

Principes écologiques et modélisation en écologie

Intitulé de la matière : Atelier thématique : la modélisation en écologie

Unité d'enseignement : Ecologie moderne et dynamique de la biodiversité (Fondamental)

Nombre d'heures d'enseignement

Cours : 10h, TD : 20h

Nombre d'heures de travail personnel pour l'étudiant : 10

Nombre de crédits : 4

Coefficient de la matière : 1

1. Notion de modèles (bases théoriques et pratiques)

2. Les principaux champs d'application des modèles en écologie, depuis la reconstitution des paléoenvironnements jusqu'aux modèles en génétique des populations, en passant par les processus fonctionnels, l'écologie évolutive,....

Mode d'évaluation : Examen final 100 %

Plan du cours

Généralités en écologie

Objectifs et apports de la modélisation mathématique en écologie

La démarche générale en modélisation

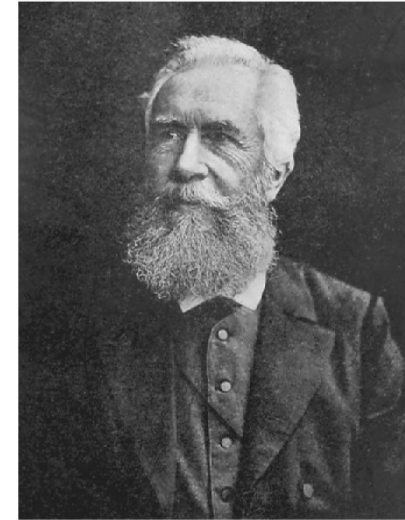
Niveaux d'organisation et changements d'échelles

Modélisation = formulation de processus

Expérimentation et modélisation

Définitions de l'écologie

- Ecologie (*grec oikos* « maison », « habitat » et *logos* (« science », « connaissance »): science de la maison, de l'habitat. Le terme a été inventé en 1866 par Ernst Haeckel (biologiste et philosophe allemand, 1834 - 1919).



- relation organismes - environnement
- étude des mécanismes et des processus permettant d'expliquer la distribution et l'abondance des organismes
- étude de la **biosphère**

Écologie

```
graph TD; E[Écologie] --> E1[Écologie des écosystèmes et des paysages]; E --> E2[Écologie des populations et des peuplements ou communautés]; E1 --- L1[• Cycles biogéochimiques]; E1 --- L2[• Flux d'énergie]; E2 --- R1[• Processus démographiques]; E2 --- R2[• Forçages environnementaux];
```

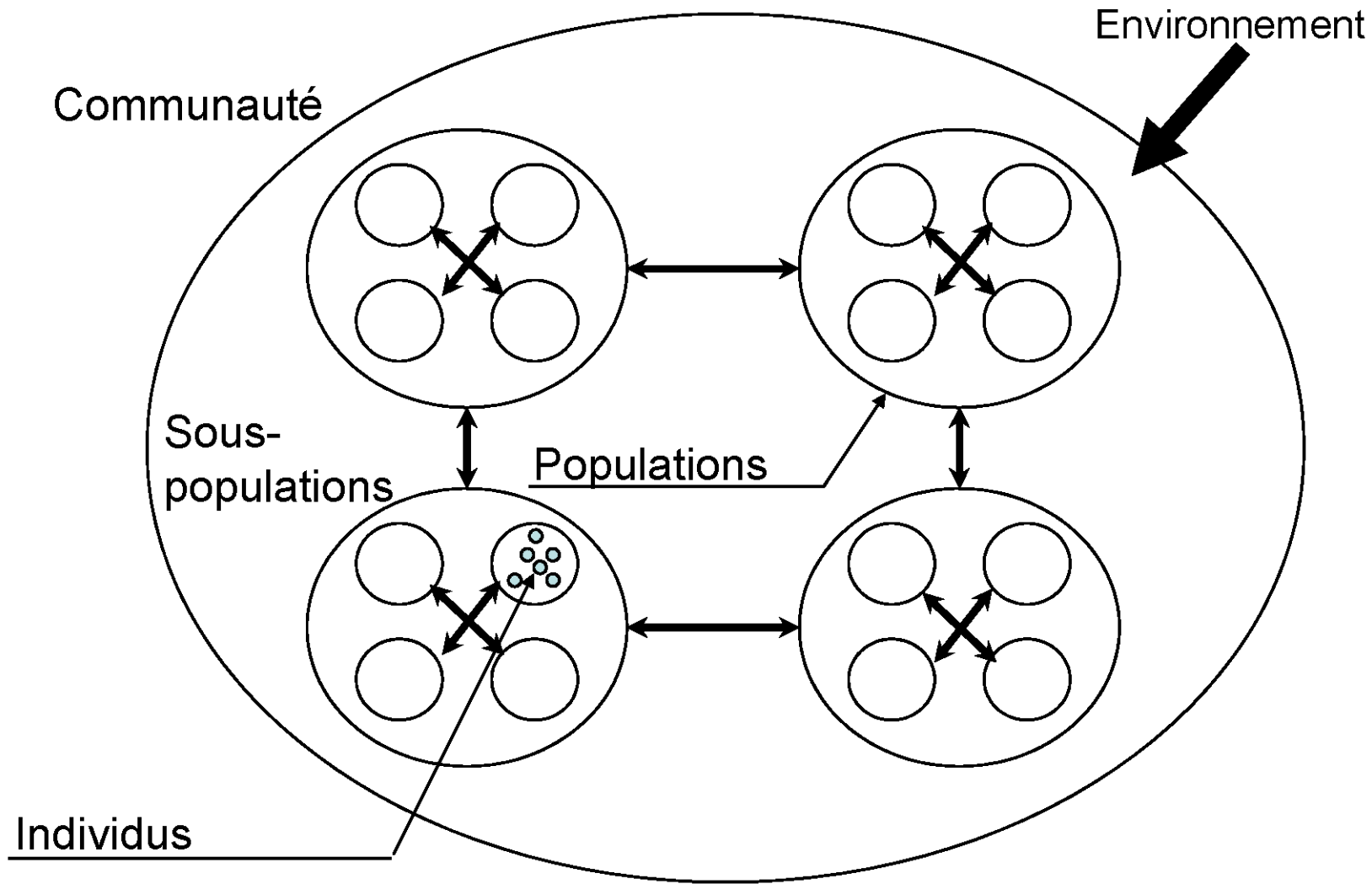
Écologie des écosystèmes et des paysages

- Cycles biogéochimiques
- Flux d'énergie

Écologie des populations et des peuplements ou communautés

- Processus démographiques
- Forçages environnementaux

Structure hiérarchique d'une communauté



Caractérisation des individus

- Croissance
- Fertilité
- Mobilité
- Comportement
- Adaptations à l'environnement
- Génétique

Caractérisation des populations

- Densité de la population
- Structure en âge
- Distribution pondérale
- Distribution spatiale
- Distribution génétique



Sous-population

Caractérisation des communautés

- Composition spécifique
- Structure spécifique
- Disponibilité des niches écologiques
- Chevauchements de niches
- Composition et structure fonctionnelle

Caractérisation d'un écosystème

- Biotope
- Communautés
- Processus physiques et chimiques
- Structure spatiale
- Cycles biogéochimiques

Forçage environnemental

- Conditions climatiques
- Propriétés physico-chimiques
- Espace
- Sels nutritifs

ABIOTIQUES

- Ressources – Nourriture disponible
- Prédateurs
- Compétiteurs

BIOTIQUES

Exemples de questions scientifiques

• Individu :

- Quels sont les facteurs qui déterminent la vitesse de croissance, de développement et de reproduction des organismes ?
- Quelles sont les causes de mortalité ?

