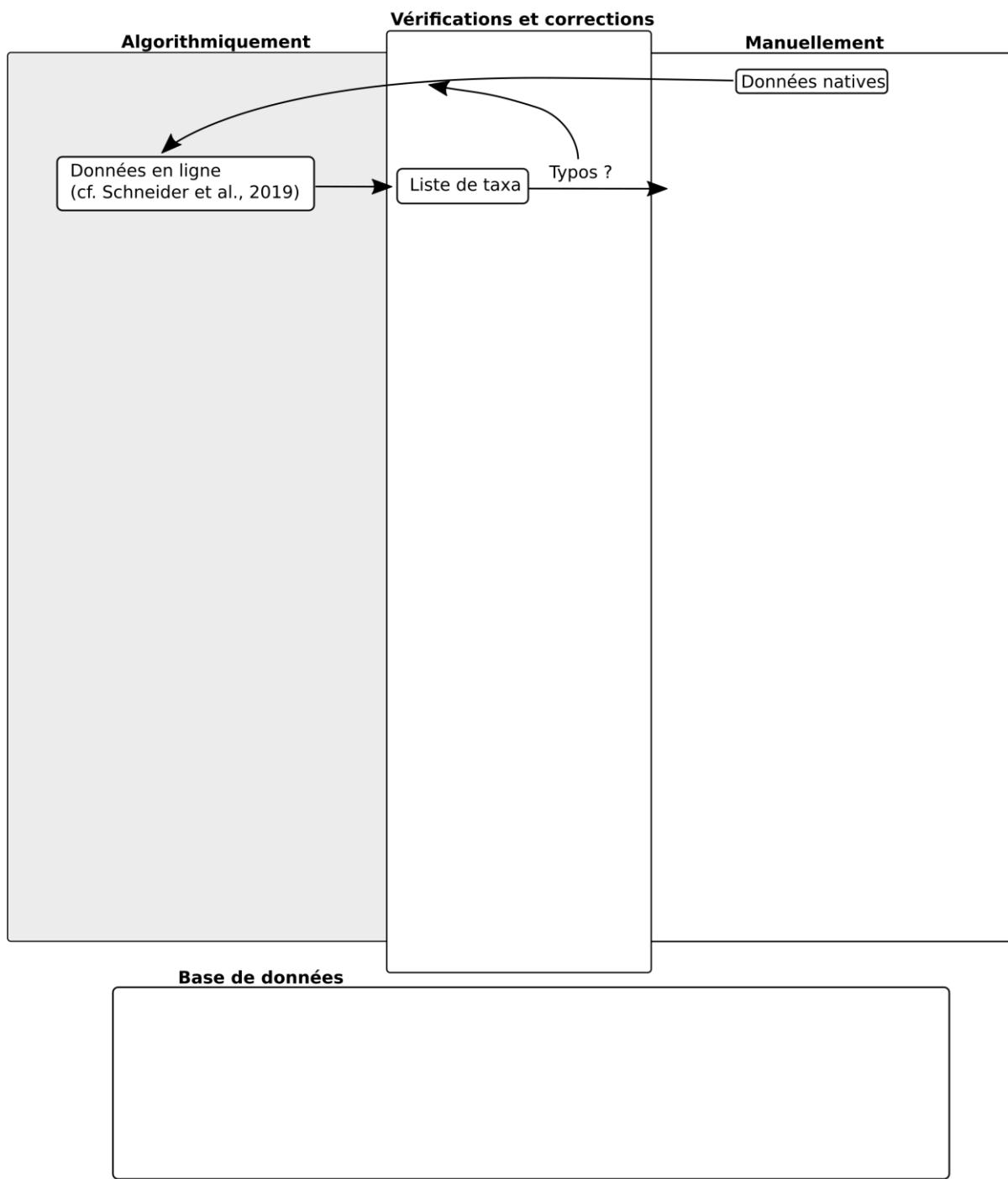


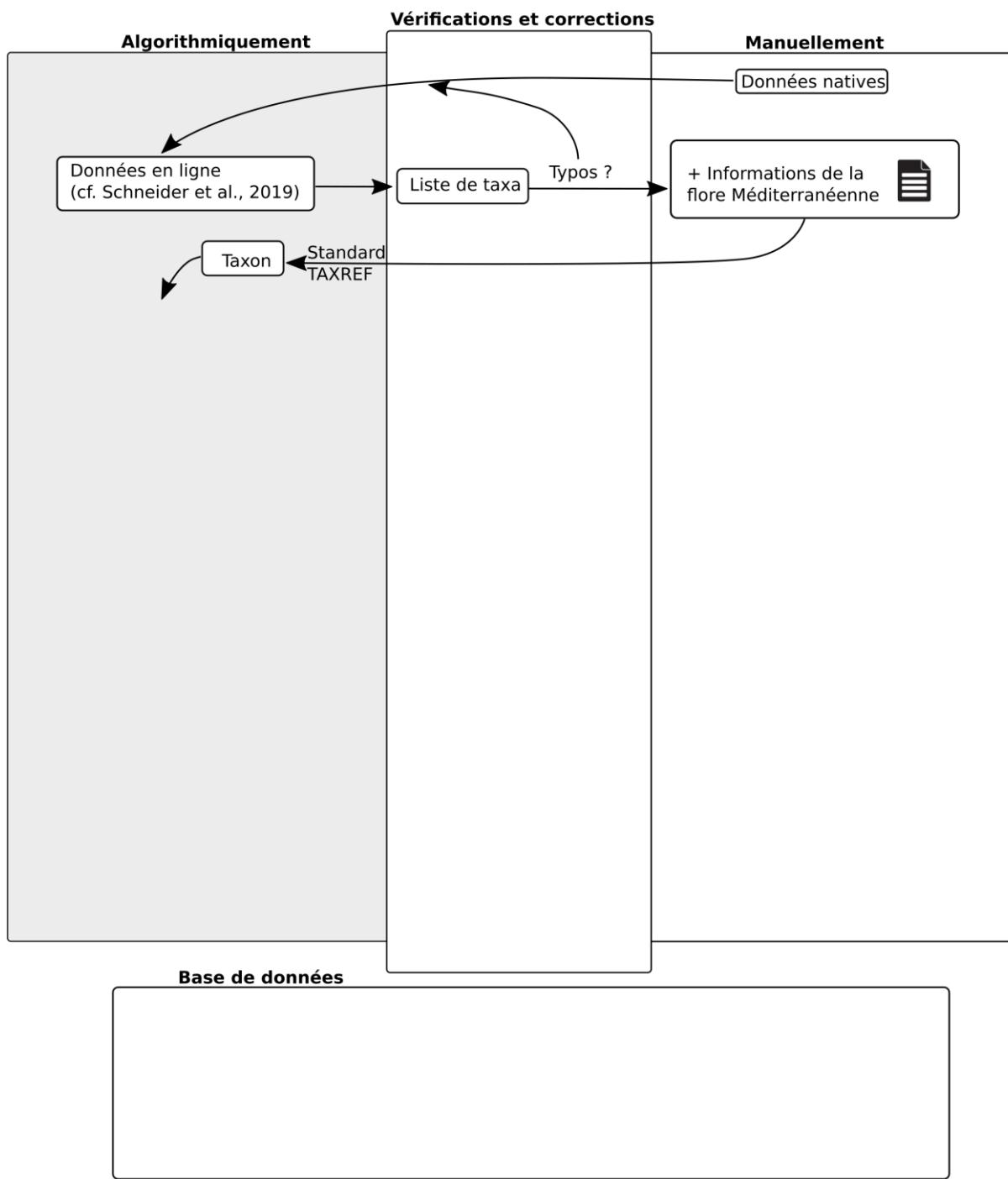
Traits	traitValues
	Species siteName traitPlot envPlotID traitName verbatimTraitValue traitID measurementMethod verbatimOccurrenceID ...
Taxon	taxon
	Species Family LifeForm nameAccordingTo ScientificNameID ...
Environnement	meteoSitesYear
	siteName siteMeteoStationName siteMeteoStationMAT siteMeteoStationMAP ...
	meteoSitesMonth
	environmentalPlots
	envPlotID plotLatitude plotSoilType plotpH plotCEC ...
Contexte de la recherche	Projects PublishedPapers Authors
Métadonnées	descriptionOfVariables
	file variable variableType description
Fichiers techniques	MoFTraits plots_corresp_envt mappingGBIF

