

SV-J Population et écosystème (BCPST 1)
TP - Écosystème

Capacités exigibles

- Mettre en œuvre un protocole d'étude de la diversité spécifique sur le terrain adapté aux groupes biologiques étudiés incluant une réflexion sur l'exhaustivité et la représentativité de l'échantillonnage (aire minimale, courbe de saturation).
- Caractériser une structuration spatiale de l'écosystème sur le terrain (cas de la structuration verticale dans l'écosystème forestier).
- Analyser sur le terrain et/ou en TP le réseau des diverses relations interspécifiques centré sur un organisme (l'arbre) : épiphytes (dont les lichens), parasites et phytophages, organismes mutualistes et symbiotiques, compétiteurs.
- Comparer les productivités dans les cas de la pâture et de la forêt.
- Monter l'influence de paramètres abiotiques sur la production primaire (cas des paramètres climatiques et influence des fertilisants dans les sols exclusivement).
- Estimer le flux d'énergie dans un écosystème.
- Relier la production primaire et l'utilisation de l'énergie issue du soleil (phototrophie) ou de relations chimiques (chimiolithotrophie).
- Établir un bilan quantitatif (matière et énergie) des exportations et importations d'un pâturage, les informations étant fournies.

I. Caractériser la structure d'un écosystème

A. Description d'un écosystème : Les Landes de Lessay - Cotentin – Normandie

Activité de terrain : vendredi 12 mai 2023

<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/250006484>

Écosystème : Landes de Lessay

Biotope

- Roche mère à l'origine du sol : Grès du Cambrien → observés à la carrière de Menneville
Sur lesquels reposent une couche de sable du Pliocène
 - Type de sol
 - Épaisseur du sol : peu épais 10cm épaisseur
 - Richesse relative en matière organique dans le sol : sol pauvre en matière organique pour les sols sableux, sols plus riches en MO pour les sols tourbeux
 - Acidité du sol : sol acide⇒ Nom du sol = terre de bruyère = podzol
 - Climat et écart thermique : climat atlantique/ faible écart température/ influence océan = tampon thermique
 - Vent : vents d'Ouest/ jour de la sortie venteux
 - Pluviométrie moyenne : 800 à 950 mm bien répartie/ humidité atmosphérique toujours élevée
 - Topographie - humidité des sols : variation de topographie => variation humidité sol. Sol sec (landes sèches)/ sol humide/sol tourbeux
- homogènes
- hétérogènes
- Luminosité : milieu ouvert => luminosité importante

Biocénose : landes basses, landes hautes, landes boisées

→ Végétaux spermaphytes (= plantes à fleurs et à graines) :

- Angiospermes (plantes à ovules enfermées dans un ovaires
→ plantes à graines et à fruits)

	Famille	Genre/espèce
Monocotylédones	Poacées	Molinie bleue
Dicotylédones	Éricacées	Bruyère à quatre angles
		Callune
	Fabacées	Ajonc nain
		Ajonc d'Europe
Polygalacées	Polygale à feuilles de Serpolet	

- Gymnospermes = conifères (plantes à ovules nus -pas d'ovaire) → plantes à graines mais pas à fruits)

Pin maritime = espèce importée par l'homme après la guerre → pour répondre au besoin de bois

→ Lichen de milieu acide : Cladonie

→ Faune

- Avifaune = les oiseaux
→ très riche
- Entomofaunes = les insectes
→ grande diversité d'espèces rares à très rares
- Amphibiens
- Reptiles
- ...

Mesures de protection

- Zone naturelle et forestière de document d'urbanisme
- Réserve biologique dirigée
- Réserve biologique forestière dirigée
- Réserve naturelle nationale
- Réserve naturelle conventionnelle
- Parc naturel régional
- Zone sous convention de gestion

Activités humaines

- Agriculture
- Sylviculture
- Elevage
- Pêche
- Chasse
- Habitat dispersé
- Circulation routière ou autoroutière
- Aérodrome, aéroport, héliport
- Exploitations minières, carrières
- Gestion conservatoire

⇒ Services écosystémiques

→ **Évolution temporelle naturelle de la lande**

Landes basses → landes hautes (à ajonc d'Europe) → Landes boisées (Bourdaine/Bouleau/Saule/Chêne + Pins importés par homme)

⇒ Évolution naturelle vers boisement = milieu fermé

→ **Actions contribuant au maintien du milieu ouvert**

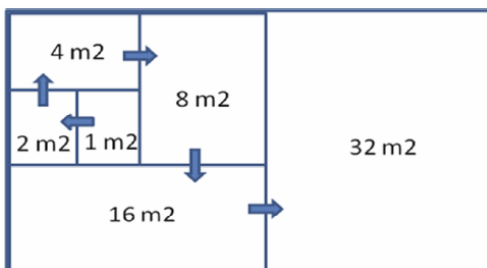
- Abattage d'arbre => coupe de pins
- Pâturage
- Fauche et broyage de lande