• Population :

- Qu'est ce qui détermine si une population croît ou décroît ?
- Pourquoi certaines populations sont stables pendant plusieurs générations alors que d'autres explosent ou s'écroulent régulièrement ?
- Quels sont les facteurs d'extinction ?

Exemples de questions scientifiques

- **Communauté :**

- Qu'est ce qui détermine si des populations peuvent coexister ?
- Est-ce que les détails des relations prédateur - proie ont une importance ?
Qui mange qui ?

- **Écosystème :**

- Comment l'énergie chimique et les éléments biogènes stockés circulent dans un écosystème ?
- Qu'est-ce qui contrôle ces flux ?
- Comment les flux d'énergie et de matière affectent les dynamiques des différentes populations qui composent l'écosystème ?

Démarche de l'étude

Ex. Etude de Populations

1 - Analyse démographique

2 - Analyse de la dynamique

3 - Analyse des pressions sélectives

- Ecologie – Biologie : Domaines complexes (nombreuses entités interactives en environnement variable)
- Contrairement à la physique actuelle, il n'y a pas de lois générales « universelles »
- Etablir des relations entre grandeurs observables

- Théorie : cadre général permettant de replacer les études particulières et de donner de la substance aux connaissances (ex: théorie de l'évolution = nouvel éclairage sur les relations entre espèces et leur devenir).

- Apport des mathématiques (aide au raisonnement en se basant sur un formalisme éprouvé, peu coûteux, nombreuses expériences numériques, analyses exploratoires, expression de relations entre variables, etc.)

Rôle de la modélisation

- Simplifier la description des processus
- Quantifier et comprendre le rôle de chacun d'eux
- Tester des hypothèses
- Généraliser - Analogies
- Déterminer des paramètres non mesurables
- Étudier les interactions d'un grand nombre de processus
- Prévoir

1. La prévision et l'aide à la décision nécessitent un modèle opérationnel, muni de mesures d'incertitudes;
2. La quantification d'un processus ou d'une grandeur
3. L'étude quantitative des interactions entre variables
4. La mise en évidence directe des relations entre observations
5. Les changements d'échelle ou des niveaux d'organisation



Objectifs

Les grandes modèles explicatifs du développement humain

- 1) Les modèles psychiatriques/psychologiques:**
Centration sur les déterminants personnels (histoire personnelle, personnalité, santé mentale, connaissances parentales, étapes de développement.).
Ex: Freud, Piaget, Erikson, Bandura.

- 2) Les modèles sociologiques:**
Centration sur les déterminants de l'environnement (taux de monoparentalité, de pauvreté, de chômage, isolement social.).
Ex: Léonard, Straus, Gelles.

- 3) Les modèles écologiques:**
Centration sur les interrelations complexes de facteurs personnels et environnementaux.).

Le modèle écologique du développement humain

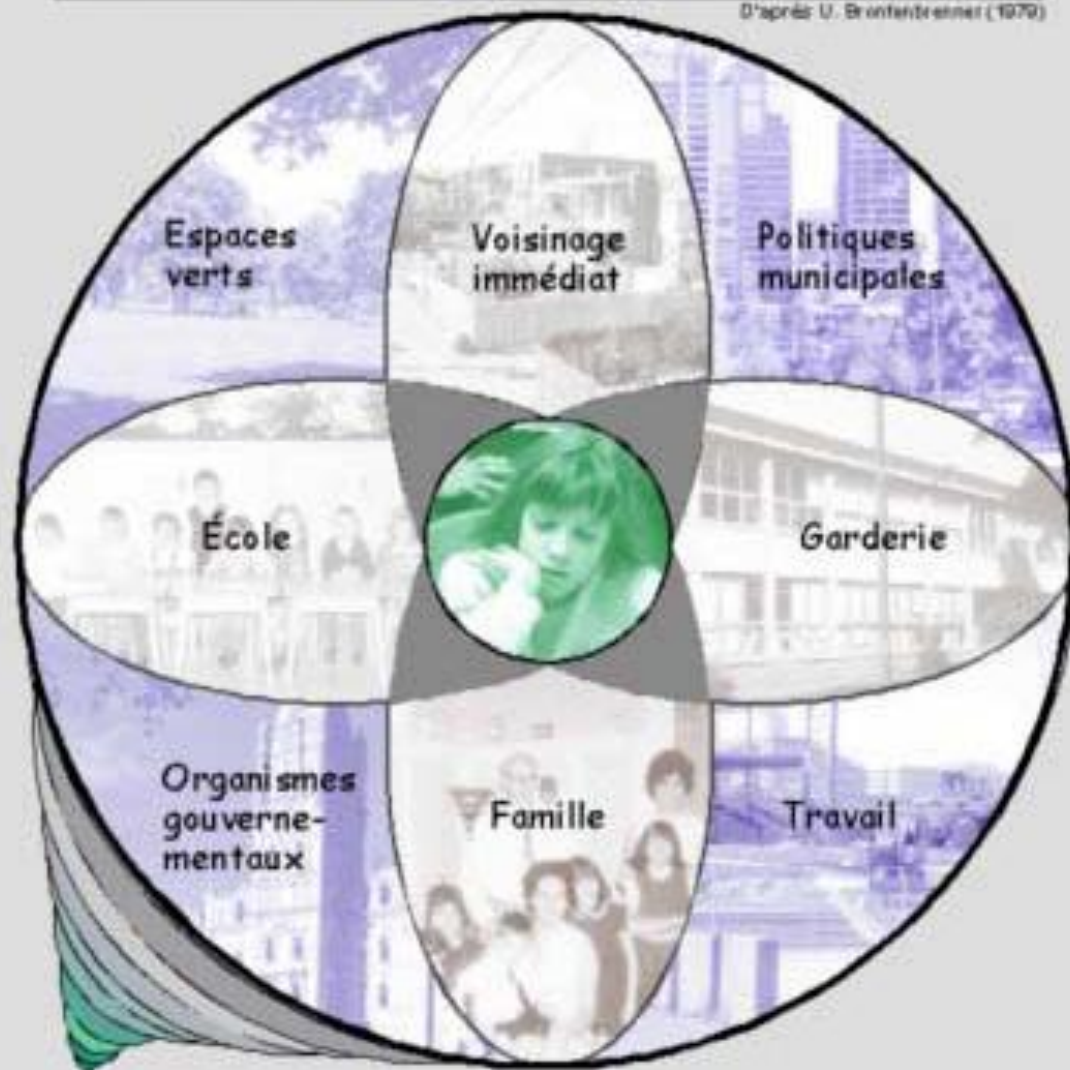
Le développement est le résultat des interactions continues et réciproques entre l'organisme et son environnement.