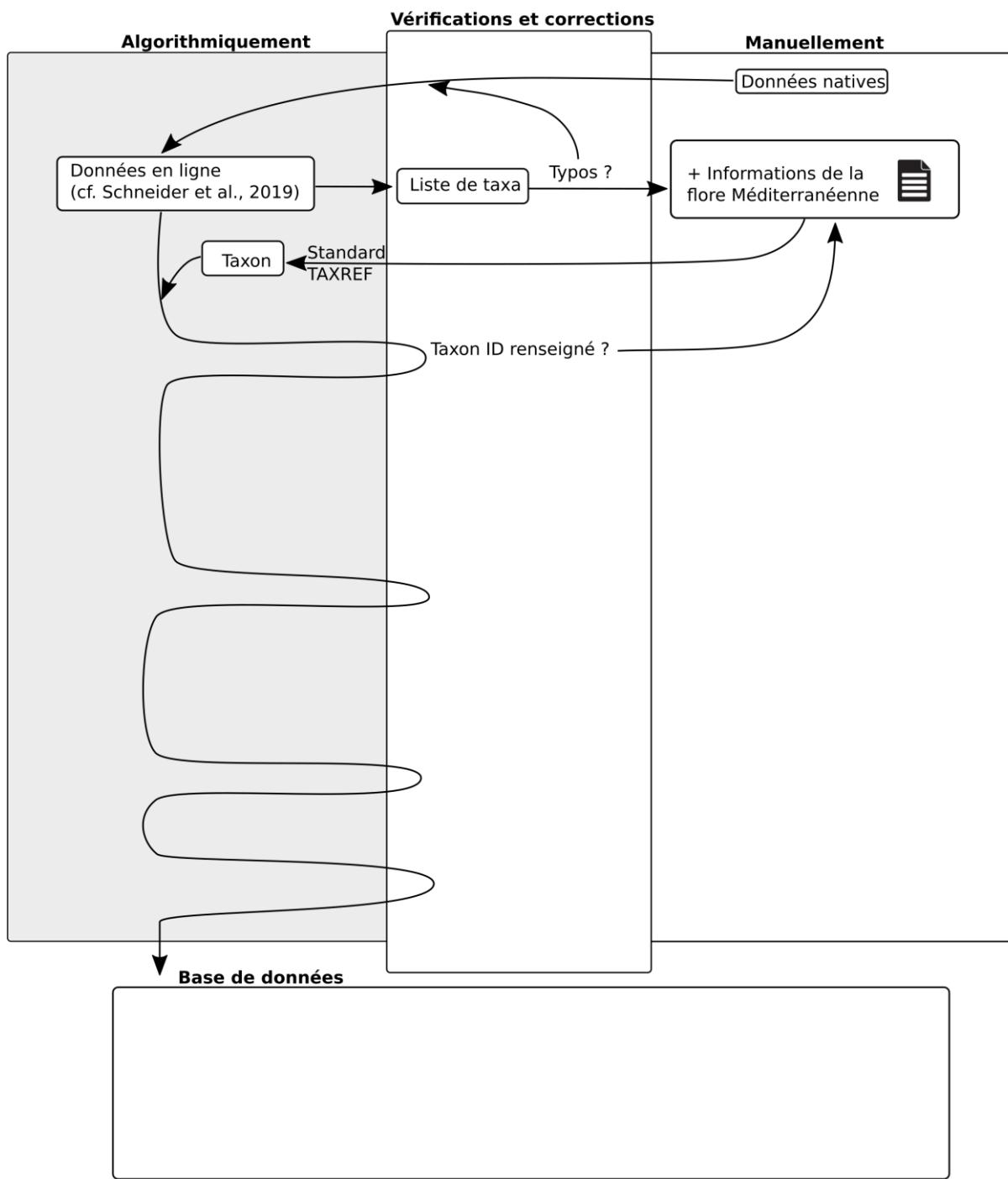
Structuration des (méta)données

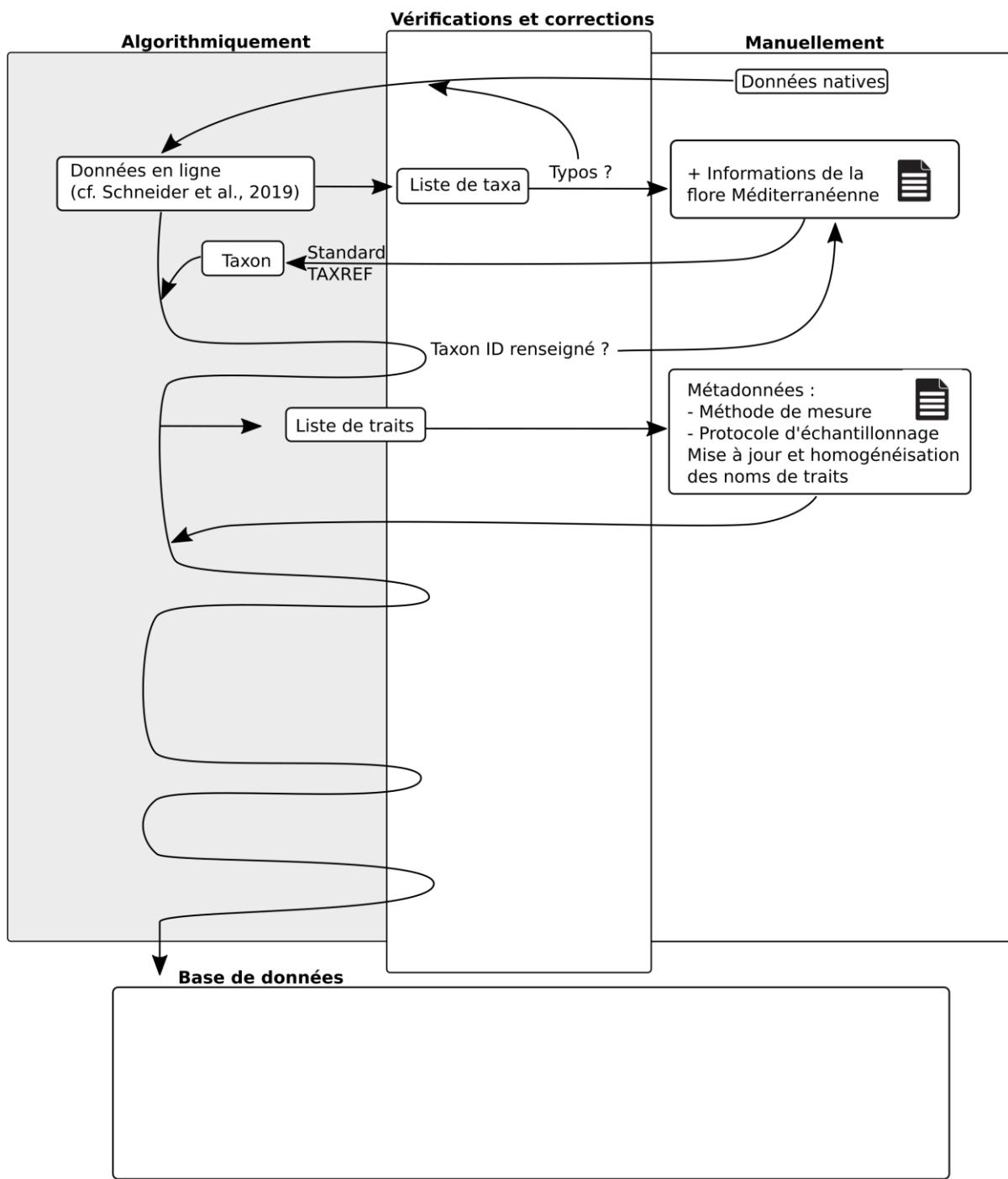


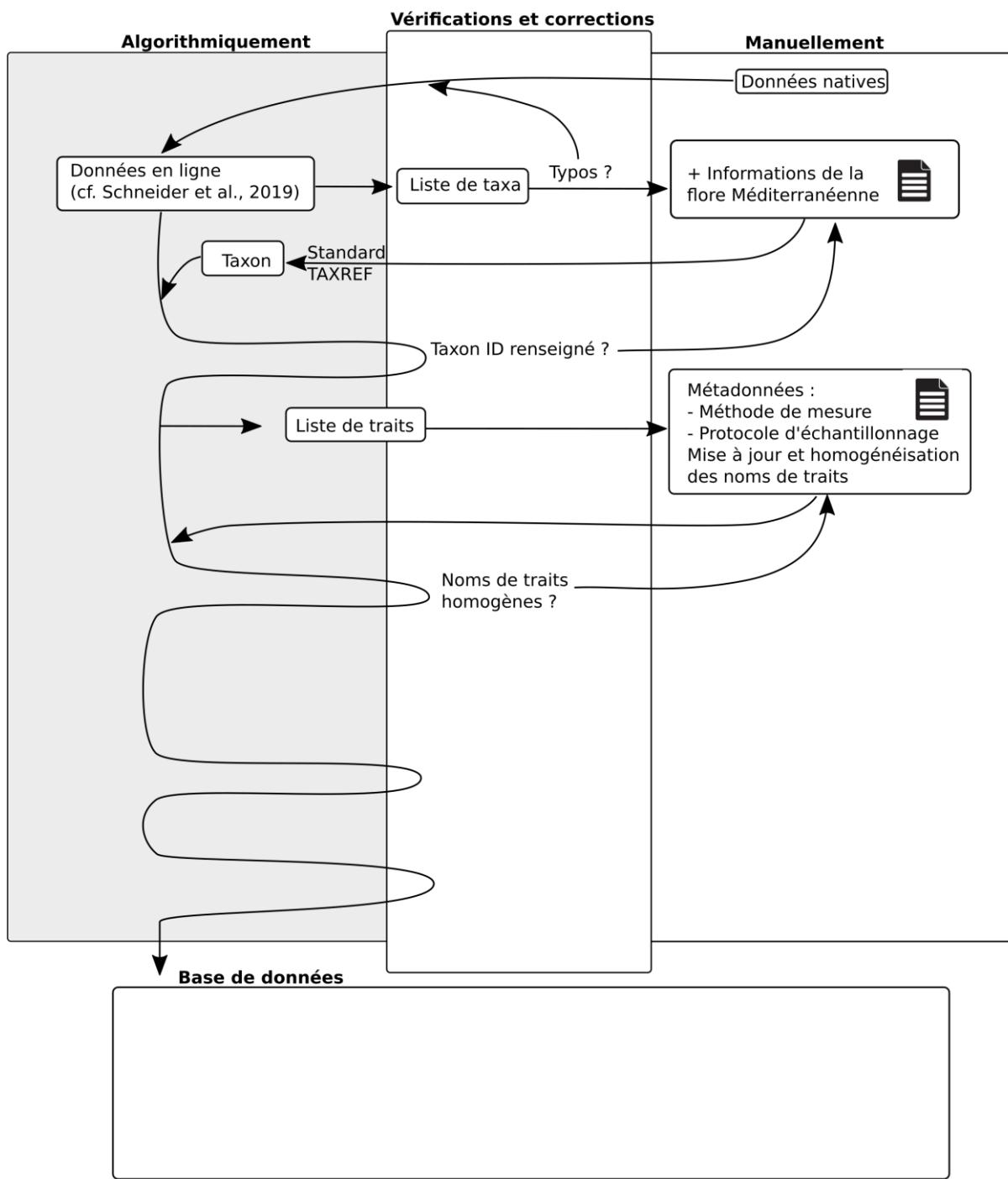


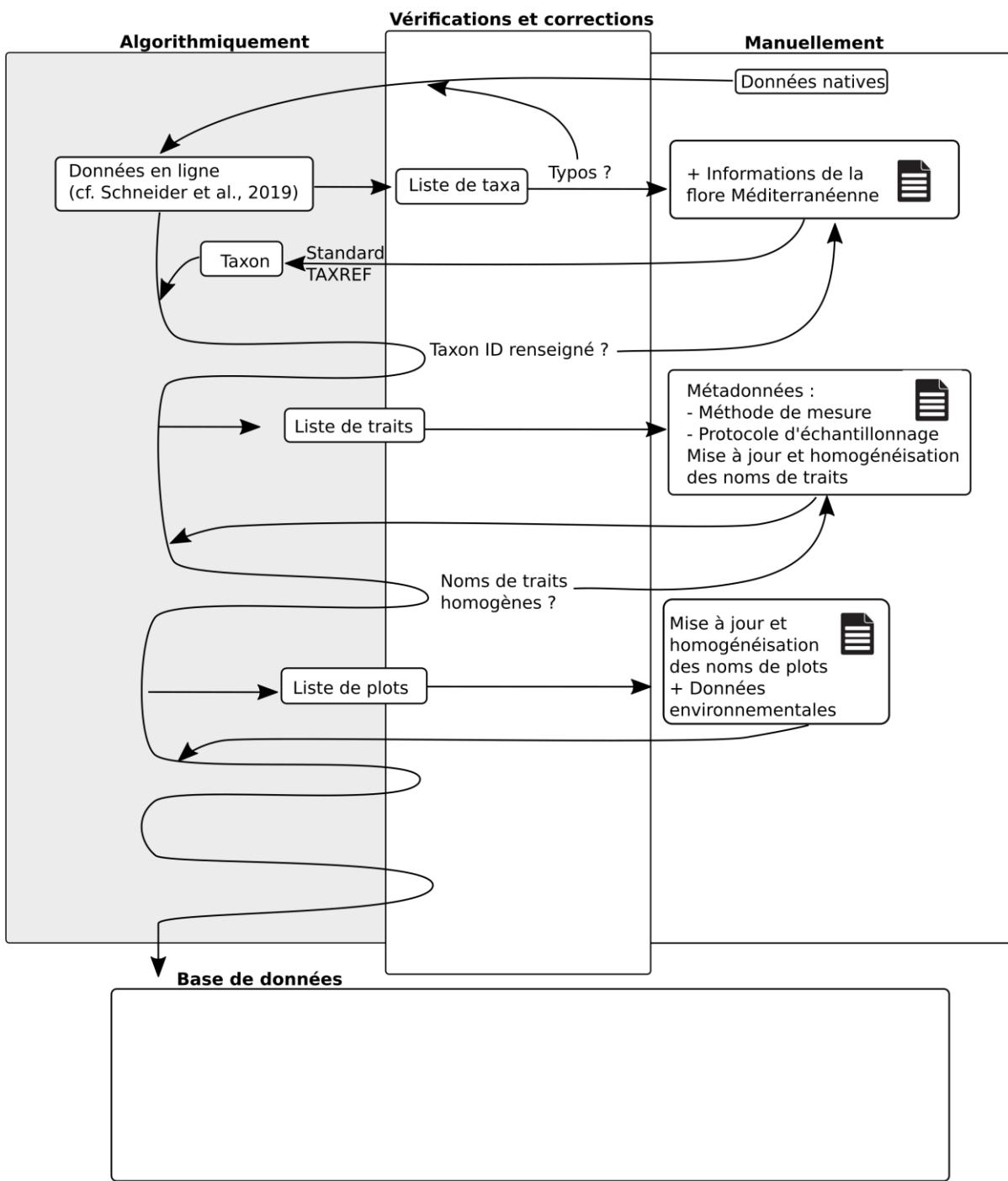


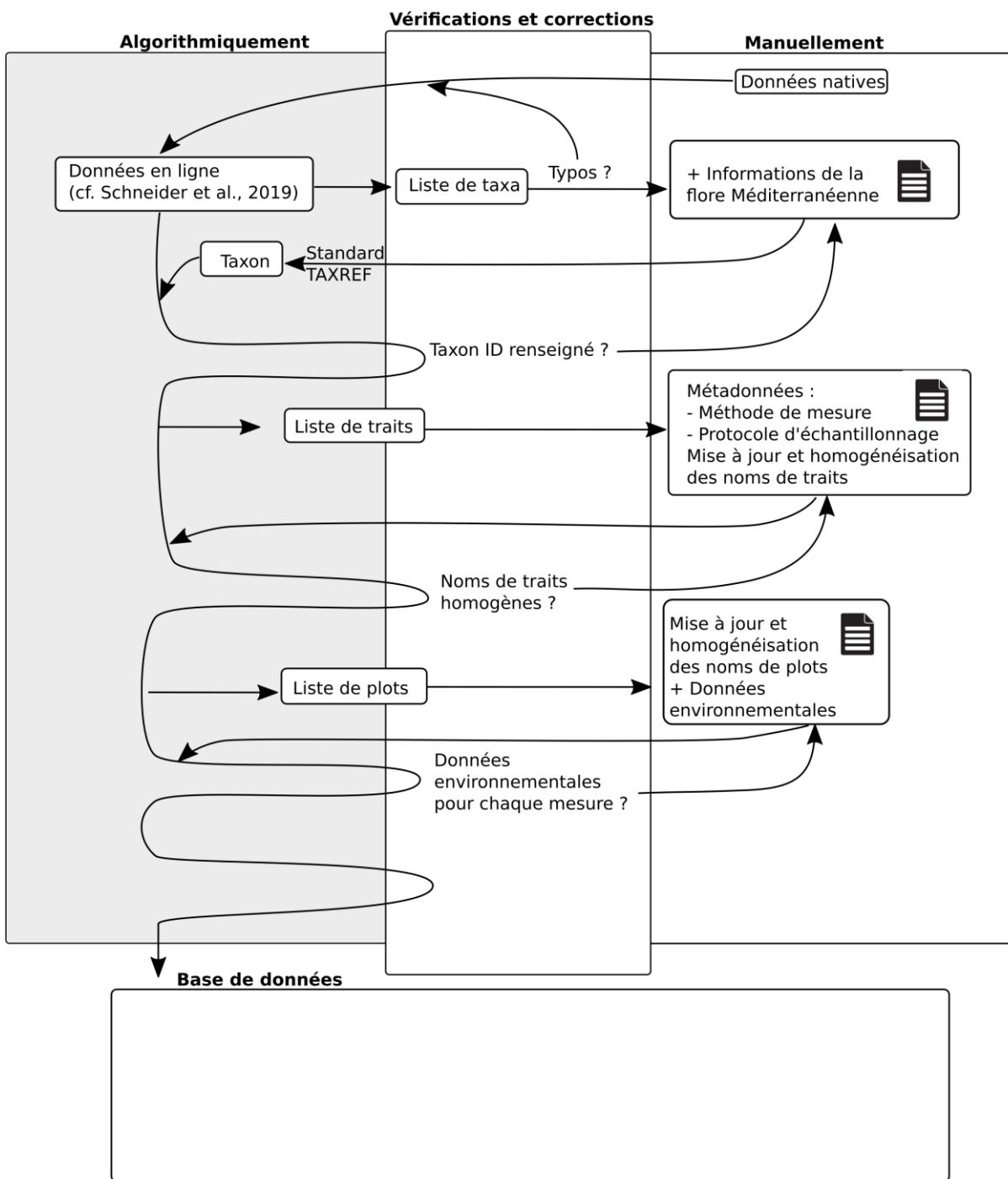


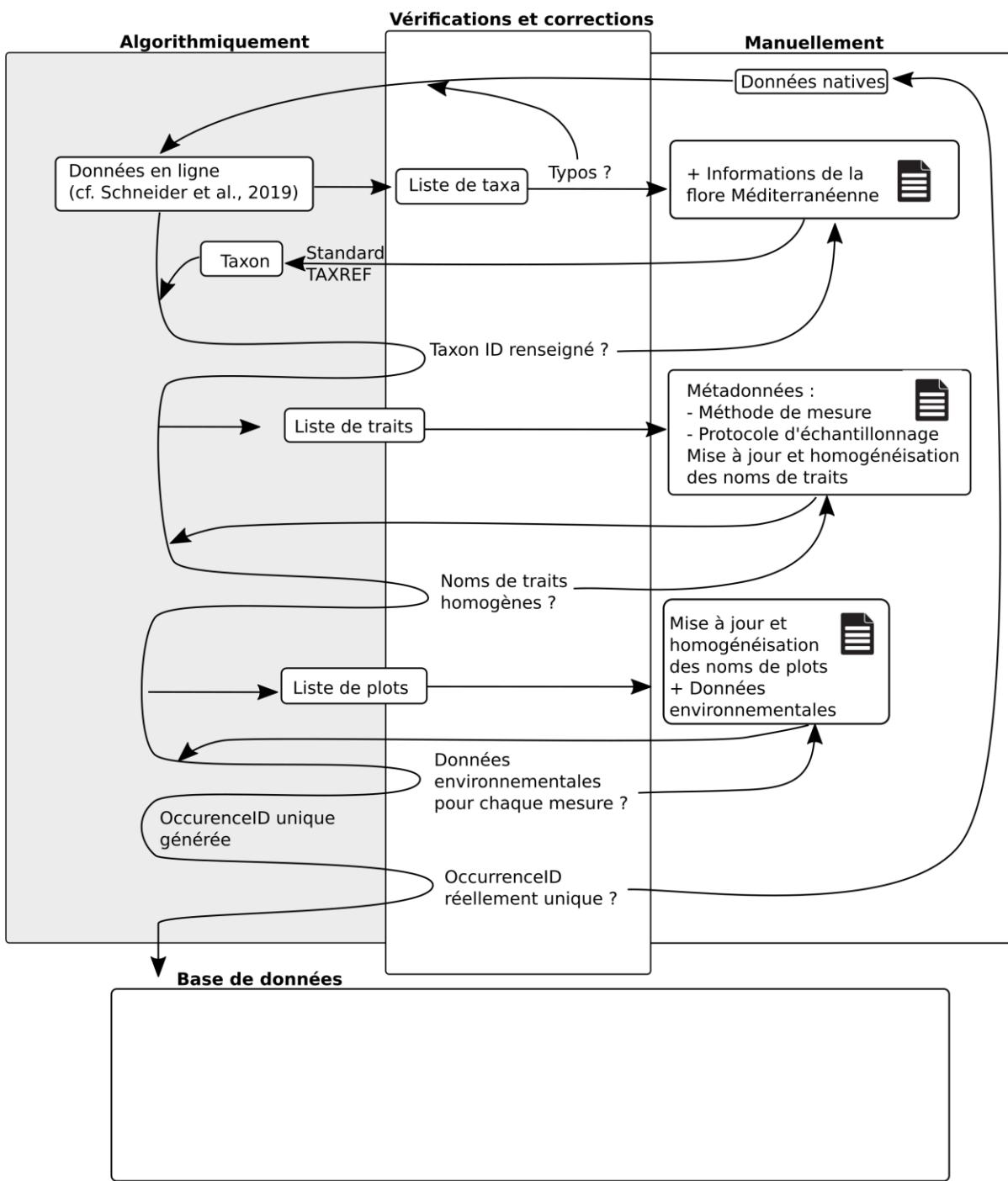


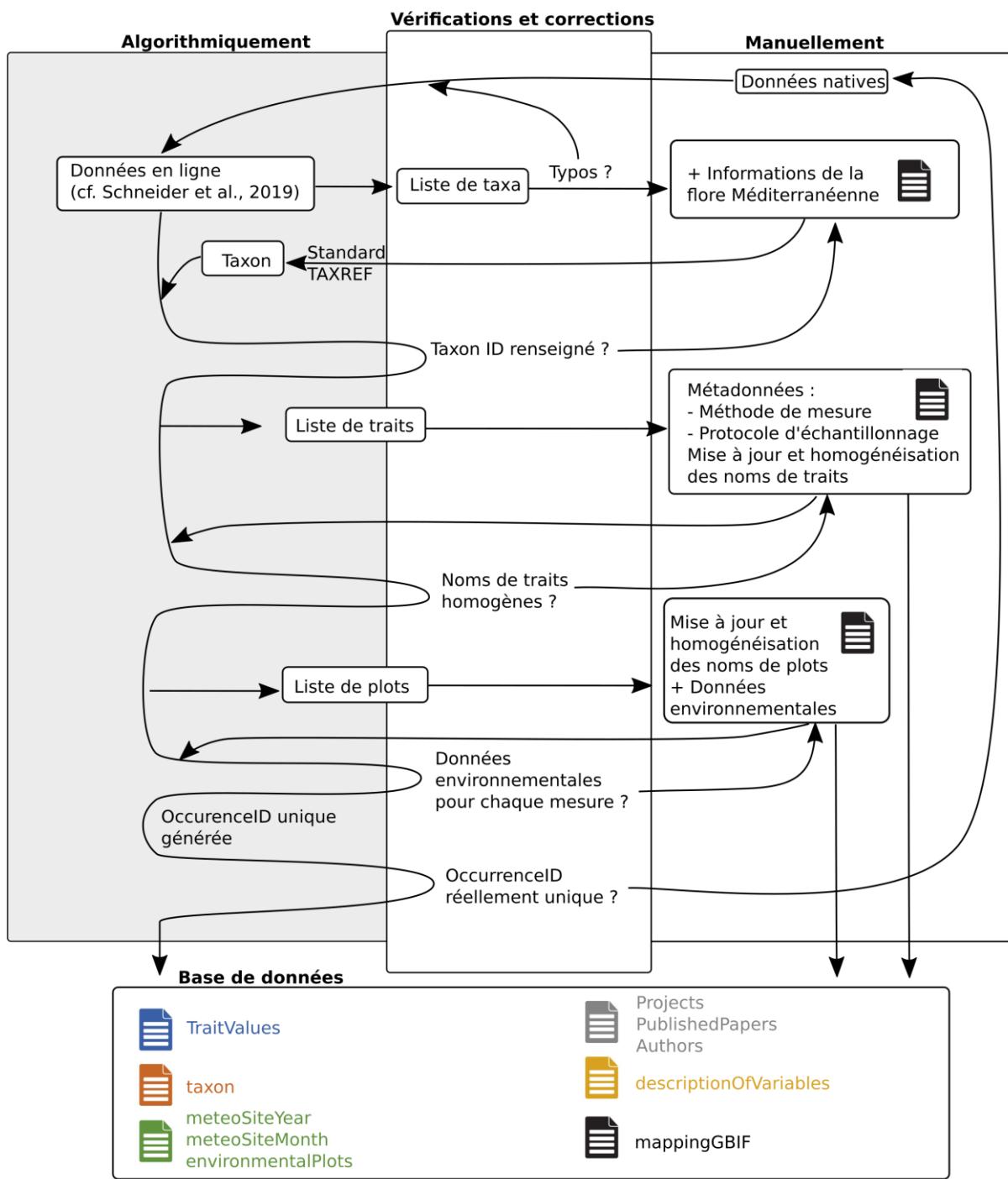




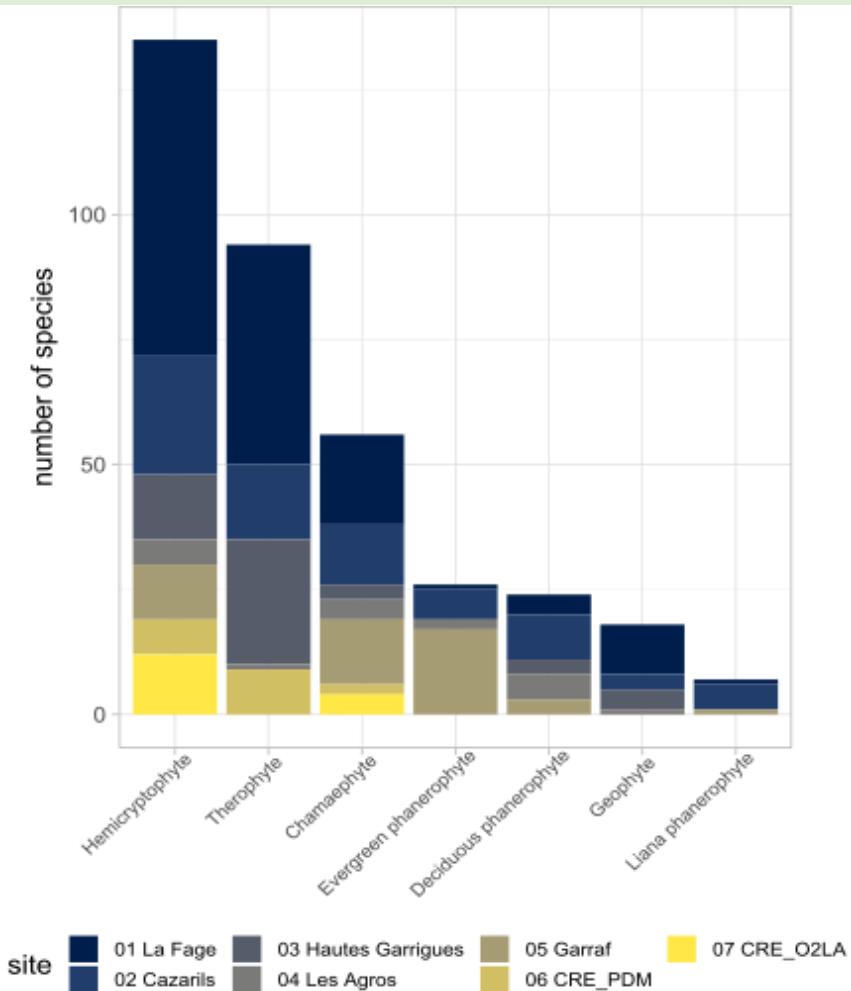
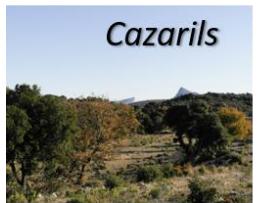








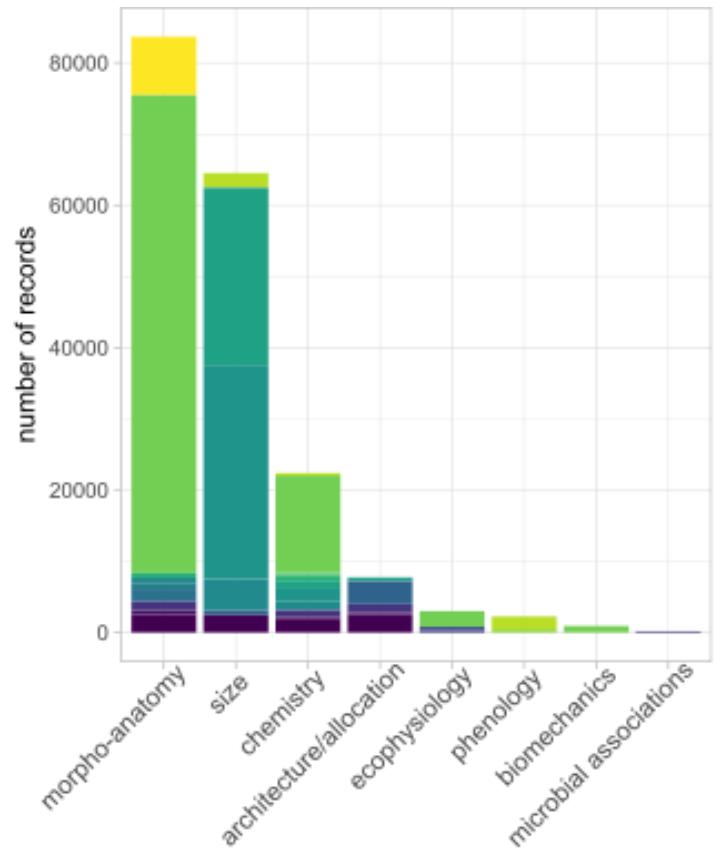
FAIRTraits: a methodologically and semantically enriched data base of plant traits from Mediterranean populations of 241 species



FAIRTraits: a methodologically and semantically enriched data base of plant traits from Mediterranean populations of 241 species



01 mature seed	04 mature leaf	05 repro. shoot	06 stem	10 absorptive roots
02 fruit	04 repro. shoot	05 veget. shoot	07 whole plant	10 deep absorptive roots
03 repro. organ	04 veget. shoot	05 whole shoot	08 leaf litter	10 transport roots
04 leaf cohort	04 whole shoot	06 sheath	09 stem litter	10 whole root system



Conclusion de la partie 3

Bases de données, plasticité,
groupes d'espèces...



Inter- and intra-specific trait shifts among sites differing in drought conditions at the north western edge of the Mediterranean Region*