⇒ Objectif de bloquer l'écosystème au stade lande ouverte

B. Quantifier la biodiversité

1) Activité de terrain : Samedi 7 mai 2022 : Carrière de Fresville – Géosite - Cotentin - Normandie

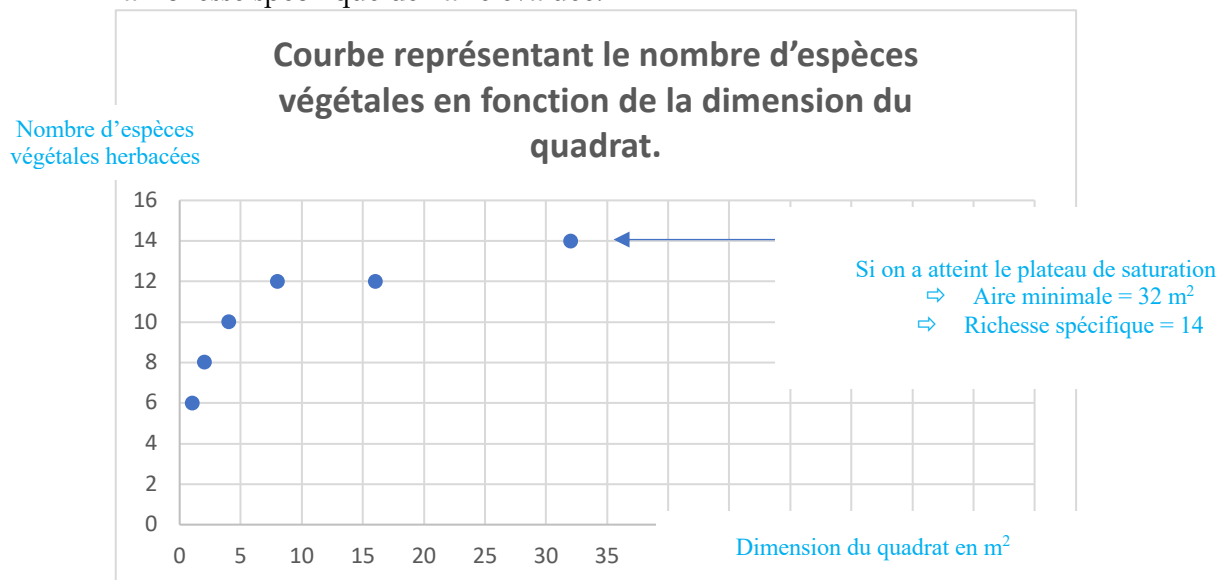
<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/250015914>



- **Retranscrire** le protocole mis en œuvre pour évaluer une aire minimale dans la prairie mésophile de fauche de la Carrière de Fresville avec comme objectif l'estimation de biodiversité spécifique en herbacées.

Méthode des quadrats (schéma) : choix par le groupe quadrat n°1 = 1m² → fin de l'activité => zone de 32m² traitée et zone de 64m² installée

- **Retranscrire** la courbe de saturation associée. Et **déterminer** la richesse spécifique de l'aire évaluée.



- Si l'objectif est la mise en évidence de l'importance de l'existence de mosaïque de milieux en termes de biodiversité, **quel protocole pourrait être mis en œuvre ?**

Méthode des quadrats dans des zones différentes pour définir aire minimale propre à chaque zone prairie mésophile de fauche + prairie pâturée + zone de haie + chemin... => identification des espèces et comparaison des espèces.

- **Indiquer** dans votre protocole comment évaluer **l'abondance** ?

Pour chaque espèce présente dans l'aire minimale → compter tous les individus

Définitions :

L'aire minimale correspond à la surface minimale à partir de laquelle l'échantillon de plantes récoltées dans cette surface peut être considéré comme statistiquement représentatif du milieu étudié.

Prairie mésophile de fauche : formations végétales herbacées installées sur des sols relativement fertiles et bien drainés (**mésophiles**). Elles sont traditionnellement fauchées au début de l'été pour la production de foin

Abondance : nombre d'individus d'une espèce donnée

Richesse spécifique : nombre d'espèces différentes (parmi la cohorte échantillonnée) en nombre d'espèces.

2) Les indices de biodiversité

- a) **Diversité spécifique (D)** : elle tient compte du nombre d'espèces et de l'effectif total des individus présents dans l'écosystème.

$$D = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Avec :
-S le nombre d'espèces
-N est l'effectif total d'individus

$D=0 \Leftrightarrow$ tous les individus de même espèce.