L'organisme et son environnement s'influencent mutuellement et constamment, chacun s'adaptant en réponse aux changements de l'autre.

L'adaptation, c'est l'équilibre entre les forces et faiblesses de l'individu, et les risques et opportunités rencontrés dans son environnement.

Modèle écologique du développement humain

D'après U. Bronfenbrenner (1979)



Chronosystème

Ortosystème

Mésosystème

Compatibilité
Cohésion
Harmonie
Contact

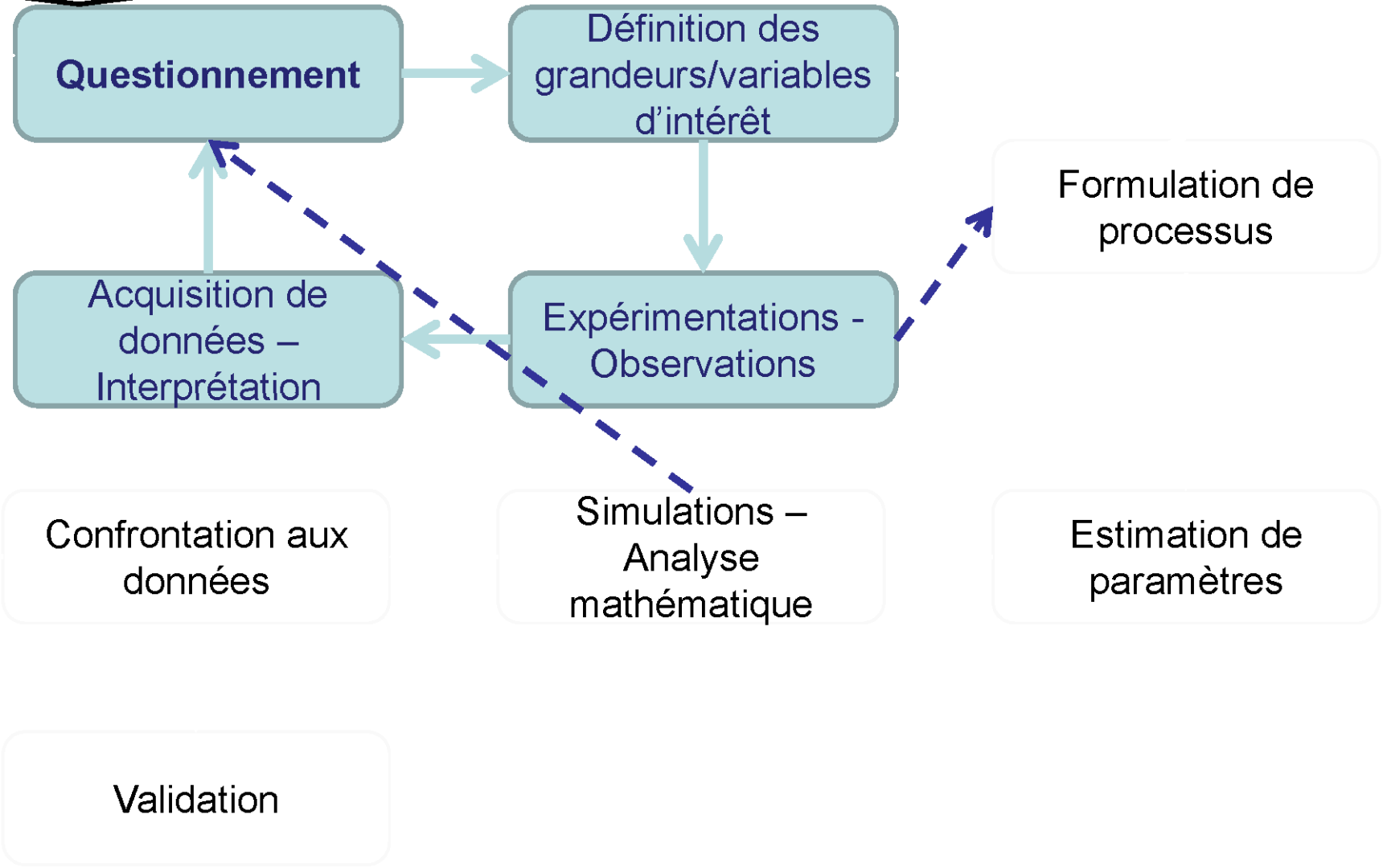
Microsystème

Exosystème

Macrosystème

Religion
Culture
Valeurs, ...

définir l'objectif de la modélisation



La réalisation d'un modèle n'est pas un but en soi: il doit répondre à une question précise.

Quelles sont les qualités d'un modèle?

- être capable de reproduire des observations?
- être capable de mimer une situation connue?
- être capable de susciter de nouvelles hypothèses.
- être capable de suggérer des expériences.
- être capable d'estimer des grandeurs difficilement accessibles...

Que faire lorsqu'un modèle n'est pas capable de reproduire un jeu de données pour lequel il a été établi?

- ~~- le compléter pour améliorer sa capacité à reproduire les observations?~~
- estimer des biais et des erreurs.
- revenir aux hypothèses qui ont permis de le construire
- le mettre à la poubelle (ça ne coûte rien!)

Modélisation mathématique - Modélisation numérique

Modélisation mathématique : mise sous forme d'équations mathématiques de **relations** entre différentes variables observables (lois).

Exemples :