Eric Garnier^{a,*}, Denis Vile^{a,1}, Catherine Roumet^a, Sandra Lavorel^{a,2}, Karl Grigulis^{a,2}, Marie-Laure Navas^b, Francisco Lloret^{c,d}



Données locales

Trends in
Ecology & Evolution 2023

Opinion

'Small Data' for big insights in ecology

Lindsay C. Todman , ^{1,*} Alex Bush , ^{2,*} and Amelia S.C. Hood

Managing data locally to answer questions globally: The role of collaborative science in ecology

Journal of Vegetation Science 2019

Isabelle Aubin¹ | Françoise Cardou^{1,2} | Laura Boisvert-Marsh¹ |
Eric Garnier³ | Manuella Strukelj⁴ | Alison D. Munson⁴

Standard de données

vs.

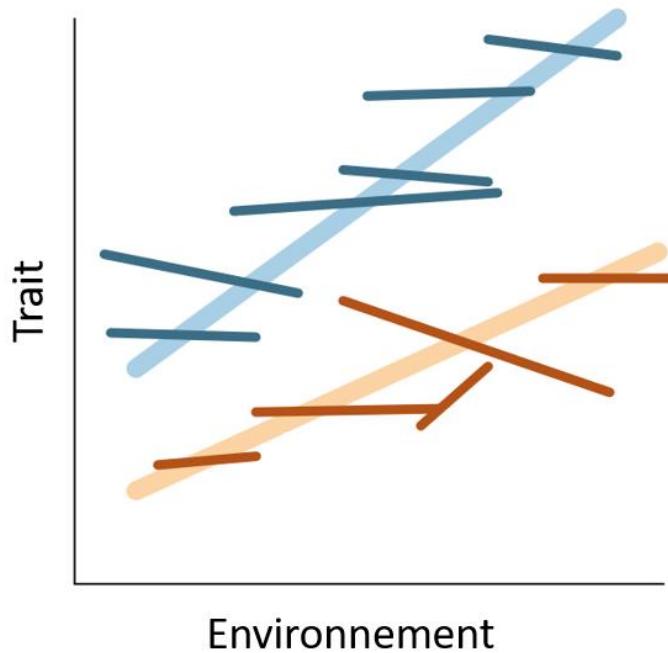
Standard de métadonnées

- Darwin Core
- Ecological Trait data Standard

- Ecological Metadata Language

Discussion et perspectives

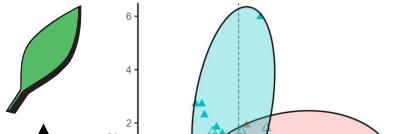
Synthèse des résultats



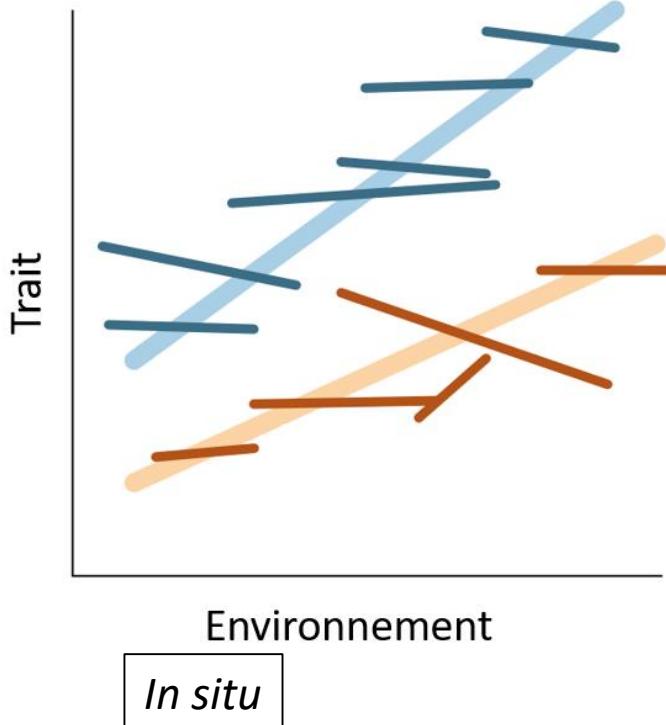
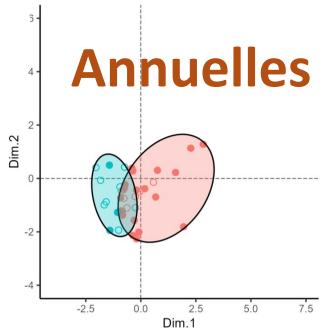
Les variations de traits avec l'environnement dépendent du groupe d'espèces

Partie 1

LDMC Pérennes



Annuelles

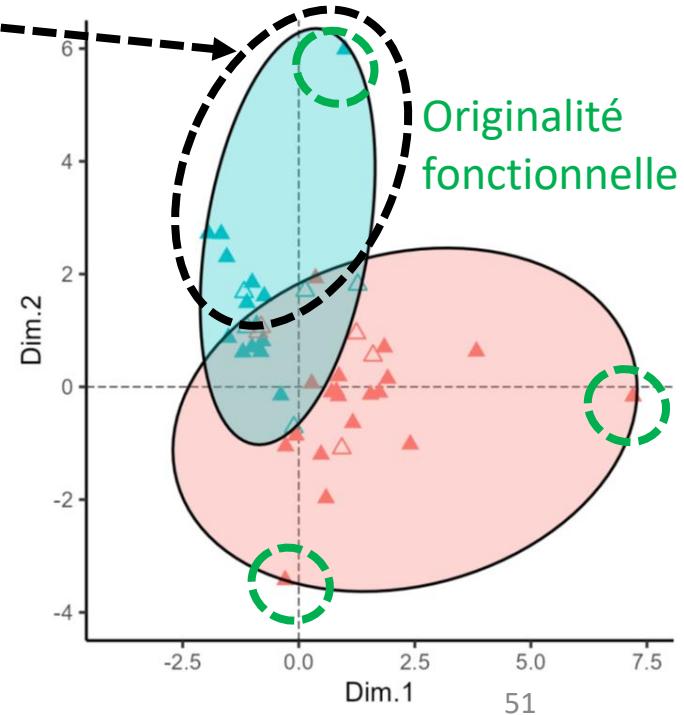
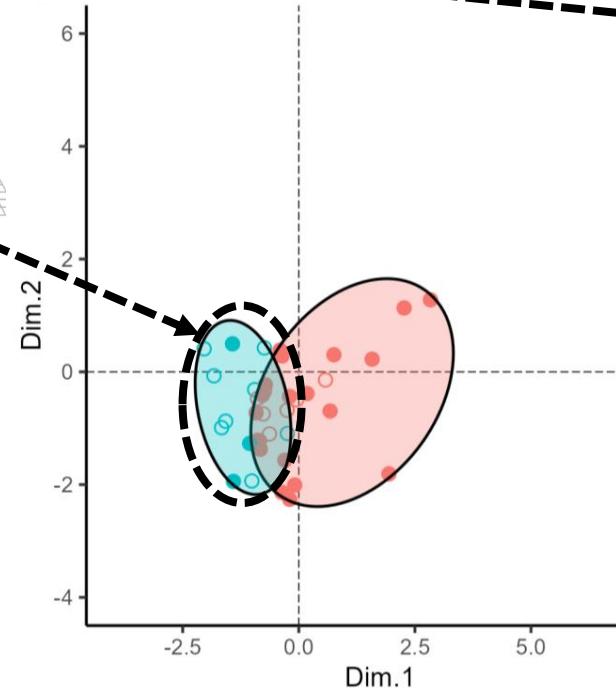
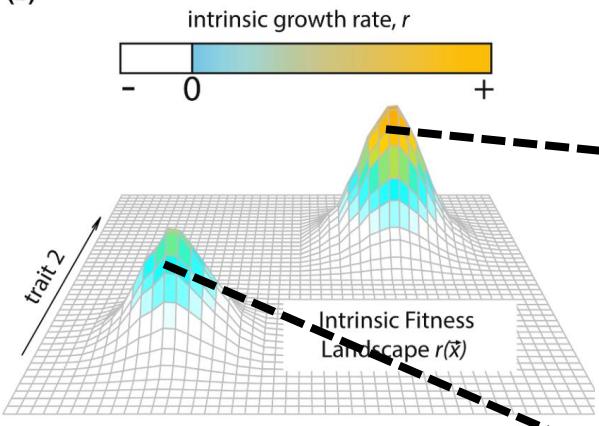


Des optima multiples de valeur de trait ?