$D \rightarrow +\infty \Leftrightarrow$ individus tous d'espèces différentes ($S=N$)

Application :

<u>Ex Forêt canadienne</u>	Zone 1	Zone 2
Erable à sucre	167	391
Hêtre	145	24
Bouleau jaune	134	31

- **Déterminer** la richesse spécifique et l'indice de diversité spécifique (D) des deux zones.

- Quelle limite voyez-vous à cet indice de biodiversité ?

b) **Les indices tenant compte de la richesse spécifique, de l'abondance et de l'équitabilité des différentes espèces :**

Les biocénoses des écosystèmes varient selon :

- ☞ le **nombre d'espèces** qu'elles contiennent (richesse spécifique S)
- ☞ L'abondance relative de ces espèces ou **équitabilité**

- **L'indice de Simpson** représente la **probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce** dans un peuplement.

C'est une **moyenne arithmétique pondérée** de l'abondance proportionnelle des espèces.

$$\lambda = \sum_{i=1}^S (p_i)^2$$

p_i = proportion d'individus de l'espèce i ($p_i = n_i/N$).

n_i = nombre d'individus de l'espèce i

N = nombre total d'individus dénombrés, toutes espèces confondues

S = nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes



L'Indice de Simpson est compris entre 0 et 1 :

☞ Si on a 1 individu par espèce, alors $N \rightarrow S$ et $p_i = 1/N$

$$\rightarrow \lambda = S \times (1/N)^2 = S/N^2 \quad \rightarrow \lambda \sim 1/S$$

Quand le nbre d'espèces $S \rightarrow +\infty$, $\lambda \rightarrow 0$

0 représente donc une diversité infinie !

☞ Si tous les individus appartiennent à la même espèce :

$$\Leftrightarrow S=1, \text{ alors } \lambda = (N/N)^2 = 1$$

1 représente donc aucune diversité

Plus la biodiversité \searrow , Plus l'indice de Simpson $\lambda \nearrow \rightarrow$ Un peu naze comme indice

Pour cette raison, l'indice de Simpson s'exprime généralement

- sous la forme de son inverse $(1 / \lambda) =$ **Indice de Simpson inversé**
- sous la forme de son complément à 1 \rightarrow **Indice de Gini – Simpson = (1- λ)**

\rightarrow **Comparer** les indices de Simpson des zones 1 et 2 dans l'exemple de la forêt canadienne.

- **L'indice de Shannon** est basé sur la mesure de l'incertitude.

Le degré d'incertitude de la prédiction des espèces d'un échantillon aléatoire est lié à la diversité d'une communauté.

Avec une **faible diversité** (communauté dominée par une espèce), **l'incertitude de prévision est faible** (une espèce prise au hasard sera très probablement l'espèce dominante).

Avec une **diversité élevée**, **l'incertitude est élevée**.

Indice de Shannon (H')

Quantifie la **richesse spécifique** et **l'équitabilité** de leur répartition.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2 p_i$$

p_i = proportion d'individus de l'espèce i ($p_i = n_i/N$).

n_i = nombre d'individus de l'espèce i

N = nombre total d'individus, toutes espèces confondues

S = nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes

L'indice de Shannon varie de 0 à $\log_2(S)$

Lorsque toutes les espèces sont d'abondance égale, l'indice de Shannon est égal à $\log_2(S)$.

Plus l'abondance des espèces est inégale, plus H' \searrow .

Cet indice quantifie l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu d'étude, et permet d'en étudier l'évolution au cours du temps.

→ **Comparer** les indices de Shannon (H') des zones 1 et 2 dans l'exemple de la forêt canadienne.

A noter que : $\log_2(x) = \ln(x)/\ln(2)$

Application : Forêt canadienne zone 1

Application : Forêt canadienne zone 2

Limites : Ces différents indicateurs ne sont que des moyens de caractériser la biodiversité, ils présentent certains défauts.

☞ Ils **dépendent du nombre d'espèces** → ne permettent que de comparer des écosystèmes de richesse spécifique équivalente

(une forêt tropicale, très riche en espèces ne peut donc être comparée à une toundra beaucoup plus pauvre)

☞ Ils ne prennent **pas en compte la diversité fonctionnelle** (rôle des espèces dans les écosystèmes, liens trophiques, intensité des liens).