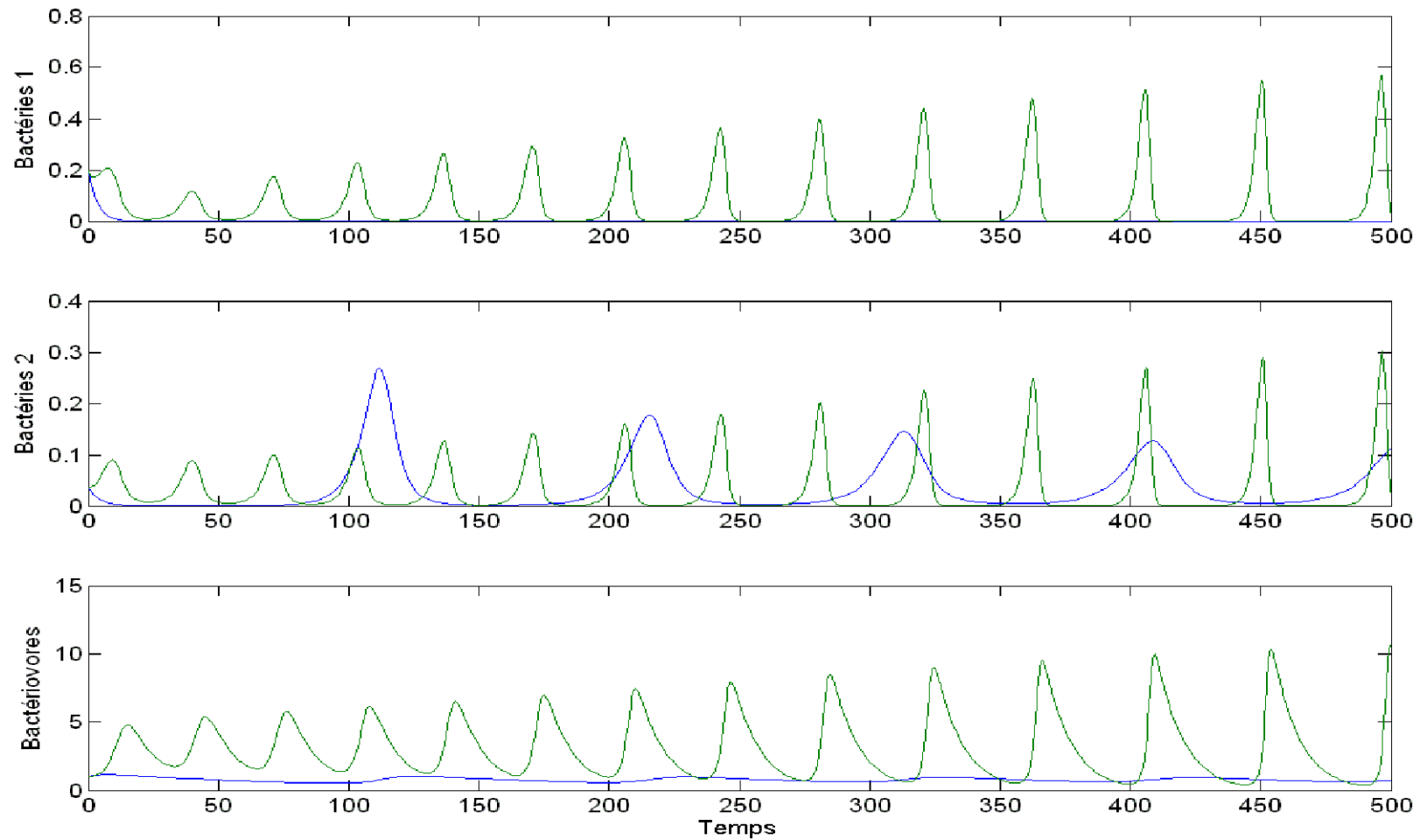
$$Y = aX + b$$

Régression linéaire

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

Cinétique de
dégradation d'ordre 1

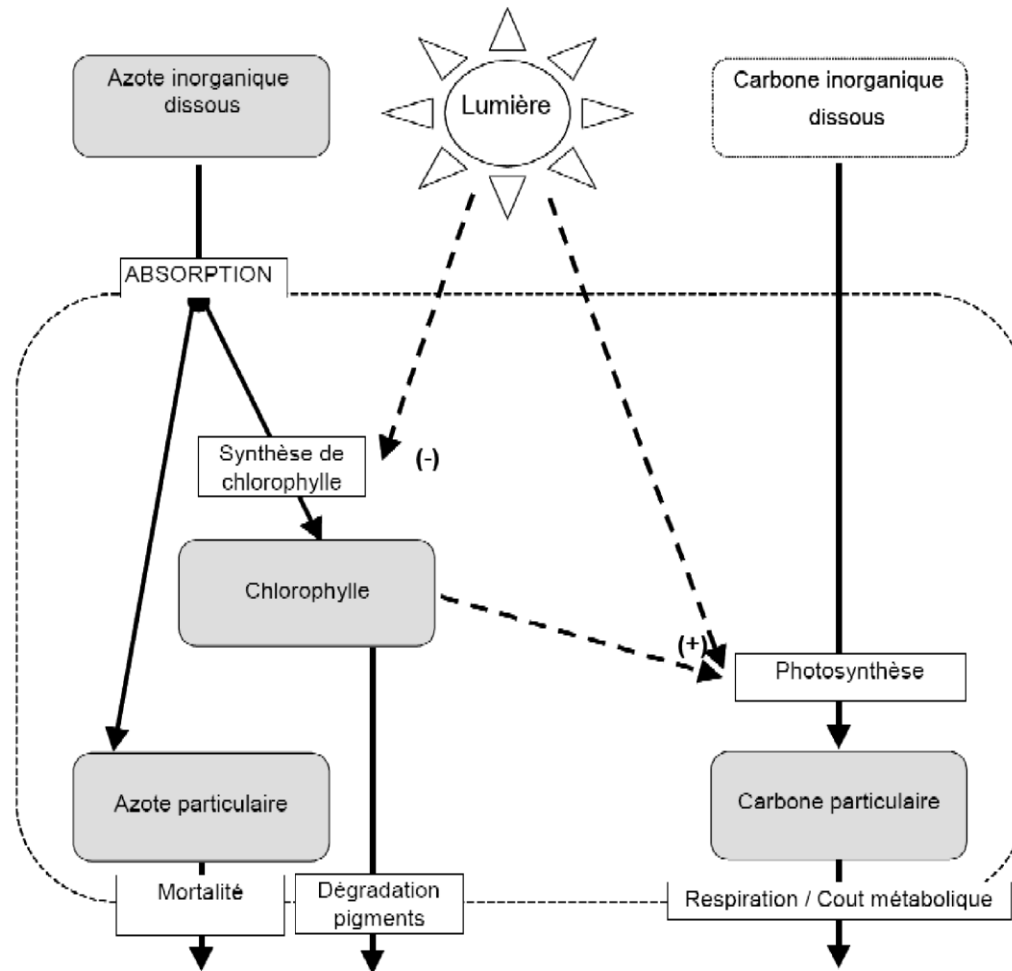
Modélisation numérique : Transformation du modèle mathématique pour l'adapter à la programmation sur **ordinateur** en vue de simulations numériques



Erreurs quantitatives et qualitatives...

De la molécule... à l'écosystème...

Interaction lumière - azote



Geider *et al.*, 1998, d'après Pawlowski, 2004

La formulation des processus

Exemple : interactions biotiques

$$\frac{d(\text{Proies})}{d\tau} = \text{Croissance} - \text{Prédation}$$

$$\frac{d(\text{Pred})}{d\tau} = \text{Production} - \text{Mortalité}$$

Réponse fonctionnelle : quantité de proies consommées par prédateur et par unité de temps

- La **réponse fonctionnelle** agit à l'échelle de la population
- La **réponse fonctionnelle** est fondée sur des propriétés individuelles