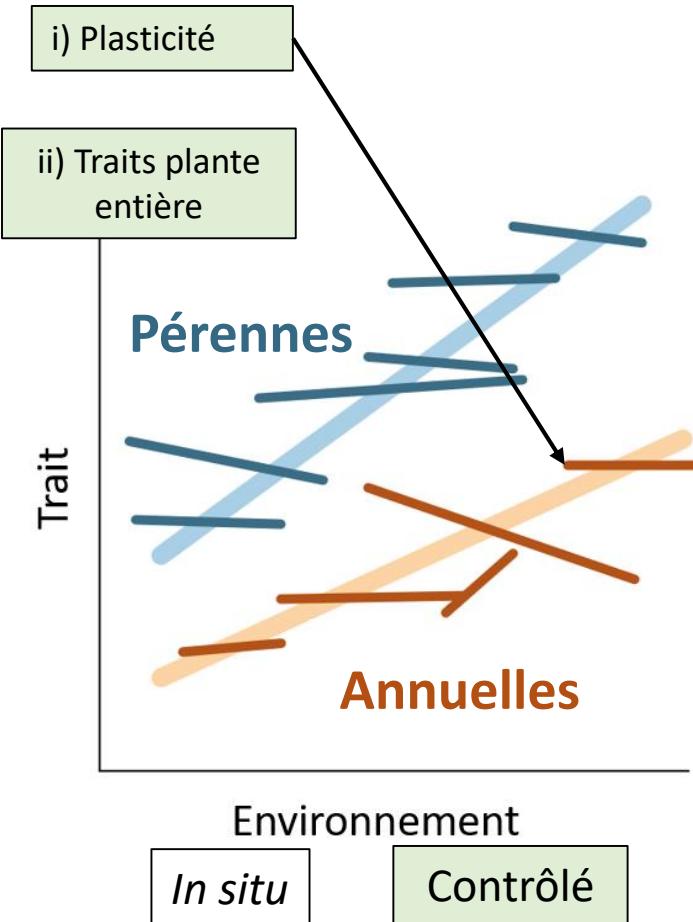
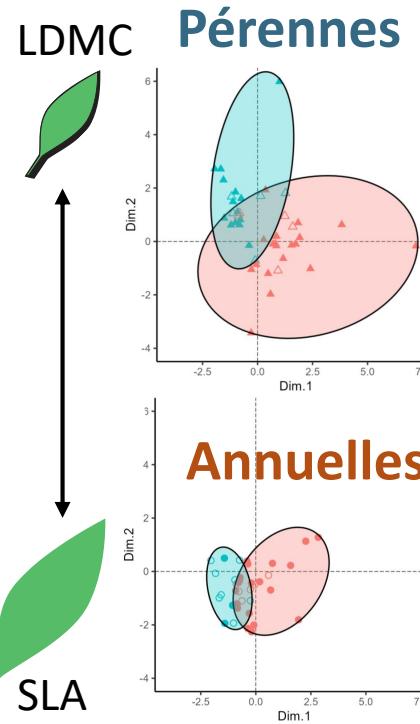
Pérennes

(b)



Une réponse plastique à la fertilisation de certains traits seulement

Partie 1



Partie 2

N-

N+



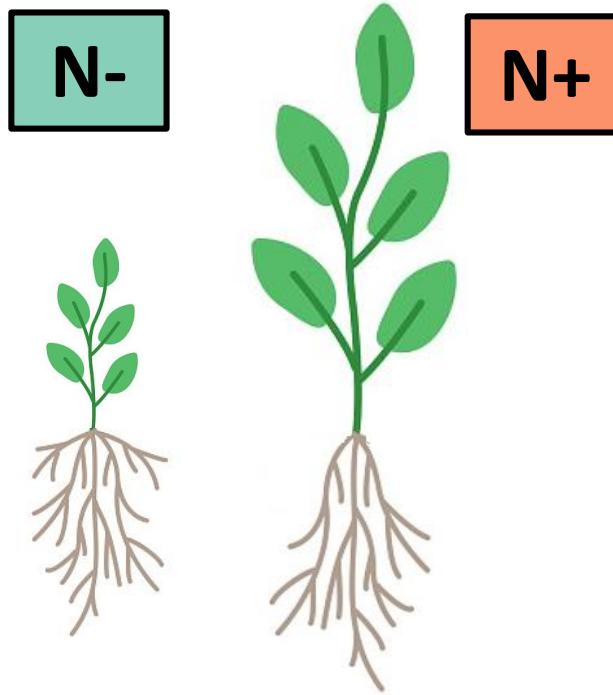
Plasticité :

- Teneur en azote de la plante
- Masse de la plante
- Allocation aux racines

Quels traits racinaires en réponse à un déficit en nutriments ?



Hornungia petraea



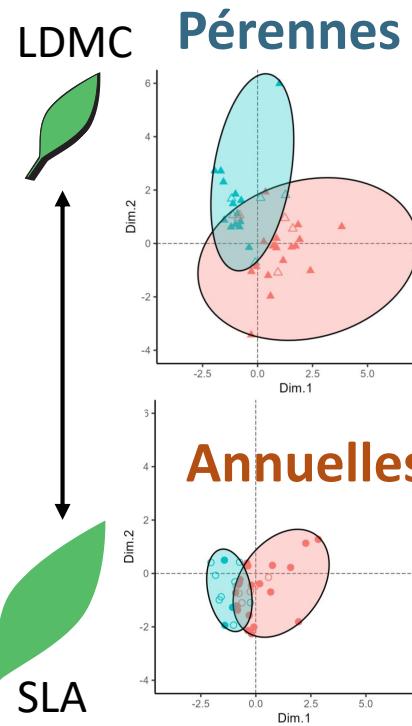
Hornungia petraea

Augmentation de la surface d'échange racinaire :

1. Allocation aux racines
2. Longueur spécifique racinaire (SRL)
3. Intensité de branchement
3. Poils absorbants ?
4. Associations mycorhiziennes ?

La plasticité n'est pas toujours prédictée par les valeurs de traits

Partie 1



i) Plasticité

ii) Traits plante entière

iii) Plasticité de la teneur en azote variable selon les besoins en nutriments, mais pas le SLA

Pérennes

Annuelles

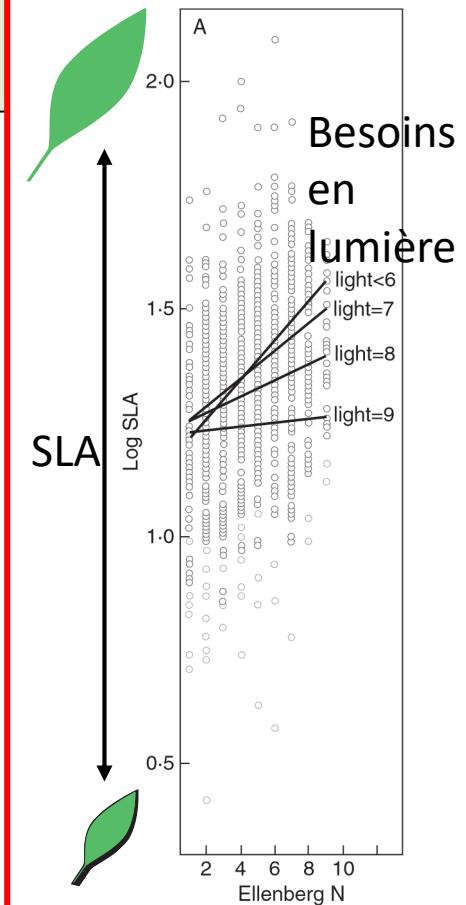
Trait

Environnement

In situ

Contrôlé

Partie 2



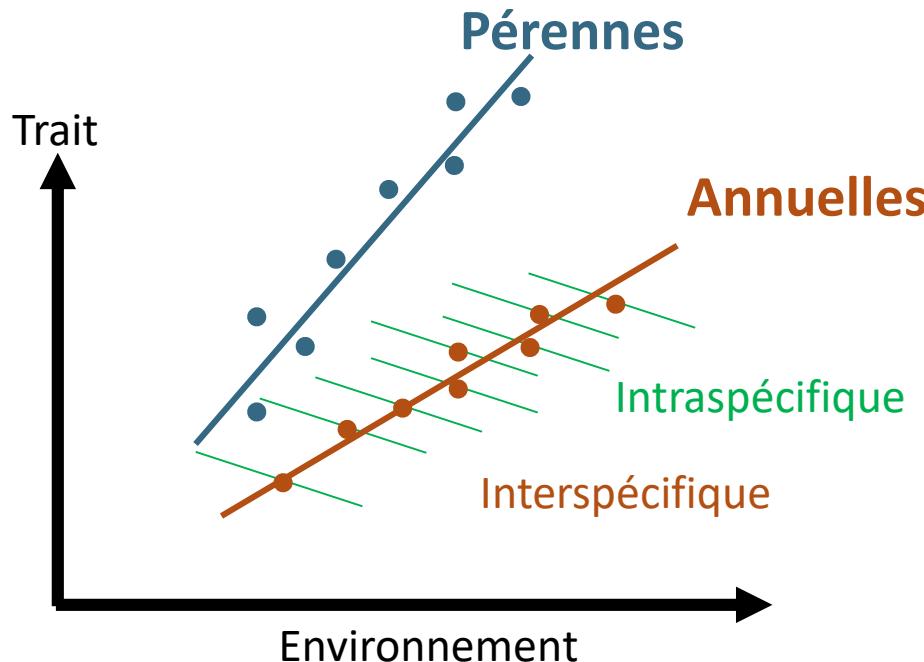
Relations trait-environnement et dépendance au contexte

"Context dependence arises when ecological relationships vary in magnitude or sign, depending on the conditions under which they are observed."

Catford et al., TREE, 2022

- Groupe d'espèces considéré
- Niveau d'organisation biologique

- Conditions de mesure



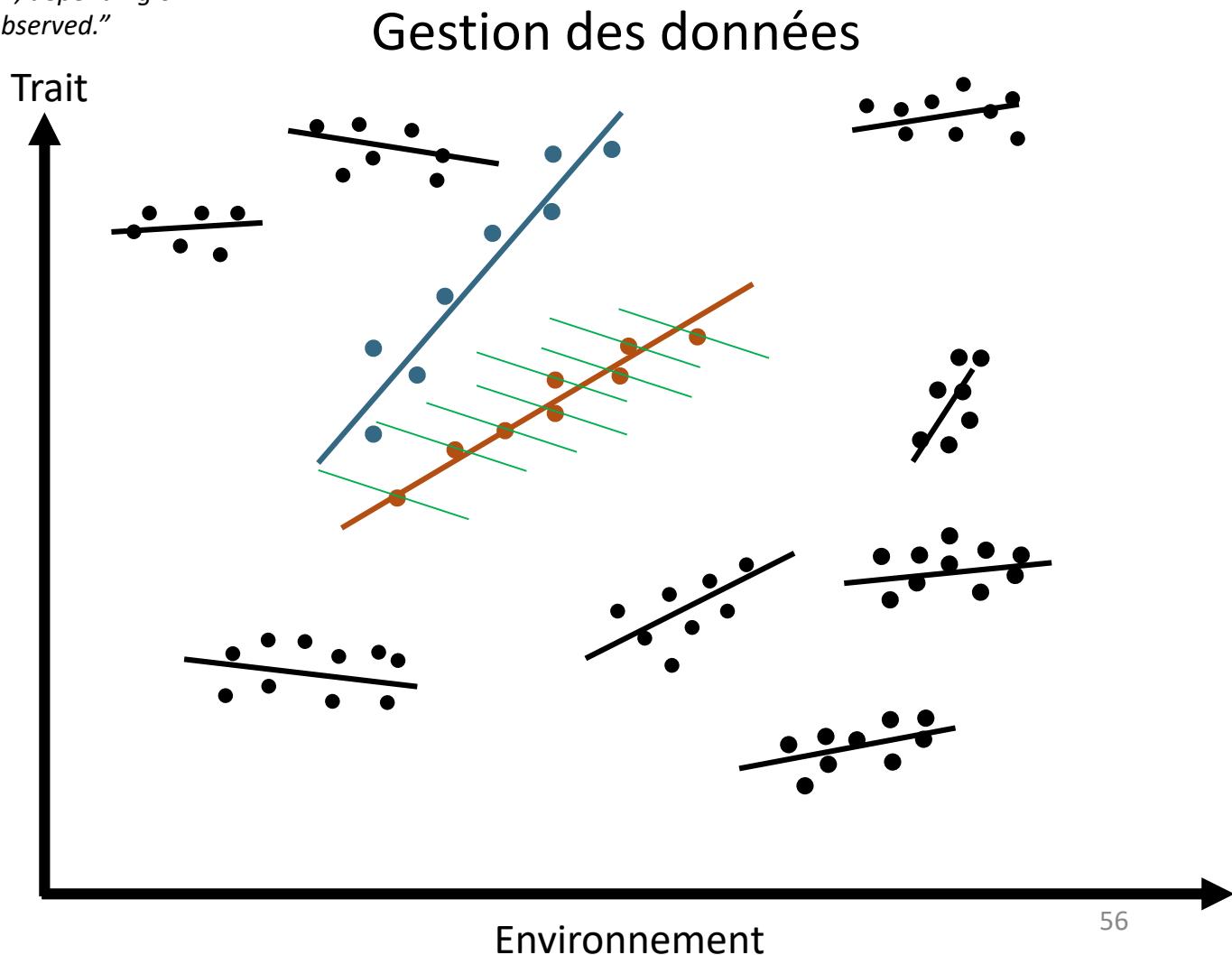
Quelles variables sont mesurées ?

Types de dépendance au contexte

"Context dependence arises when ecological relationships vary in magnitude or sign, depending on the conditions under which they are observed."