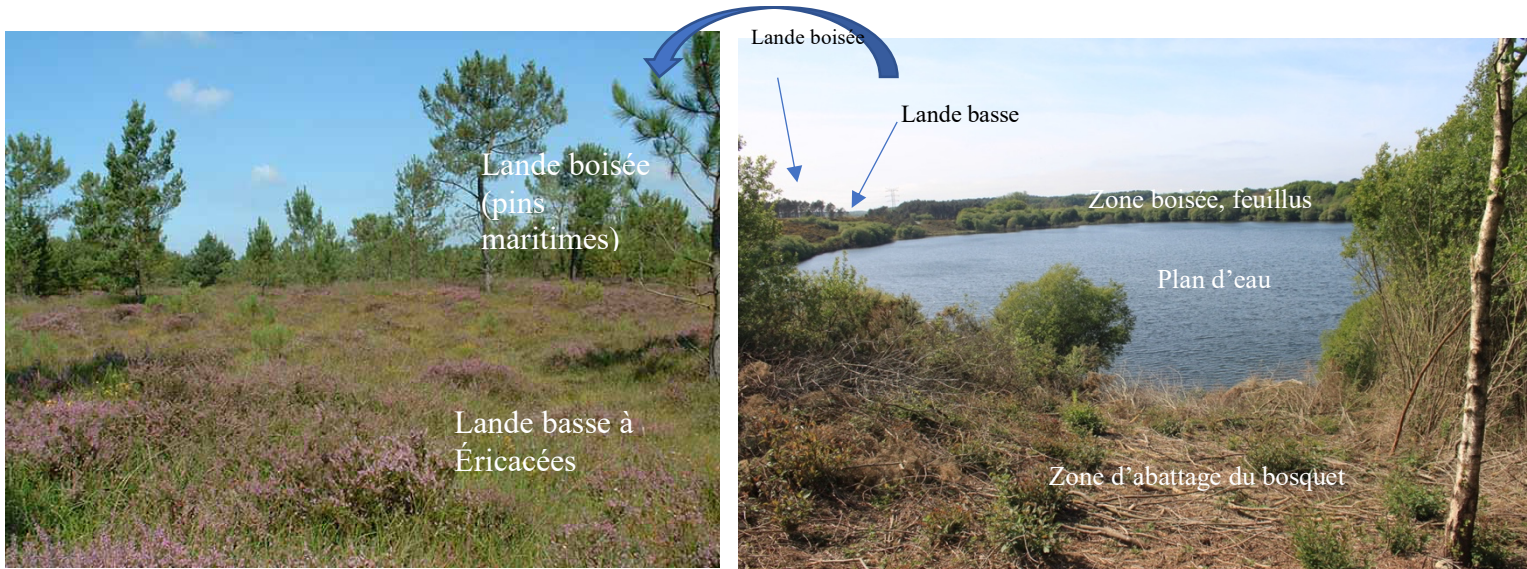
☞ Ils ne prennent **pas en compte la dynamique d'évolution l'écosystème.**

C. Caractériser une structuration spatiale de l'écosystème

1) Structuration horizontale :

a) Les Landes de Lessay - Cotentin – Normandie - vendredi 6 mai 2022

→ **Annoter** les photographies afin de dégager la structuration horizontale qui existe au sein de l'écosystème.



b) Carrière de Fresville – Géosite - Cotentin – Normandie : samedi 7 mai 2022



En utilisant la carte IGN du livret de géographie, **mettre** les points cardinaux sur la photographie.

Montrer qu'il existe une structuration horizontale au sein de ce site.

1) **Structuration verticale :**

- a) Caractériser la structuration verticale sur le site de la carrière de Fresville - Géosite - Cotentin – Normandie : samedi 7 mai 2022

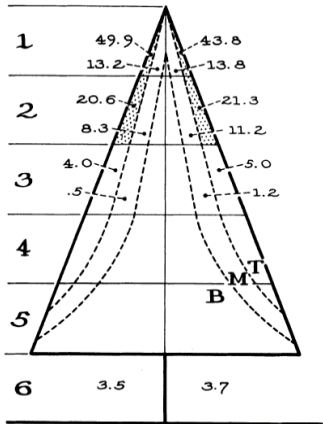
Annoter la photographie en identifiant les différentes strates de végétation



b) **Répartition verticale des oiseaux dans un arbre**

L'abondance relative que Parulines (petits passereaux arboricoles) a été quantifiée aux différentes hauteurs dans des forêts l'est des États-Unis d'Amérique (*Mac Arthur et al., 1958 – Ecology*). En abscisse : nombre total d'observations (vers la droite) et proportion du temps passé à chaque hauteur (vers la gauche).

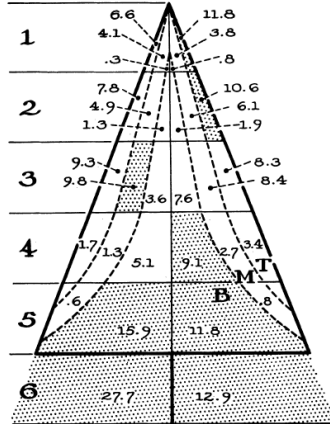
Cape May warbler – Paruline tigrée (*Setophaga tigrina*)