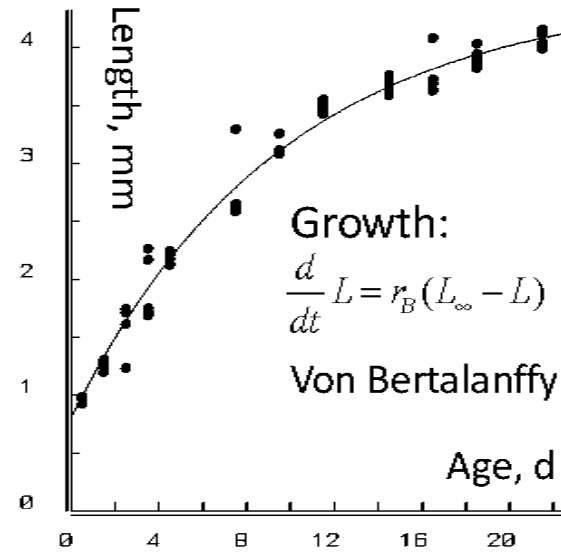
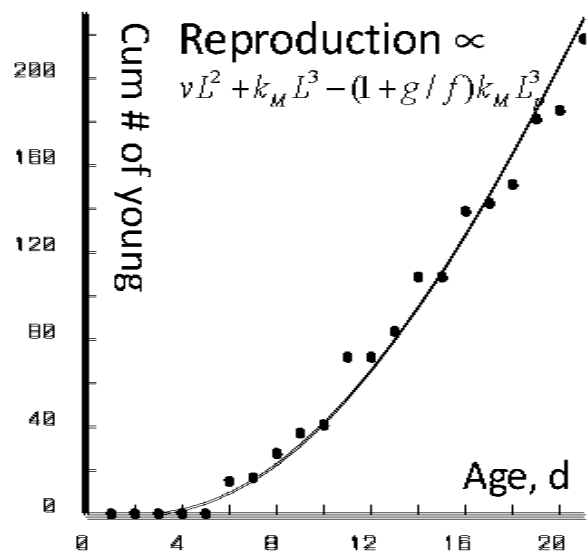
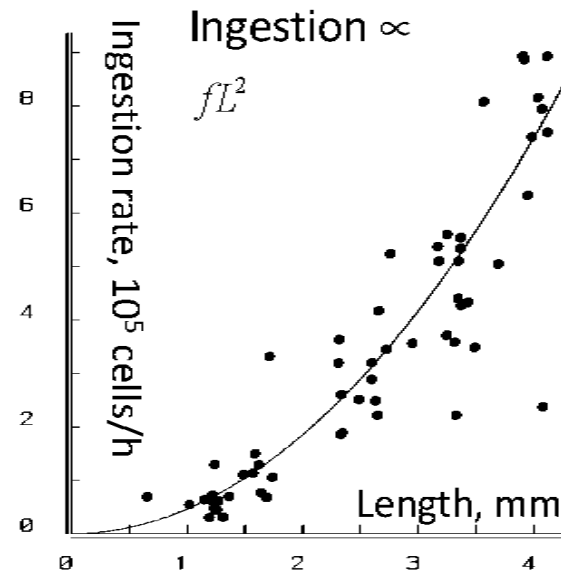
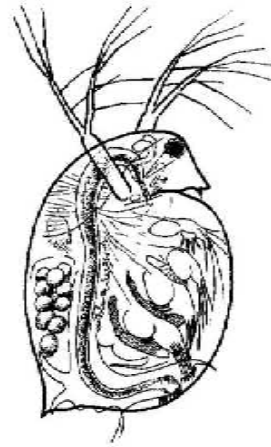
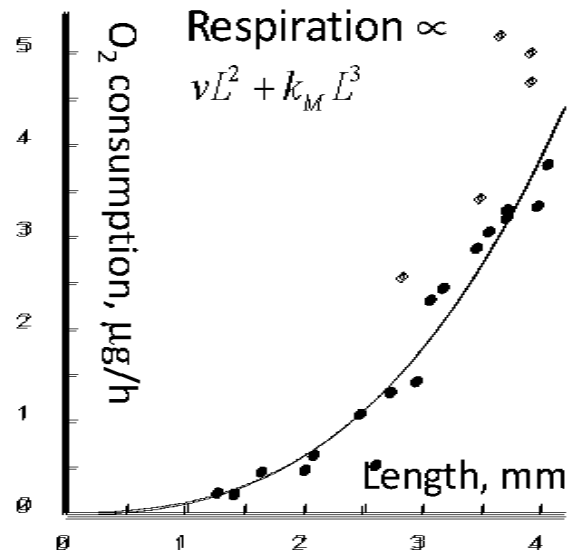


Tableau VI - Paramètres de régression reliant le poids (g) et la longueur totale (mm) des insectes par les différents types d'ajustements

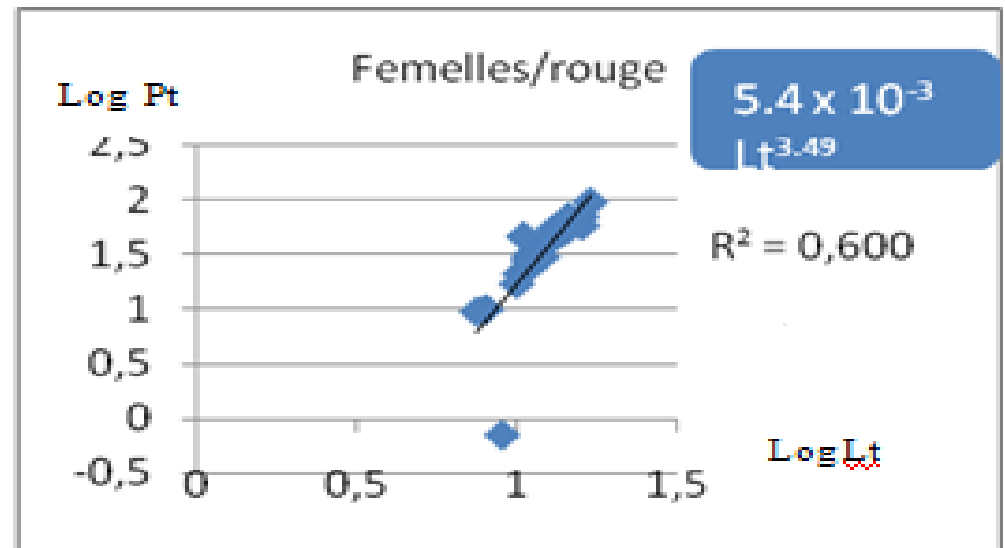
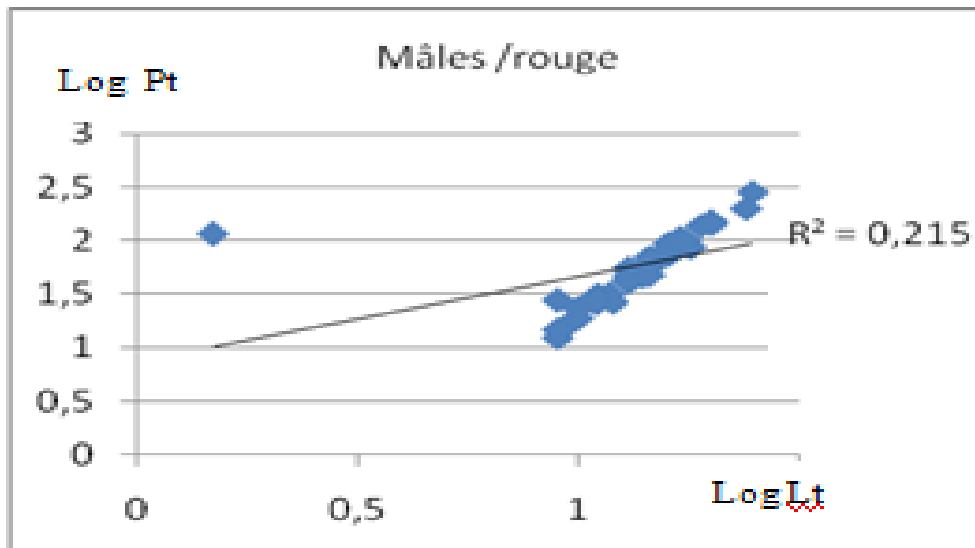
(N : Nombre d'individus, R^2 : Coefficient de corrélation, b_1, \dots, b_3 = Coefficients de régression)

l'équation de puissance :