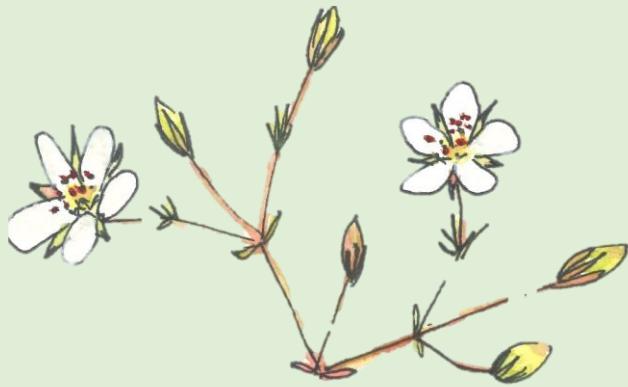
Catford et al., TREE, 2022

- Groupe d'espèces considéré
- Niveau d'organisation biologique
- Conditions de mesure



Conclusion : Cycle de vie et relations trait-environnement

- **Cycle de vie des plantes** et variations des traits avec l'environnement
 - Différences essentiellement interspécifiques
 - Trait de **taille** : variations identiques
 - Trait liés au compromis **acquisition-conservation** : variations plus fortes chez les pérennes
- Variations intraspécifiques chez les annuelles
 - Observée *in situ* à faible échelle
 - Sans doute plastiques
 - Effet de la fertilisation
 - Variations d'**allocation aux racines**, mais pas des traits de **morphologie des racines** mesurés
 - Les variations intra et interspécifiques peuvent différer en direction
 - Différence de plasticité selon les préférences écologiques des espèces
- Cycle de vie des données : pratiques de gestion des données permettant l'analyse de la dépendance au contexte



Remerciements : le cycle de vie d'un doctorant



Comité de thèse

Sylvain Coq
François Muñoz
Bill Shipley
Tanguy Daufresne

La Fage

Sébastien Douls
Sara Parisot

PACE

Raphaëlle Leclerc
Bruno Buatois

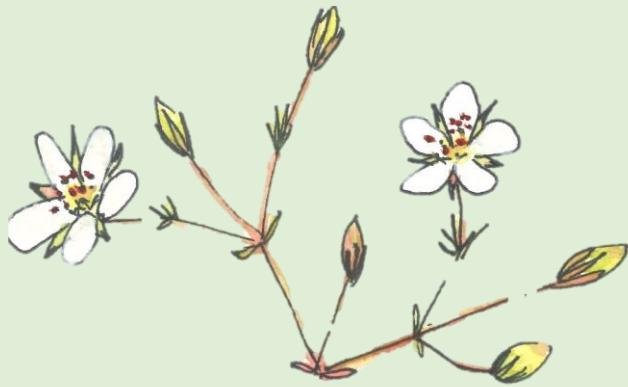


Membres du jury
de thèse



Remerciements : le cycle de vie d'un doctorant





Supplémentaire

Propriétés du sol

Gestion intensive

+ N, P

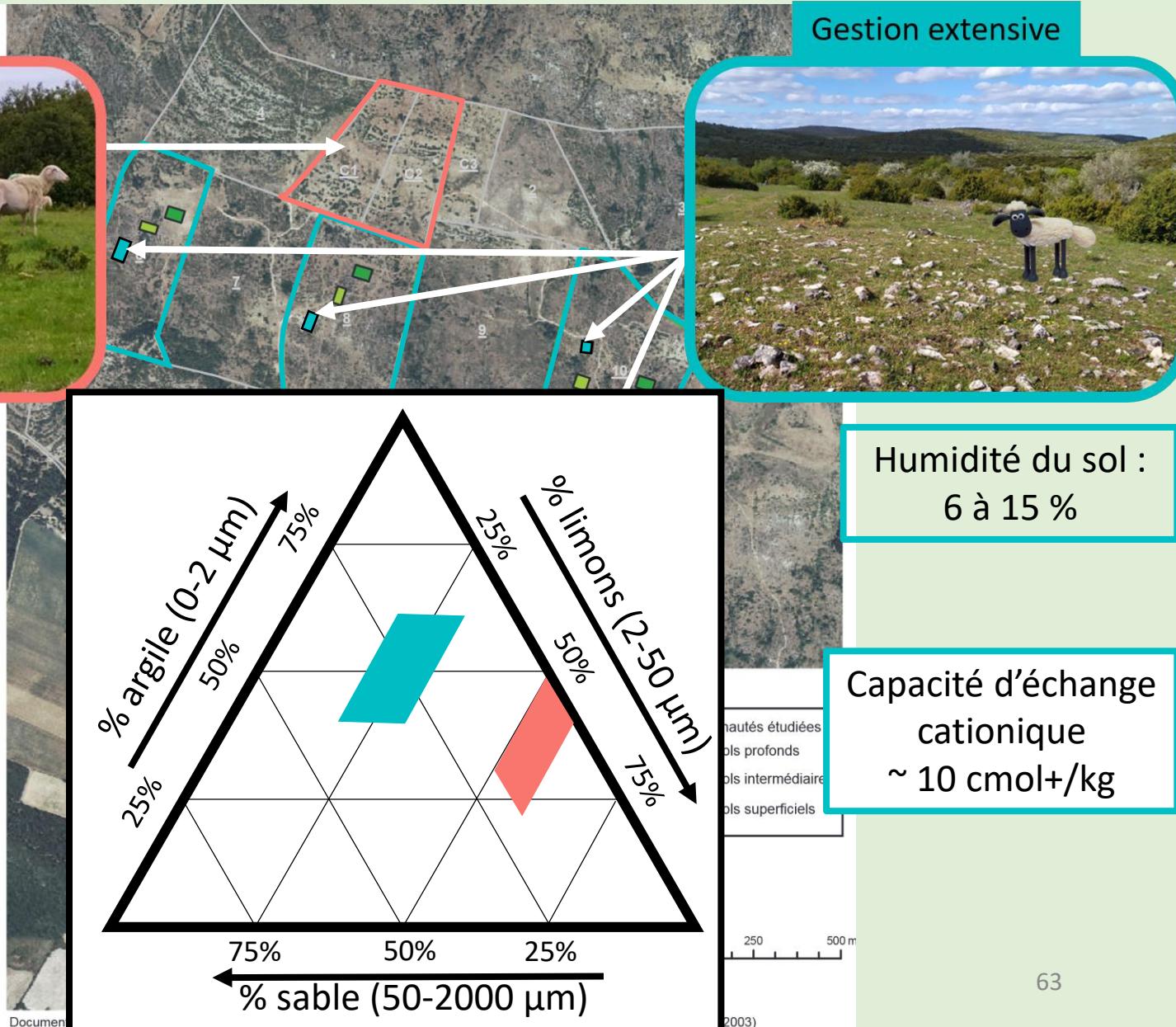
Humidité du sol :
50 à 60 %

Capacité d'échange
cationique
~ 30 cmol+/kg

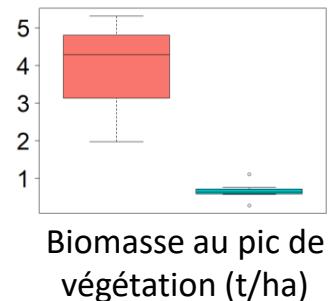
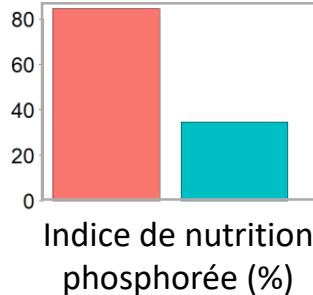
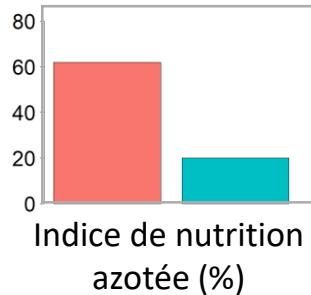
Gestion extensive

Humidité du sol :
6 à 15 %

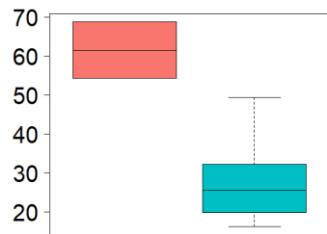
Capacité d'échange
cationique
~ 10 cmol+/kg



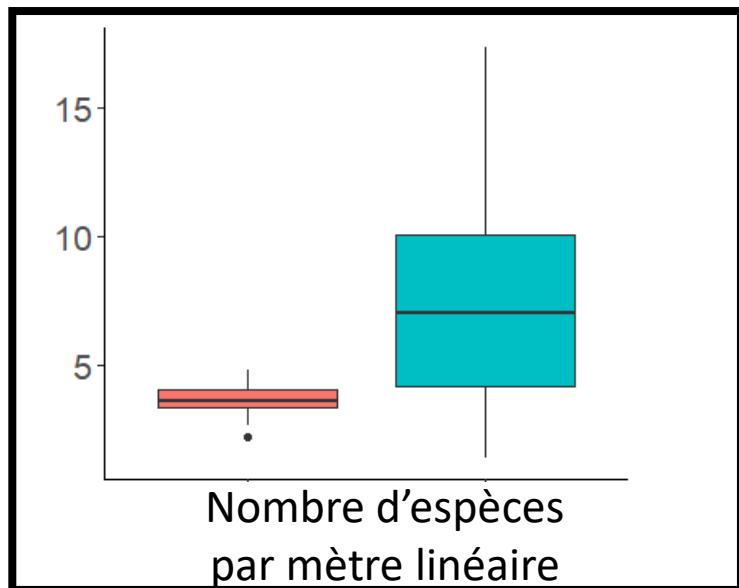
Caractérisation du milieu



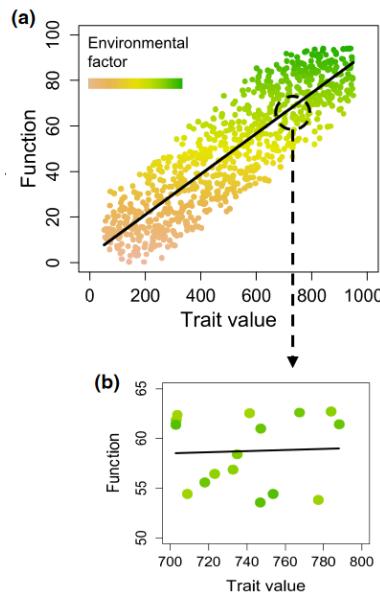
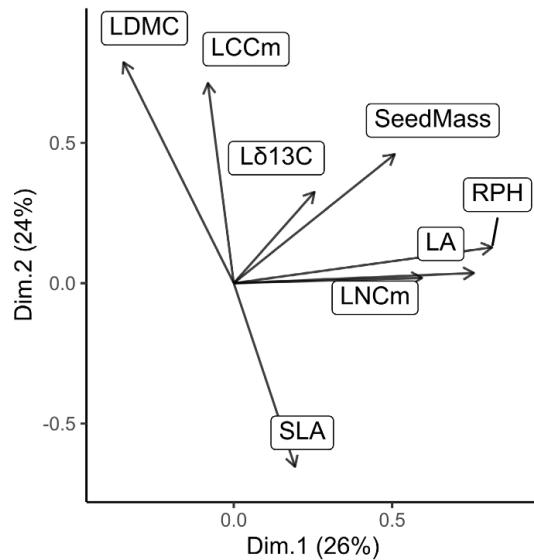
Proportion de la biomasse consommée (%)



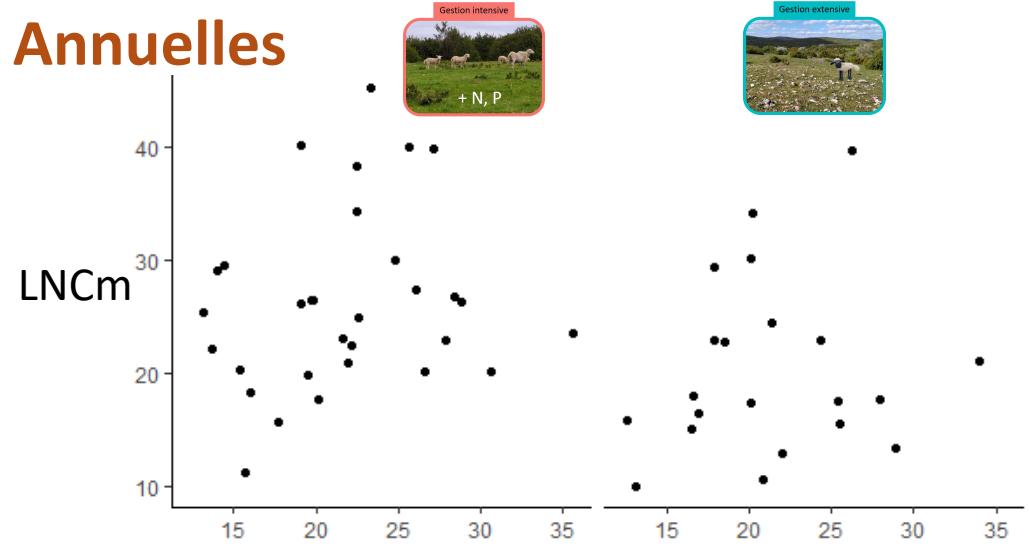
Nombre d'espèces par mètre linéaire



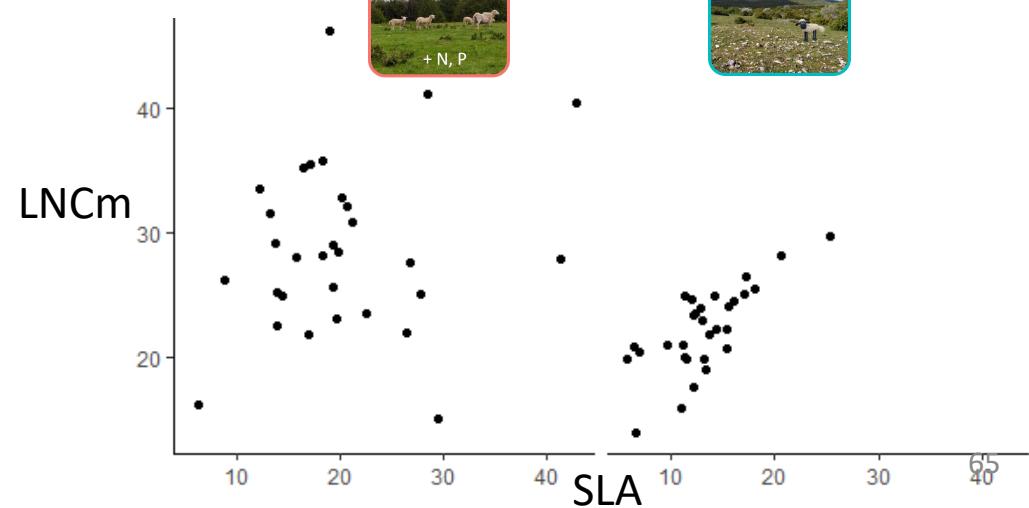
Dépendance au contexte dans les relations trait-trait