% OF TOTAL NUMBER (2589) OF SECONDS OF OBSERVATION

% OF TOTAL NUMBER (80) OF OBSERVATIONS

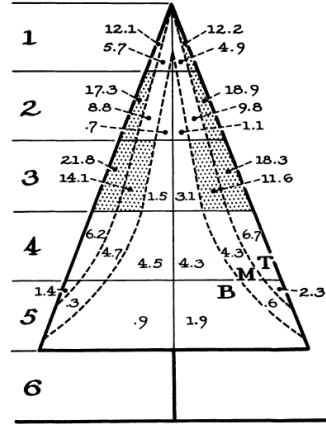
Yellow rumped (Myrtle) warbler – Paruline du myrte (*Setophaga coronata*)



% OF TOTAL NUMBER (4777) OF SECONDS OF OBSERVATION

% OF TOTAL NUMBER (263) OF OBSERVATIONS

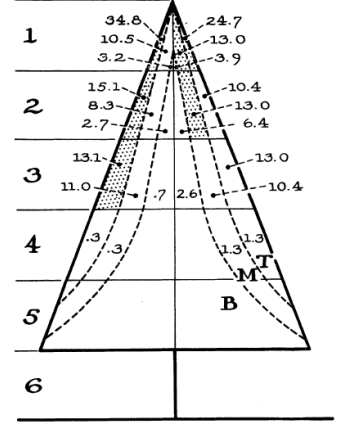
Black throated green warbler – Paruline à gorge noire (*Setophaga virens*)



% OF TOTAL NUMBER (2611) OF SECONDS OF OBSERVATION

% OF TOTAL NUMBER (164) OF OBSERVATIONS

Black burnian warbler – Paruline à gorge orangée (*Setophaga fusca*)



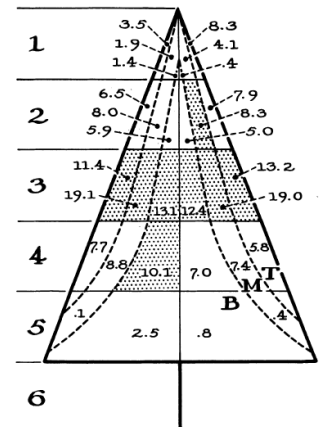
% OF TOTAL NUMBER (1631) OF SECONDS OF OBSERVATION

% OF TOTAL NUMBER (77) OF OBSERVATIONS



• Décrire la distribution verticale des différentes espèces de parulines. Proposer des hypothèses expliquant ce constat.

Bay breasted warbler – Paruline à poitrine baie (*Setophaga castanea*)



% OF TOTAL NUMBER (4166) OF SECONDS OF OBSERVATION

% OF TOTAL NUMBER (242) OF OBSERVATIONS



II. Les relations interspécifiques ...

A.... centré sur un organisme, l'arbre

1. **Reporter** les relations interspécifiques que vous avez observé lors de l'activité de terrain - sur le site de la carrière de Fresville - Géosite - Cotentin – Normandie : samedi 7 mai 2022

2. Caractériser les relations interspécifiques à partir de l'étude d'échantillons

a) Par les moyens de votre choix **présenter et caractériser** une relation interspécifique à partir de l'échantillon fourni.

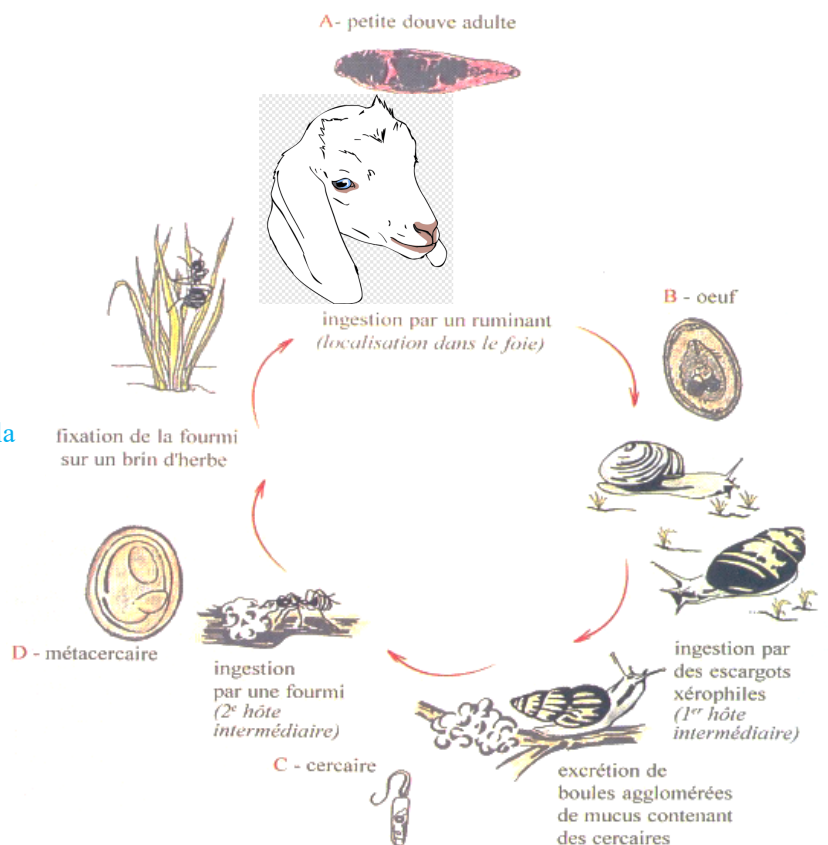
b) Vous disposez d'un **échantillon de Lichen**
Par la réalisation de coupes **présenter et caractériser** une relation interspécifique à partir de l'échantillon fourni.