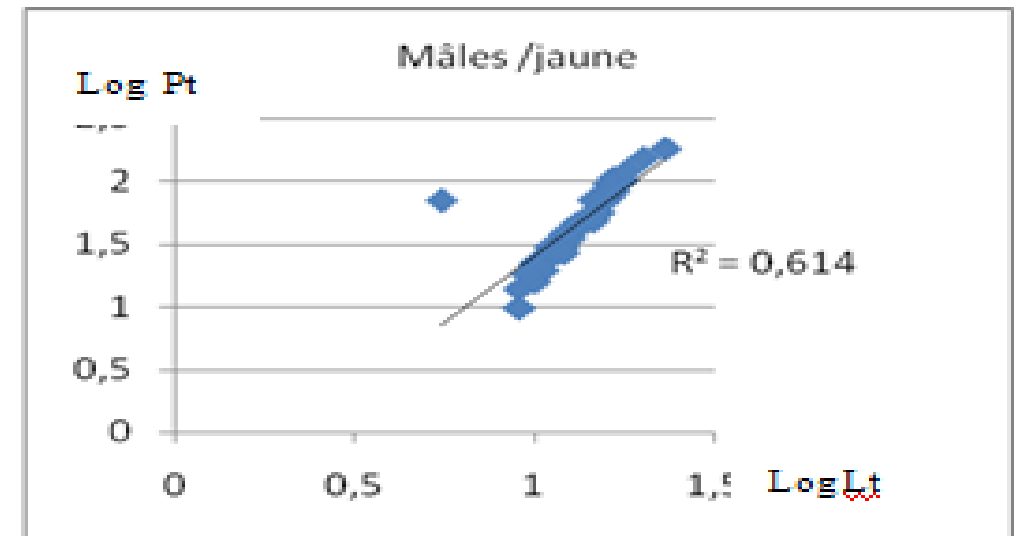
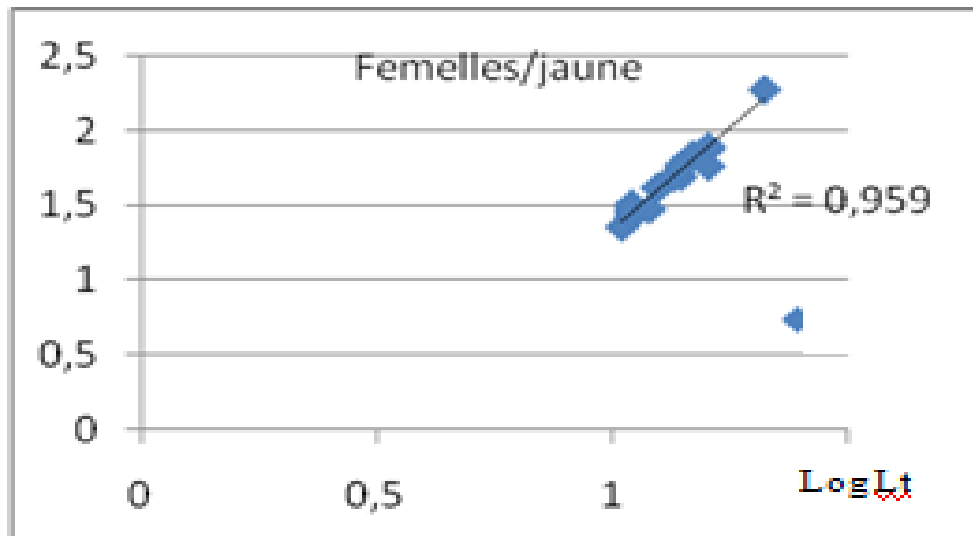
$$[W = 0,0003 (l^{2,1347})]$$

Où : W = poids frais en grammes, l = longueur totale en millimètres

Type d'ajustement	N	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3	P
Linéaire	404	0,739	- 0,5351	0,0483			0,000
Quadratique	403	0,827	0,0564	- 0,0065			0,000
Cubique	402	0,827	- 0,0106	0,0026			0,000
Combiné	404	0,618	0,0274	1,0815	0,0008	2,7 ⁻⁶	0,000
Puissance	404	0,754	0,0003	2,1347	0,0004		0,000
Exponentiel	404	0,618	0,0274	0,0784			0,000
Logistique	404	0,618	36,5481	0,9246			0,000