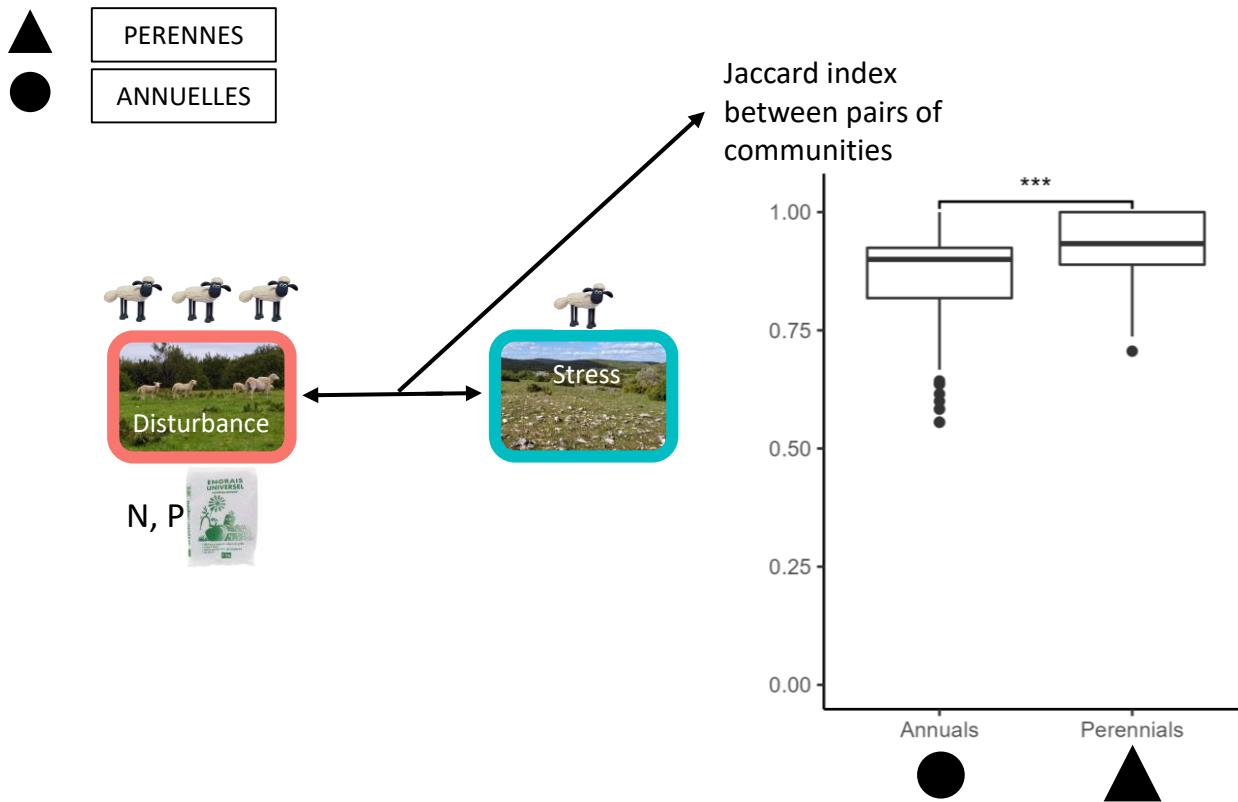
Annuelles



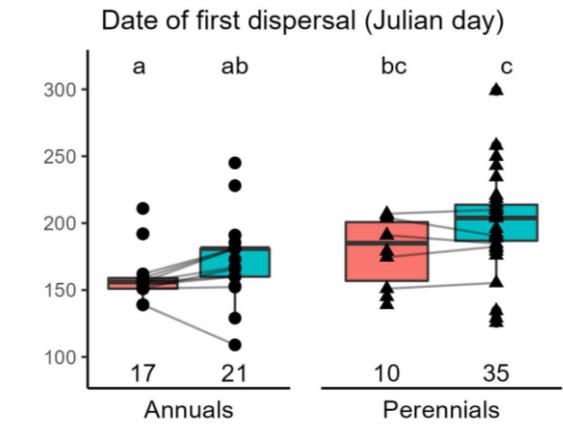
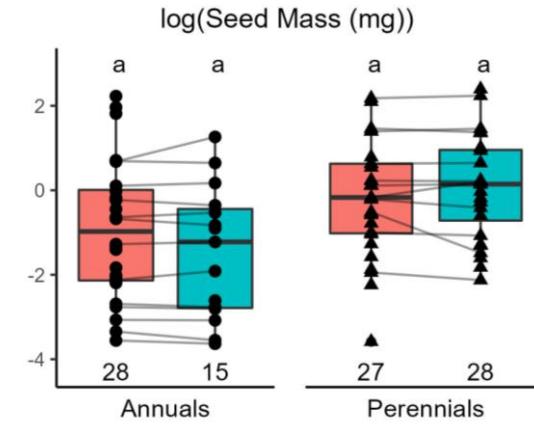
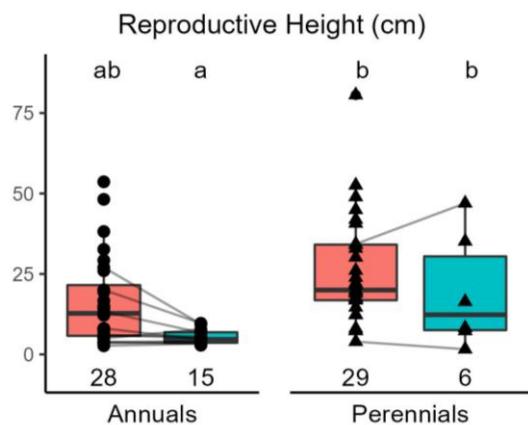
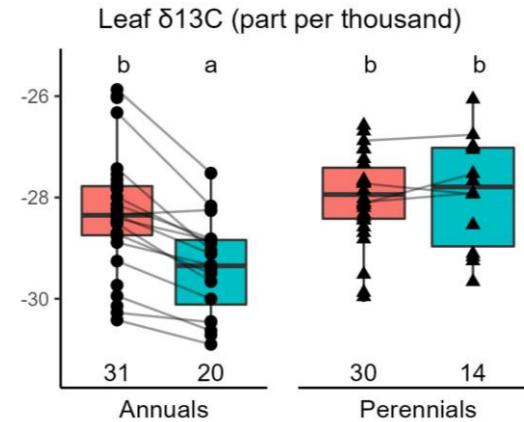
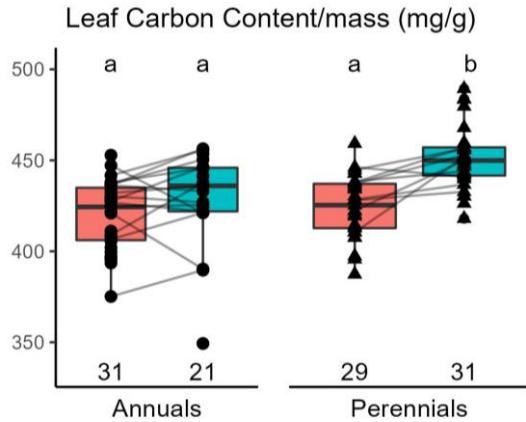
Pérennes



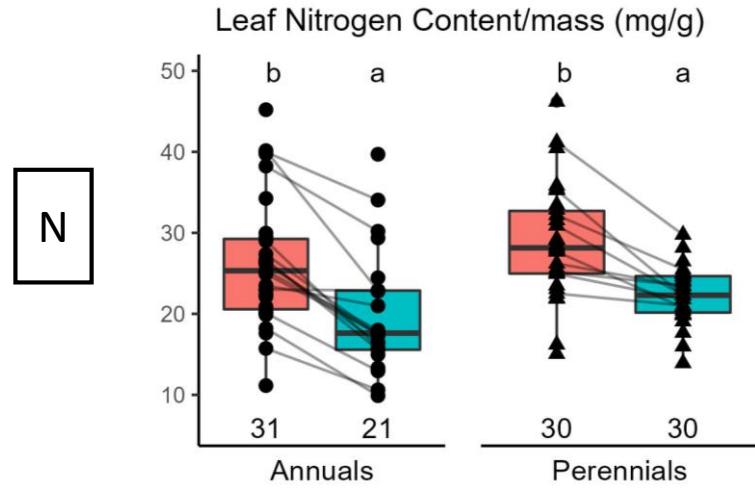
Remplacement d'espèces



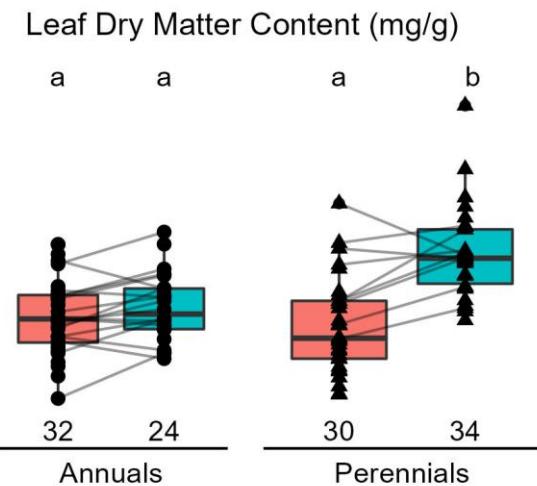
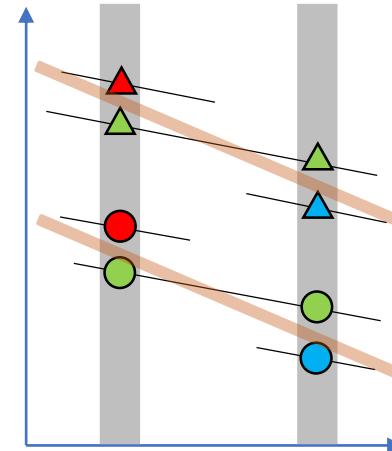
Variations *in situ* trait par trait



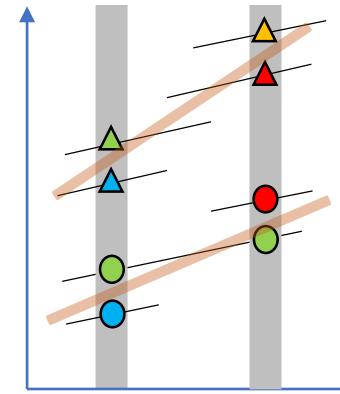
Variations *in situ* trait par trait



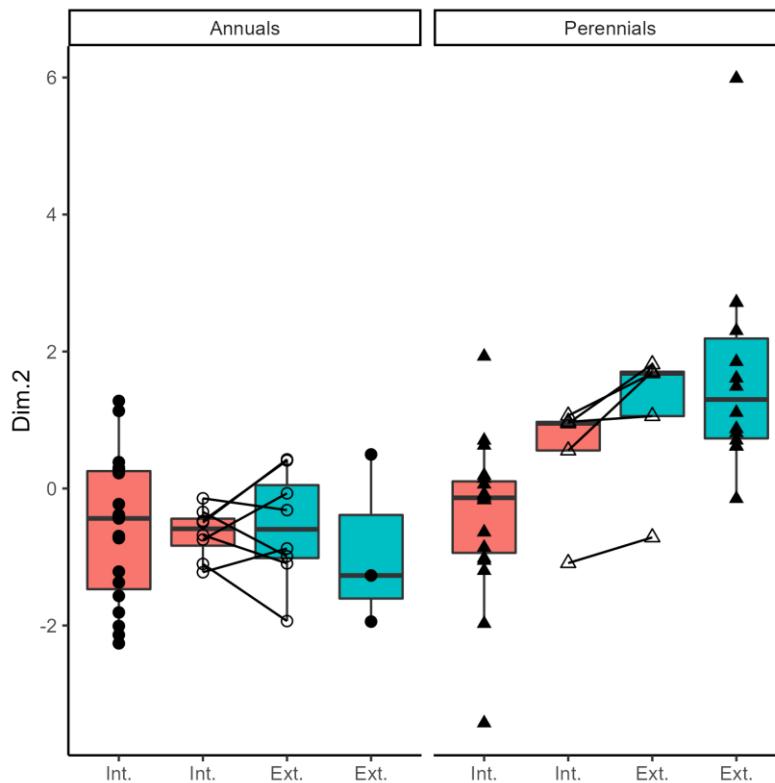
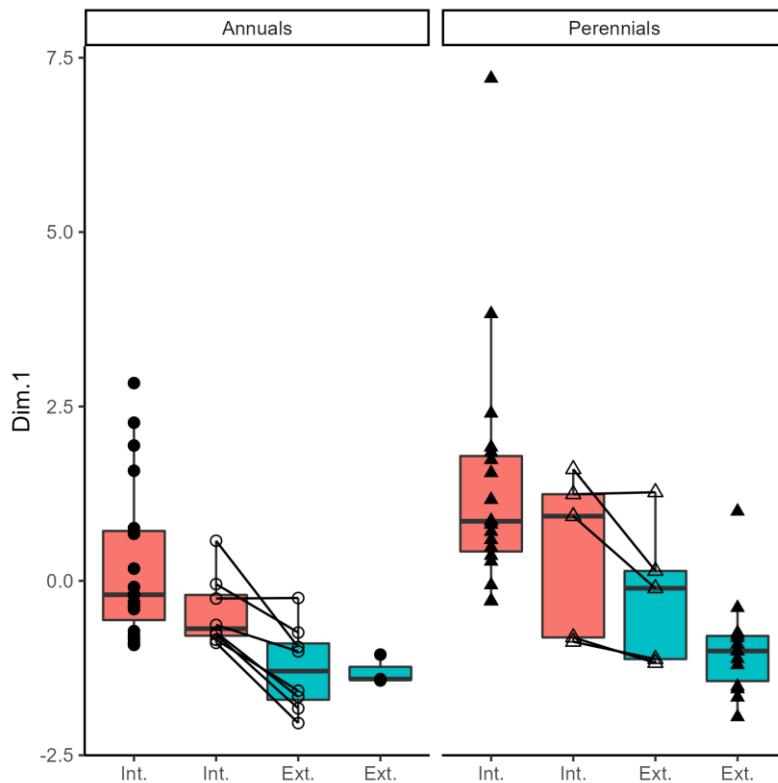
Pas de différence



Différence de remplacement
d'espèces



Variations intra et interspécifiques sur les axes de l'ACP



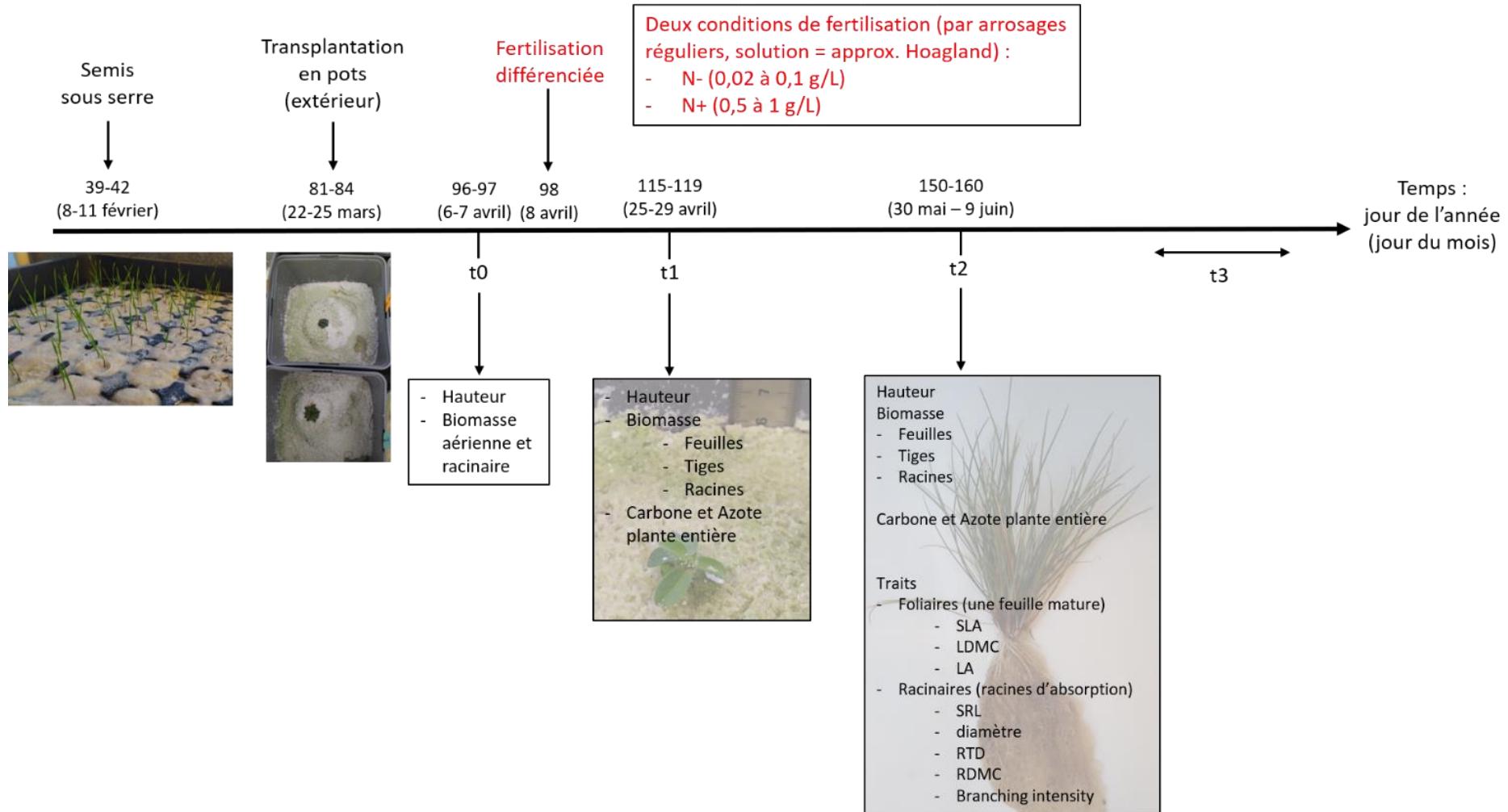
Variations intraspécifiques *in situ* ?