B.... à partir d'exemples liés à la sortie de terrain

1. Le cycle de la Douve - Visite de la chèvrerie à Liesville sur Douve – samedi 7 mai 2022

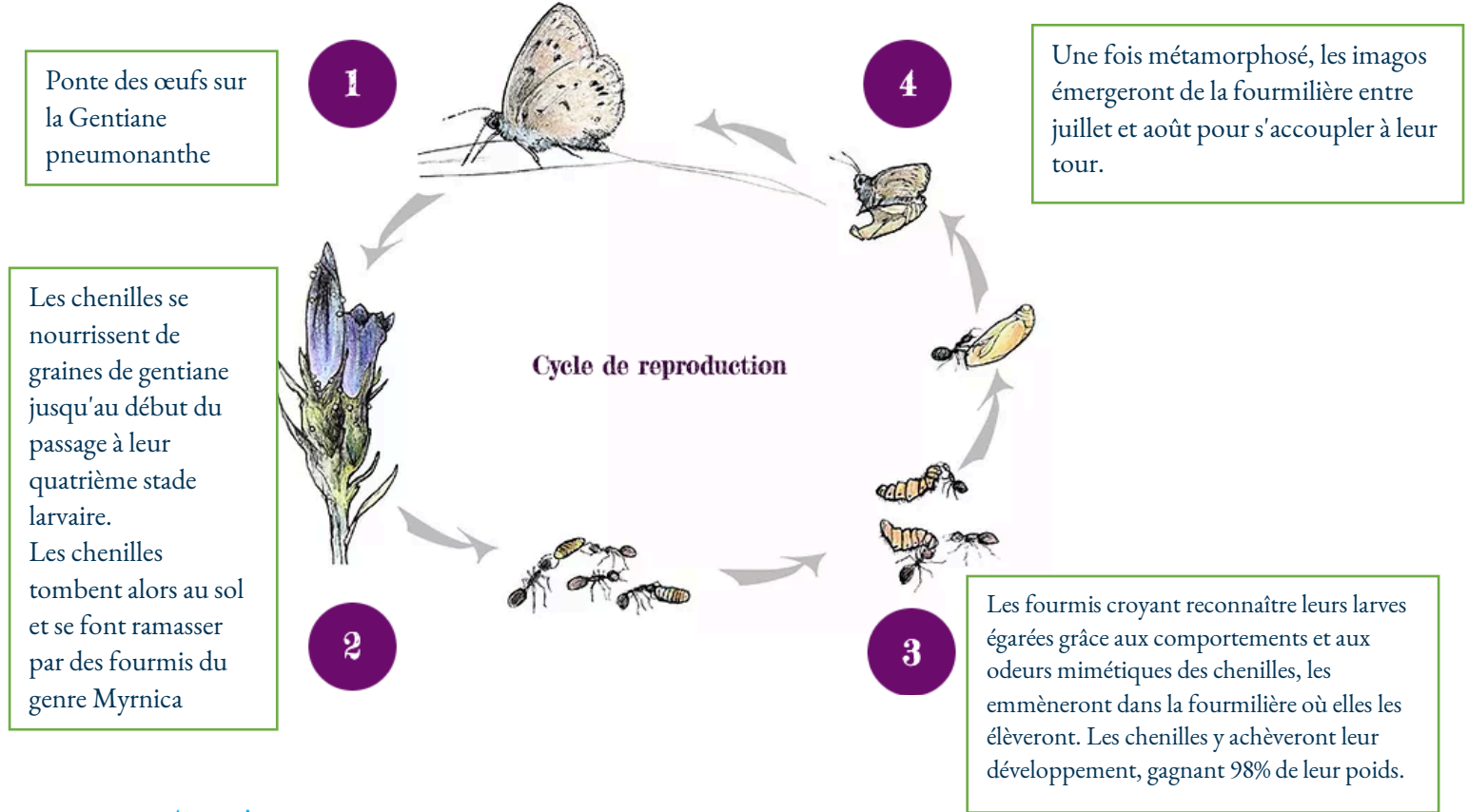


Cycle évolutif de la douve (*Dicrocoelium lanceolatum*)
(bulletin des GTV, 1996)



⇒ Choix de l'homme, pas de pâturage pour les chèvres car toutes les pâtures contaminées par la douve.