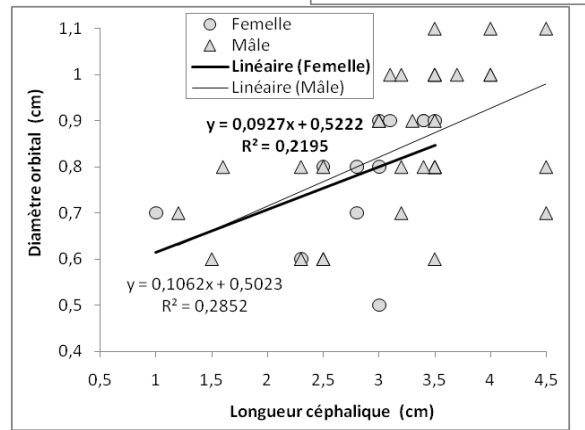
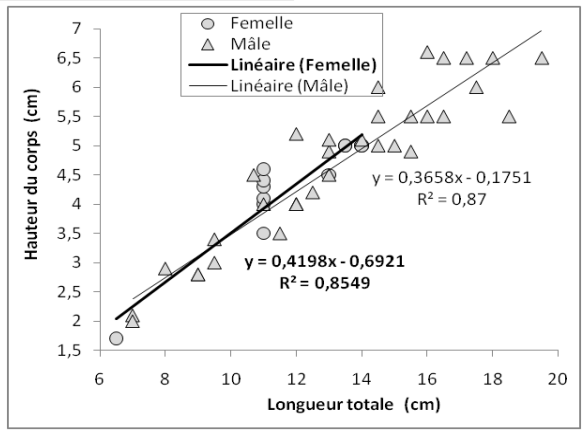
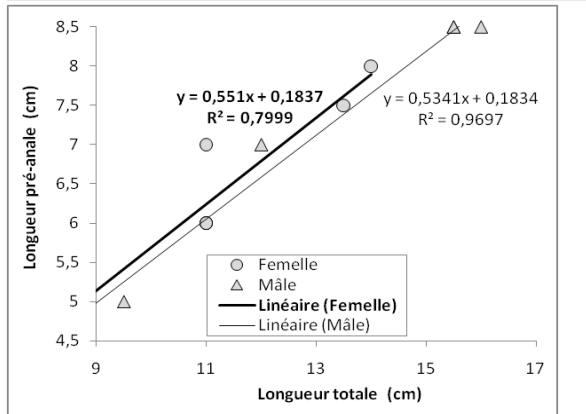
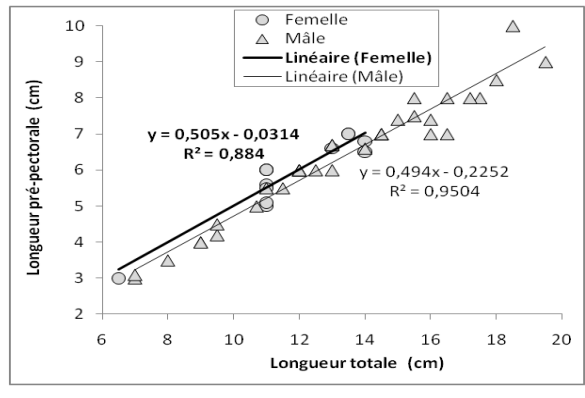
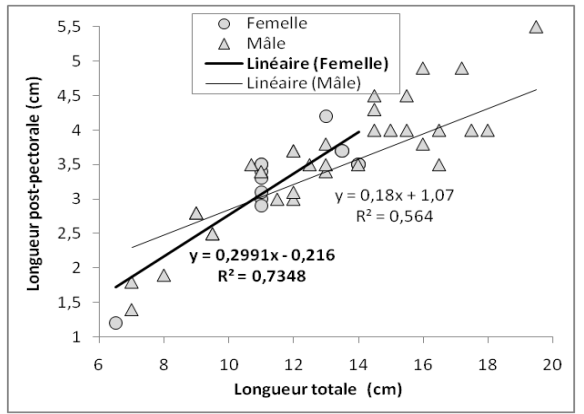
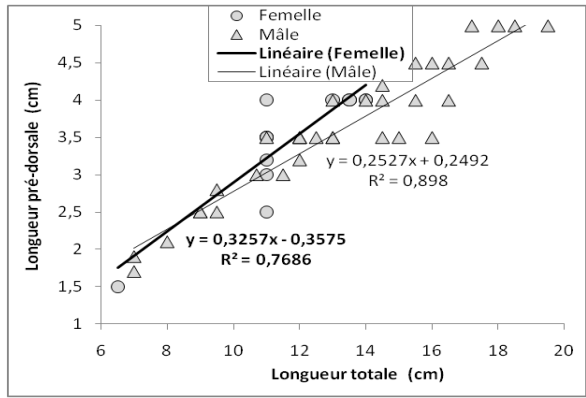
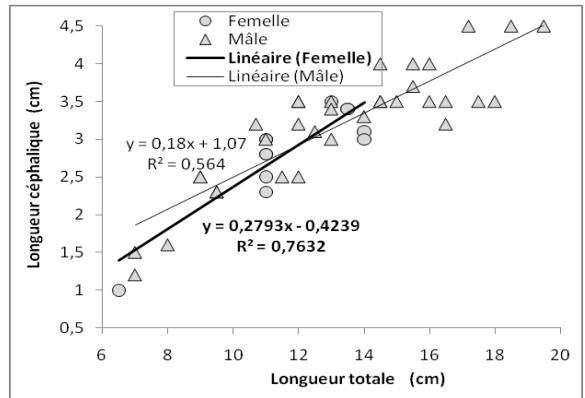
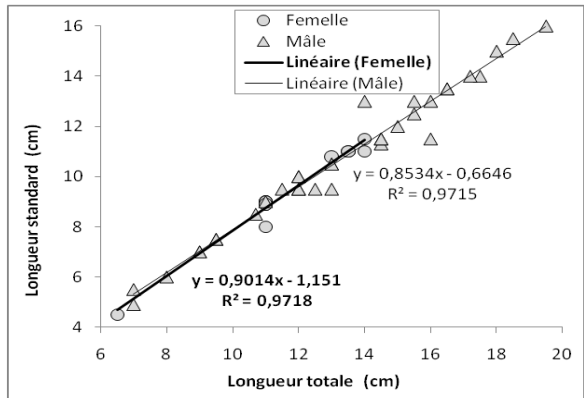
(A)

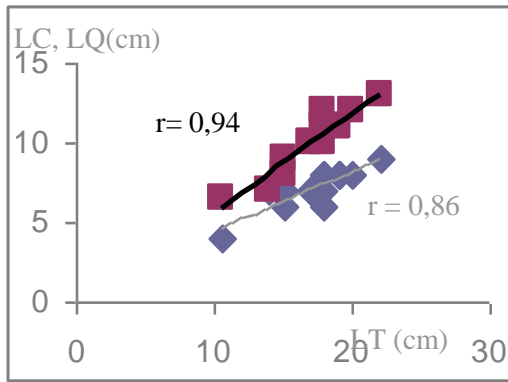


(B)

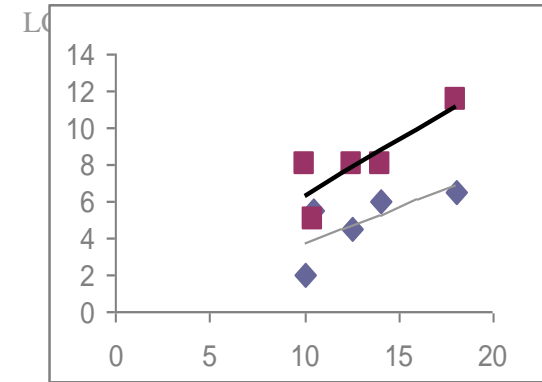
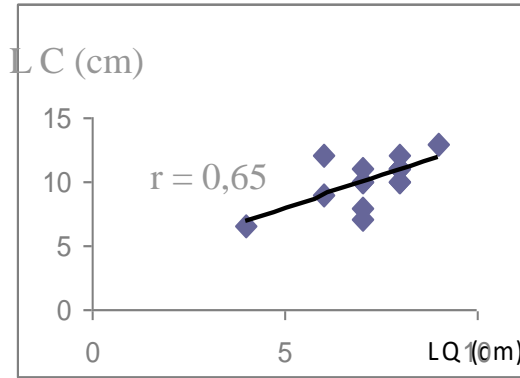
Relation taille- poids chez les mâles et les femelles de *Tilapia zilli* (A) et *Tilapia sp.* (B) du lac Ayata.

Courbes de croissance, équations des droites de régression et Coefficients de corrélation des caractères métriques mesurés chez le *Tilapia zilli* du Lac Ayata.