	Intraspecific variation	Effect of life history	
Trait	p.value	W	p.value
LDMC	0.001	56	0.29
SLA	0.007	94	0.67
log_LA	0.002	34	0.02
LCCm	0.003	49	0.29
LNCm	0.001	49	0.29
Lδ13C	0.001	2	0.00
Hrepro	0.089	7	0.51
Disp	0.104	34	0.15

Espèces utilisées pour l'expérimentation

Espèce	Famille	Cycle de vie	Système de reproduction	Dispersion	Indice d'azote du sol	Origine des populations	Traitement pré-germination
<i>Bupleurum baldense Turra, 1764</i>	Apiaceae	Ann.	NA	barochore	3.75	Ext. (P8)	Aucun
<i>Filago pyramidata L., 1753</i>	Asteraceae	Ann. estivale	autogame facultative	anémochore	5.69	Ext. (P8)	Aucun
<i>Myosotis ramosissima subsp. ramosissima Rochel, 1814</i>	Boraginaceae	Ann. hivernante	NA	épizoochore	4.63	Ext. (P8)	Aucun
<i>Alyssum alyssoides (L.) L., 1759</i>	Brassicaceae	Ann. hivernante	allogame facultative	anémochore	4.45	Int. (C1) et Ext. (P8)	Aucun
<i>Draba verna L., 1753</i>	Brassicaceae	Ann. hivernante	autogame	anémochore	4.35	Int. (C1) et Ext. (P1)	Scarification
<i>Hornungia petraea (L.) Rchb., 1838</i>	Brassicaceae	Ann. hivernante	autogame	anémochore	3.67	Ext. (P1)	Aucun
<i>Arenaria serpyllifolia L., 1753</i>	Caryophyllaceae	Ann. hivernante (Pér.)	autogame	anémochore	4.19	Int. (C1) et Ext. (P1)	Scarification
<i>Cerastium glomeratum Thuill., 1799</i>	Caryophyllaceae	Ann. hivernante	autogame	anémochore	6.02	Int. (C1) et Ext. (P8)	Scarification
<i>Cerastium pumilum Curtis, 1777</i>	Caryophyllaceae	Ann. hivernante	autogame facultative	anémochore	4.11	Int. (C1) et Ext. (P10)	Scarification
<i>Sabulina tenuifolia (L.) Rchb., 1832</i>	Caryophyllaceae	Ann. hivernante	reproduction mixte	épizoochore	4.62	Int. (C1) et Ext. (P10)	Aucun
<i>Medicago minima (L.) L., 1754</i>	Fabaceae	Ann. hivernante	autogame	épizoochore	5.29	Int. (C1) et Ext. (P8)	Scarification
<i>Trifolium aureum Pollich, 1777</i>	Fabaceae	Ann. hivernante	autogame facultative	épizoochore	3.82	Int. (C1) et Ext. (P8)	Scarification
<i>Geranium dissectum L., 1755</i>	Geraniaceae	Ann. hivernante	autogame facultative	autochore	6.61	Int. (C1) et Ext. (P10)	Scarification
<i>Bromus hordeaceus L., 1753</i>	Poaceae	Ann. hivernante (Pér.)	autogame	épizoochore	6.43	Int. (C1) et Ext. (P8)	Aucun
<i>Vulpia alopecuros (Schousb.) Dumort., 1824</i>	Poaceae	Ann. hivernante	autogame	épizoochore	5.65	Int. (C1) et Ext. (P8)	Aucun
<i>Sherardia arvensis L., 1753</i>	Rubiaceae	Ann. hivernante	allogame	épizoochore	5.79	Int. (C1) et Ext. (P8)	Aucun
<i>Veronica arvensis L., 1753</i>	Plantaginaceae	Ann. hivernante	autogame	barochore	5.54	Int. (C1) et Ext. (P8)	Aucun

Design expérimental

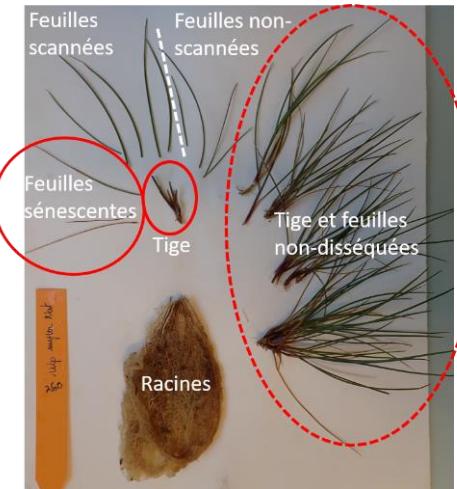


Allocation

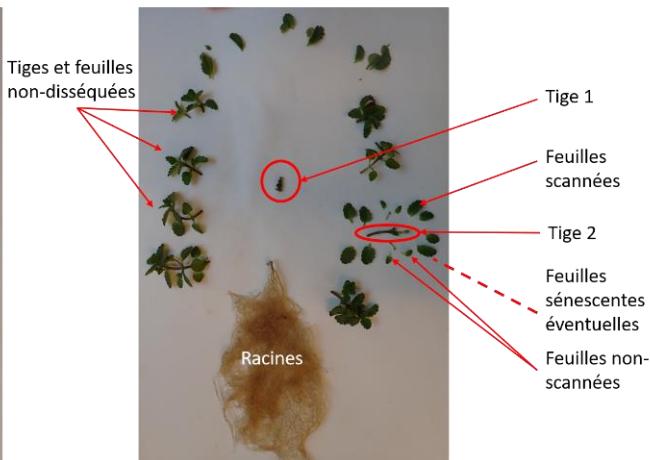
A. Dissection intégrale (ex : *Geranium dissectum*)



B. Dissection partielle et tige non ramifiée (ex : *Vulpia myuros*)

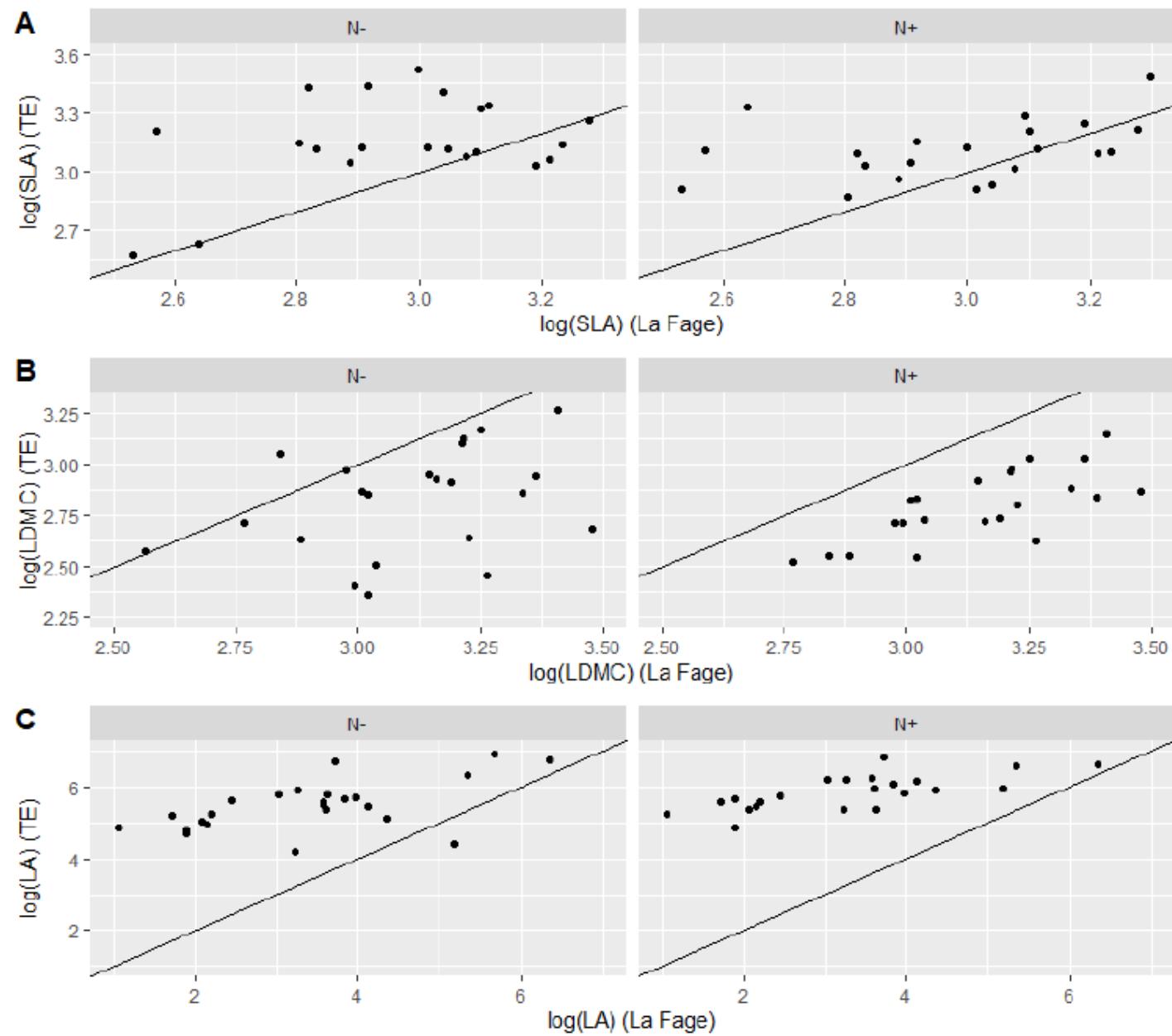


C. Dissection partielle et tige ramifiée (ex : *Veronica arvensis*)



Stage Julie Tschambsé (M1, 2022)

Valeurs de traits *in situ* et sur l'expérimentation



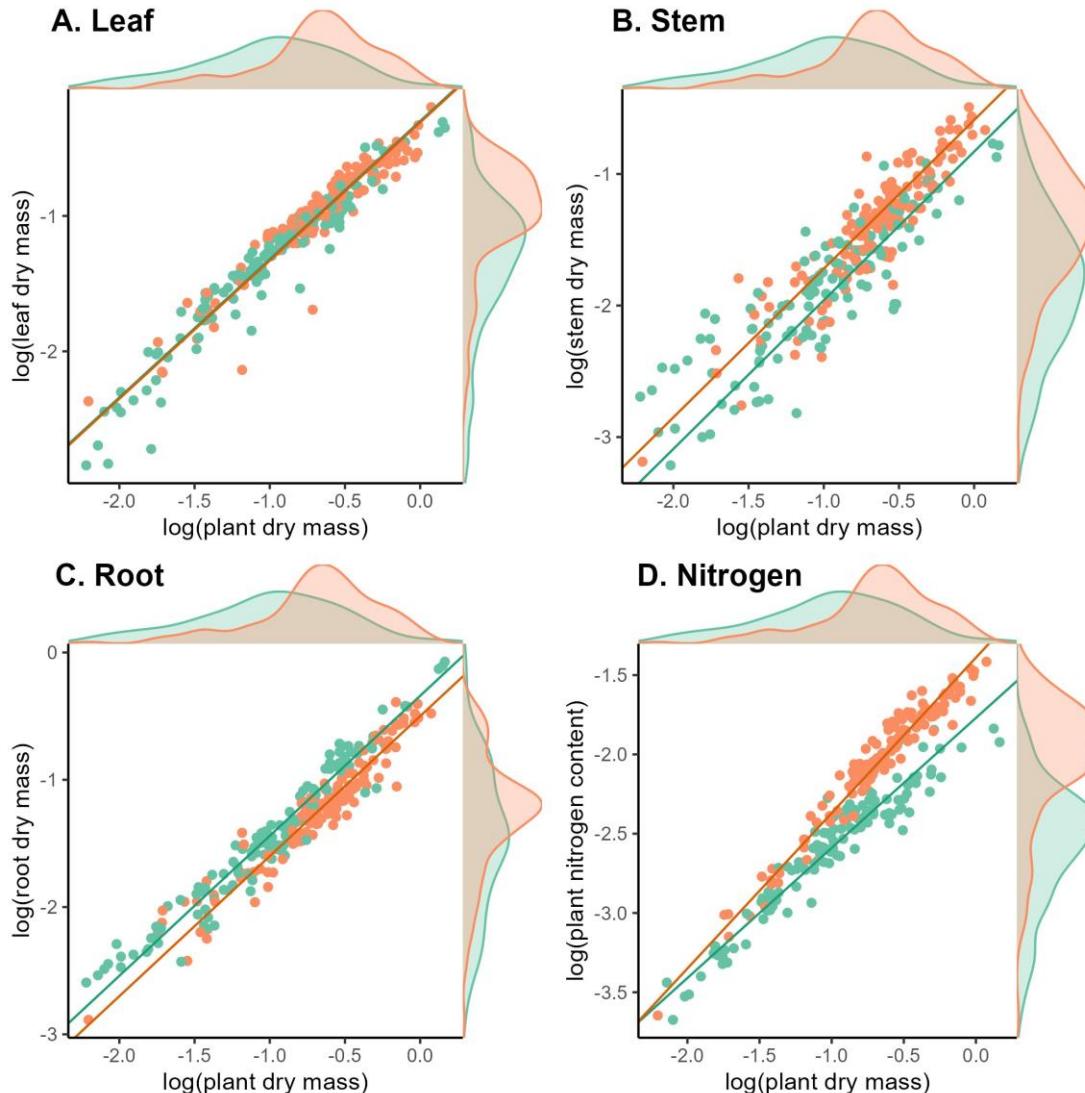
Valeurs de traits *in situ* et sur l'expérimentation

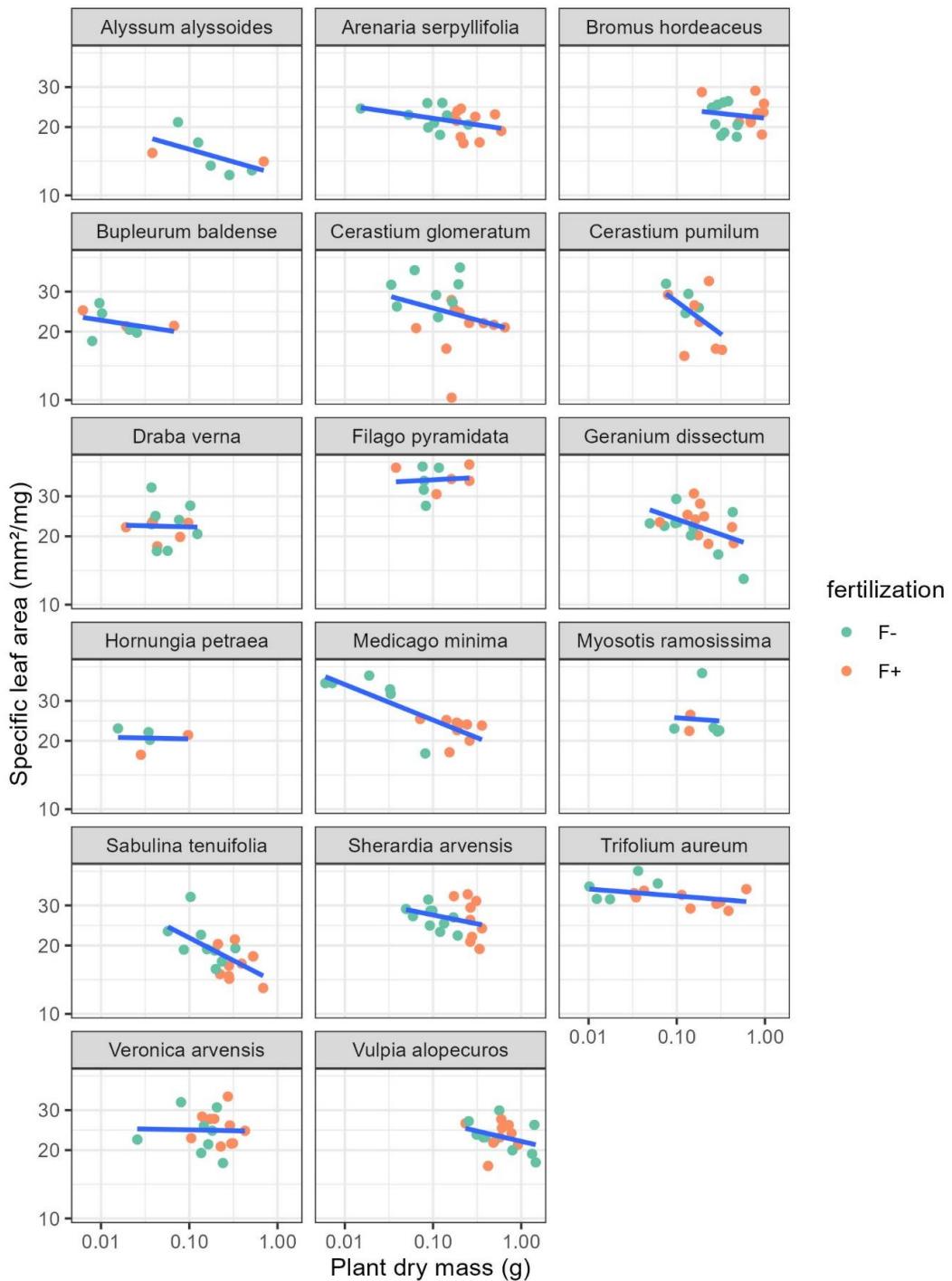
Stage Julie Tschambser

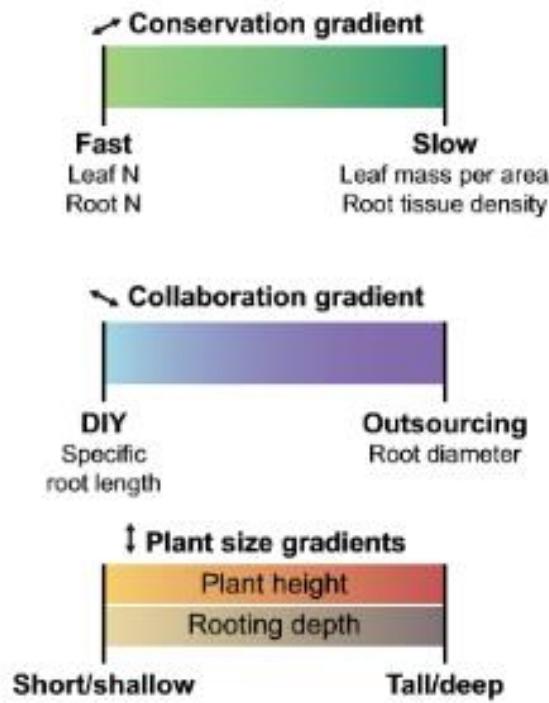
	N+		N-	
	Coefficient de corrélation	p-value	Coefficient de corrélation	p-value
LA	0,7144269	0,0001923	0,5617391	0,004933
LDMC	0,7490119	6,108e-05	0,433913	0,03528
SLA	0,5928854	0,003426	0,3286957	0,1171
C	0,4440957	0,03376	0,3676455	0,07716
S	0,6060539	0,002175	0,4140319	0,04429
R	0,4673913	0,02576	0,4313043	0,0365