2. **L'Azuré des Mouillères** (*Maculinea alcon*), papillon diurne protégé en France, a été repéré, pour la première fois, dans les landes de Lessay, en 1976.



Attention :

- pas de jugement sentimental vis-à-vis du parasitisme => ici espèce parasite = espèce protégée
- protection de l'espèce d'Azuré passe par la protection de son habitat et des espèces avec lesquelles relation interspécifique étroite
- Suivi scientifique
 - Comptage des pieds de gentianes dans la lande
 - Identification des œufs d'Azuré sur pieds de gentianes → 1 femelle = 120 œufs → extrapolation pour estimer nb de femelles dans population → sexe ration = 1 => extrapolation et détermination de l'effectif total de la population
 - Étude des populations de fourmis par capture via appât => objectif d'estimation de la densité de fourmilières
<https://www.cpiecotentin.com/suivi-azur>

III. Modéliser la dynamique de populations grâce au logiciel Populus

A. A l'aide du logiciel Populus présenter deux modèles de la croissance d'une population

Modélisation de la croissance d'une population
NON limitée par les ressources

-

Croissance INdépendante de la densité de la
population

-

Taux d'accroissement « r » est maximal et
constant

N(t) effectif de la population à un instant t

POPULUS

Model

-> *Single Species Dynamics*

-> *Density-Independent Growth* -> *choix des
paramètres du modèle*

-> *puis cliquer sur « View ».*

Modélisation de la croissance d'une population
limitée par les ressources

-

Croissance dépendante de la densité de la
population

-

La valeur du taux d'accroissement « r » diminue
lors que l'effectif augmente

N(t) effectif de la population à un instant t
K capacité biotique du milieu = constante

POPULUS

Model

-> *Single Species Dynamics*

-> *Density-Dependent Growth*

-> *choix des paramètres du modèle*

-> *puis cliquer sur « View ».*

Nom du modèle de croissance de la population

Modèle de croissance EXPONENTIELLE

Nom du modèle de croissance de la population

Modèle de croissance LOGISTIQUE

B. Modèle logistique et compétition INTRAspécifique

1. Étude à partir du logiciel Populus

Un modèle très utilisé en dynamique des populations est le modèle logistique, qui permet de prédire l'évolution de l'effectif d'une population N en fonction de son effectif initial $N(0)$ et de deux paramètres démographiques r et K .

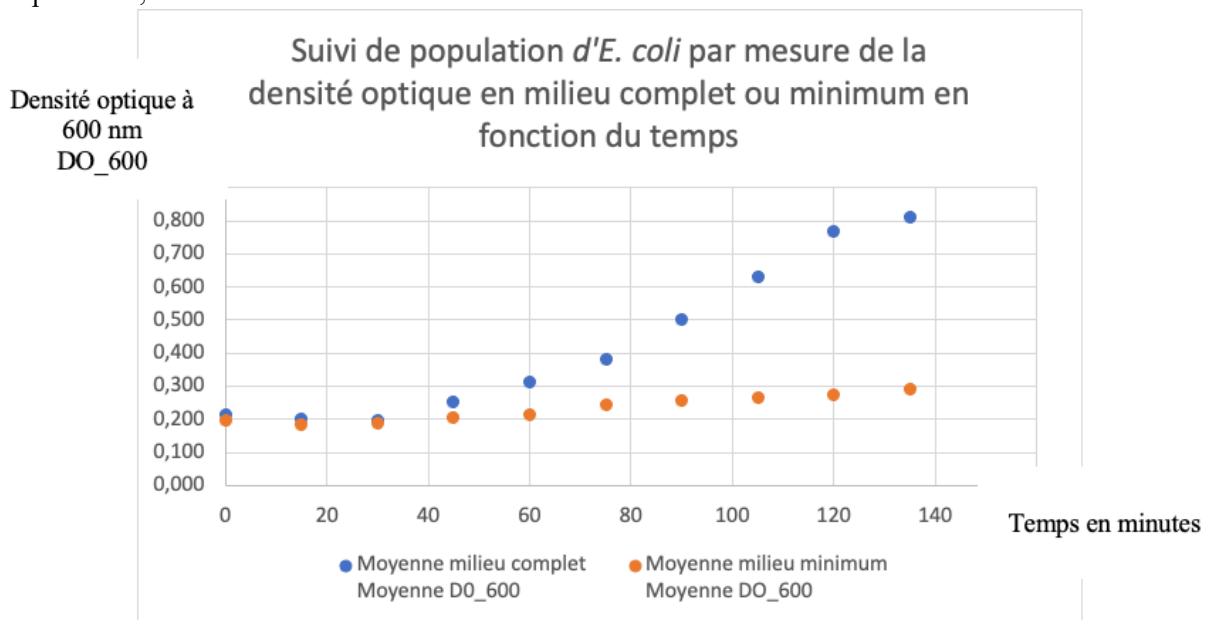
- N : effectif = nombre d'individus dans la population
- K : capacité de charge du milieu = capacité biotique = effectif maximal supporté par le milieu = nombre d'individus maximal supporté par le milieu
- r : taux d'accroissement de la population : nombre d'individus en plus par unité de temps.