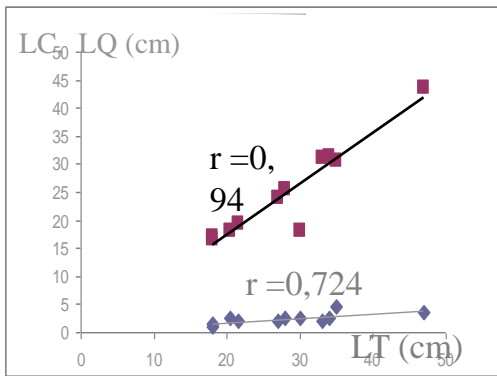
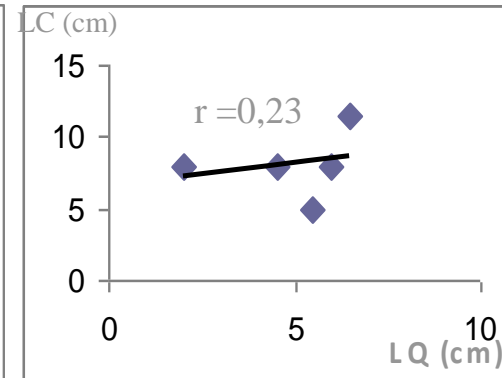




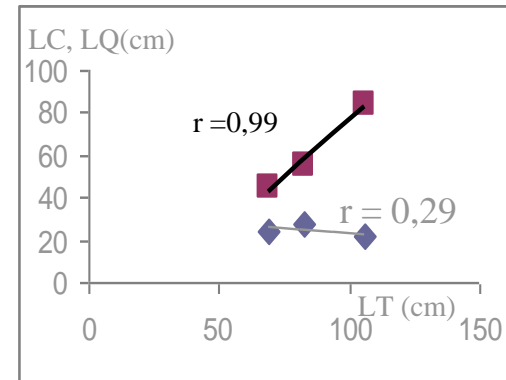
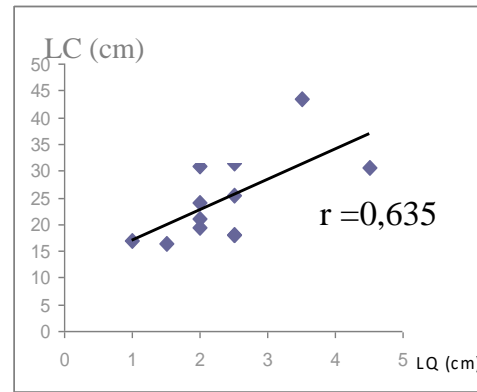
Scincus scincus



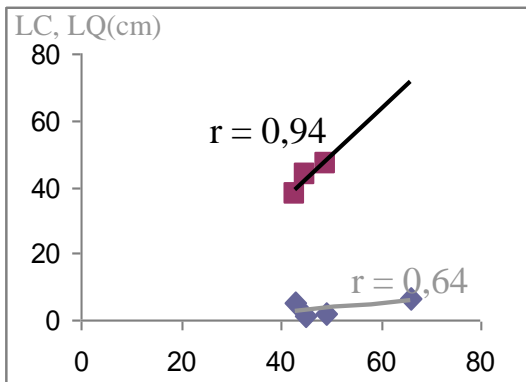
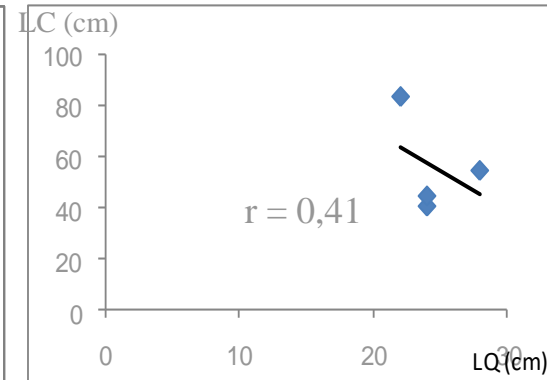
Sphenops boulengeri



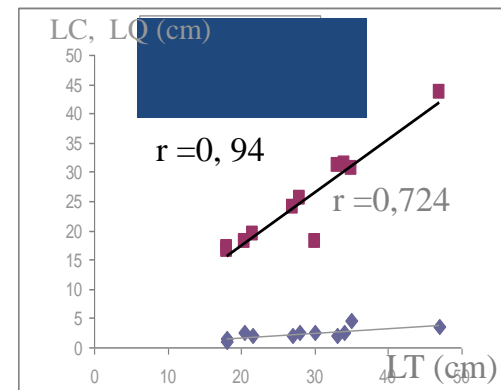
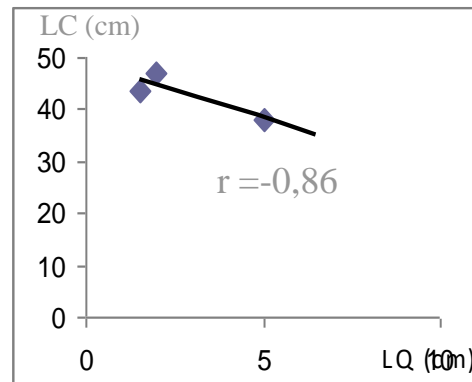
Lytorhynchus diadema



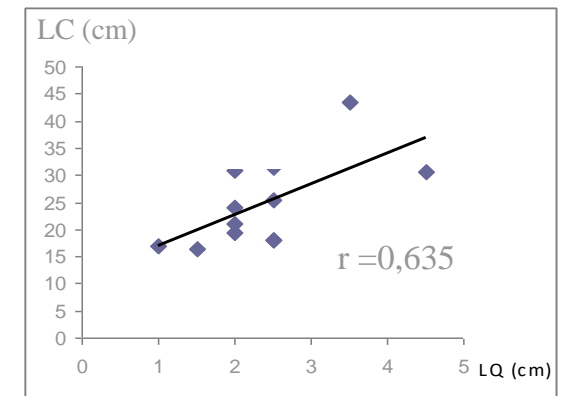
Psammophis shokari



Cerastes cerastes



Cerastes vipera



GLM Global Linear Model pas à pas avec stepwise

$$\mathbf{N \text{ (nombre d'individus)} = 0,013 A + 0,237 B - 0,186 C + 0,103 D - 3,010 E - 4,058 F}$$

Où :

A : date d'observation cotée par quinzaine de jours : 30 pour la première quinzaine de mars, 35 pour la deuxième quinzaine, 40 pour la première quinzaine d'avril, 45 pour la deuxième^{PPPP} quinzaine d'avril et ainsi de suite...

B : distance en kilomètres séparant le point d'observation par rapport au dortoir le plus proche

C : distance en kilomètres par rapport à l'unique colonie de la région

D : distance en mètres par rapport à la route ou aux habitations les plus proches

E : présence ou absence de l'eau. L'absence de l'eau est cotée par la valeur 1 et sa présence est chiffrée par la valeur 2.

F : présence ou absence du bétail et des machines agricoles. L'absence du bétail et des machines agricoles est cotée par la valeur zéro alors que leur présence est cotée par la valeur 1.

Courbes d'ajustement obtenues par la régression non paramétrique de LOWESS montrant la variation de l'indice de diversité de Shannon et de la biomasse fraîche (g) des proies consommées par le Héron garde-boeufs