Tableau 2. Coefficients de corrélation et p-values associées pour les comparaisons des différents traits foliaires et scores CSR entre le domaine de La Fage et l'expérimentation selon le traitement appliqué (N+ : Forte disponibilité en minéraux ; N- : faible disponibilité en minéraux). L'intensité de la couleur correspond à l'intensité de la relation ; les p-values non significatives ne sont pas colorées.

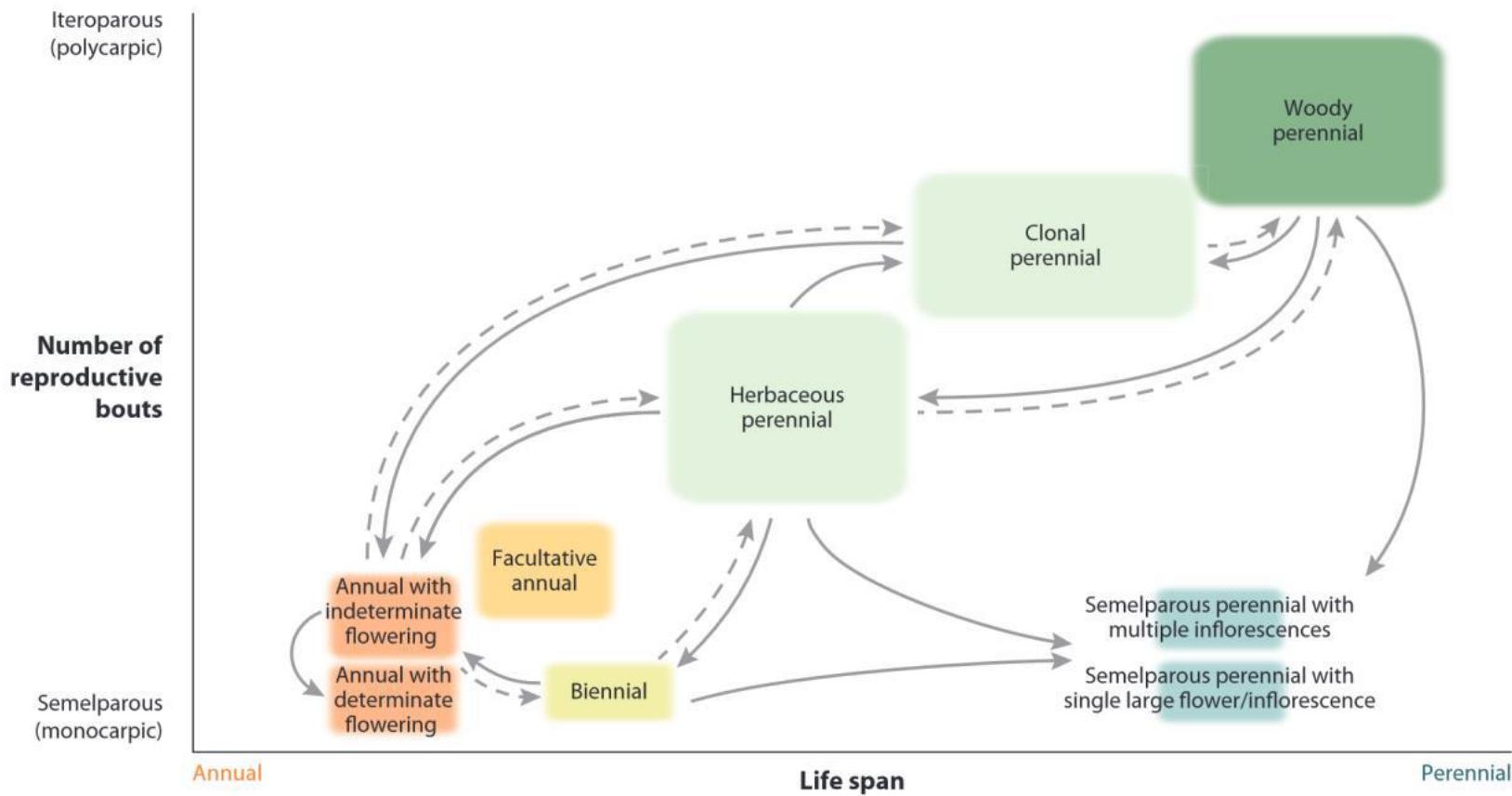
Relations allométriques

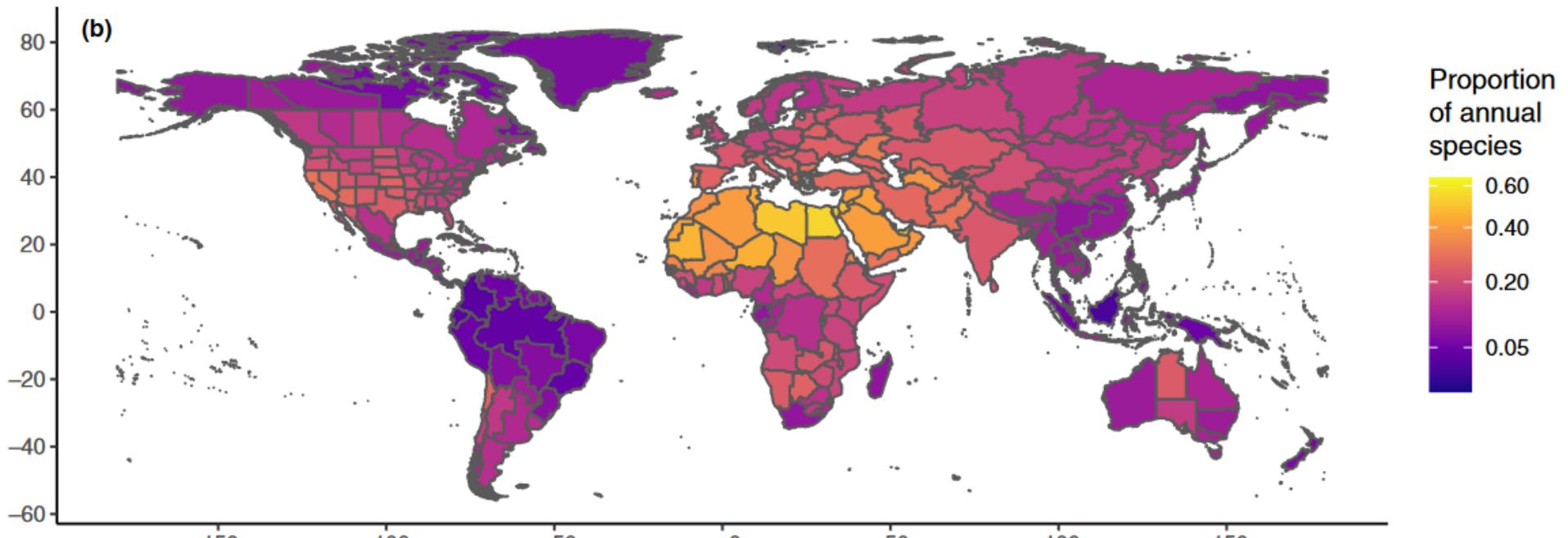




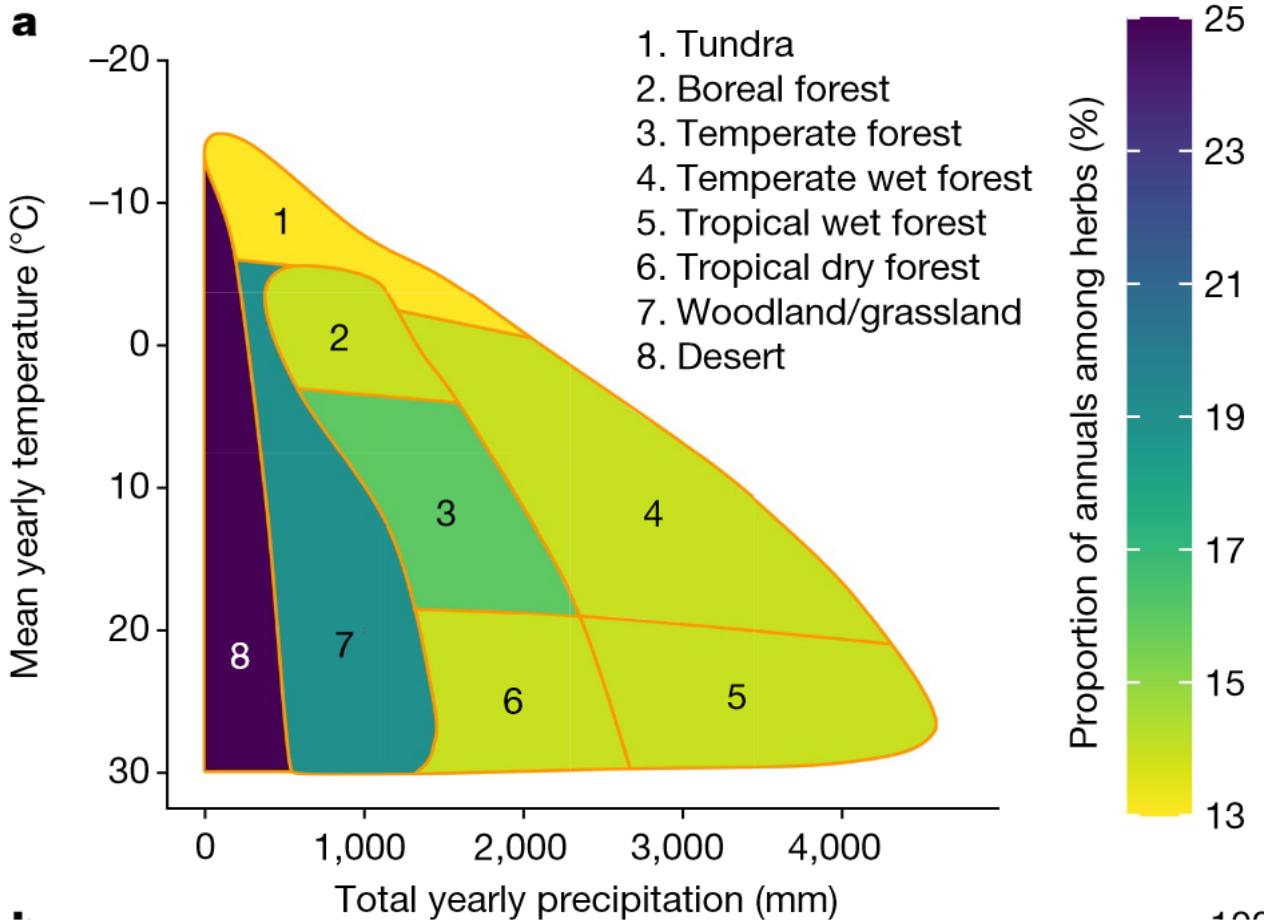


Le grandes caractéristiques de l'histoire de vie



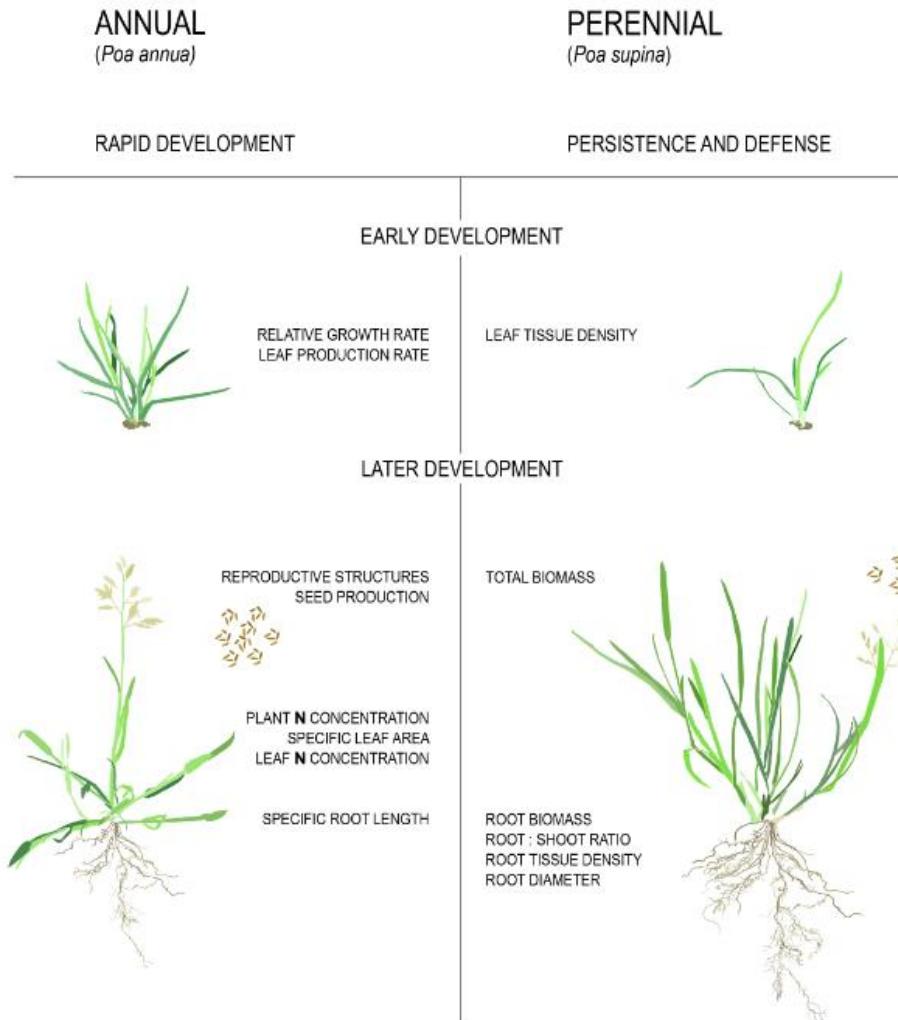


Boyko et al. 2023, New Phytologist



Poppemwimer et al., 2023, Nature

Quelques comparaisons des valeurs de traits selon le cycle de vie



Originalité (distinctivité) fonctionnelle