A l'aide de ce logiciel, **représenter** sur le même écran la dynamique de deux populations, en utilisant les paramètres suivants et un temps de simulation $t = 50$:

espèce	N_0	K	r
A	10	250	0,2
B	10	100	0,5

2. Analyse d'un suivi de population bactérienne dans deux conditions expérimentales

- A partir des courbes de suivi de la population bactérienne *E. coli* obtenues dans le TP-Population,








- Déterminer :

- La DO_{600} équivalente à la capacité biotique (K) du milieu minimum : $DO_{600 \text{ max}} =$
- La DO_{600} équivalente à la capacité biotique (K) du milieu complet : $DO_{600 \text{ max}} =$
- Que faudrait-il pour convertir la DO_{600} en nombre d'individus et ainsi trouver la capacité biotique (K) des deux milieux :

- Est-ce que les effectifs N_0 étaient identiques dans les deux conditions expérimentales (milieu complet versus milieu minimum) ? **Justifier.**

- Les taux d'accroissement des deux populations bactériennes étaient-ils identiques ? **Justifiez.**

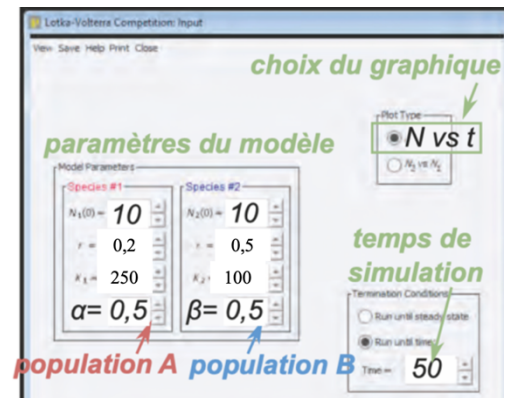
C. Modèle logiqtique et compétition INTERspécifique

		Écrevisse à pattes blanches, <i>Austropotamobius pallipes</i>	Ecrevisse de Louisiane, <i>Procambarus clarkii</i>
Photo			
Milieu de vie = biotope		Eau douce Eau froide non polluée, claires, vives Caractéristique du biotope stricte – peu d'adaptabilité	Eau douce Grande adaptabilité aux variations du biotope Creuse des terriers dans les berges Augmente la turbidité de l'eau
Reproduction et développement	Age de la maturité sexuelle	3 ans	6 mois
	Rythme de reproduction	1 fois par an	Plusieurs fois par an
	Nombre d'œufs par ponte	50 à 150	Jusqu'à 500
	Temps d'incubation des œufs sous l'abdomen = soin / protection	6 à 9 mois	8 semaines maximum
	Longévité maximale	8 à 10 ans	6 ans
Fonction de relation	Santé Peste de l'écrevisse Agent pathogène = oomycète <i>Aphanomyces astaci</i>	Sensible à la peste de l'écrevisse Mort	Porteuse saine
	Modification des communautés biologiques	Espèce autochtone Appartient aux communautés biologiques naturellement présentes  protégée  menacée Monde  Liste rouge	Espèce introduite par l'homme Espèce envahissante Disparition des Amphibiens, des Insectes d'eau douce, de la végétation Arrivée de nombreux échassiers (oiseaux prédateurs)

- D'après les données du tableau présentant les deux espèces, déterminer
 - **quel paramètre (K ou r) sera déterminant** dans la croissance de la population de l'écrevisse de Louisiane :
 - **quel paramètre (K ou r) sera déterminant** dans la croissance de la population de l'écrevisse de Louisiane :

Le **modèle de Lotka-Volterra** (appelé Lotka-Volterra Competition dans le menu MultiSpecies Dynamics de Populus) permet de simuler la dynamique de deux populations en compétition dans un environnement stable, selon un modèle logistique, mais en ajoutant des coefficients de compétition interspécifique (notés α et β).

« α » capacité de la population A à gêner la population B
 « β » capacité de la population B à gêner la population A



- A l'aide de ce logiciel, **représenter** sur le même écran la dynamique des populations A et B, en utilisant des coefficients de compétition $\alpha = \beta = 0,5$ et en conservant un temps de simulation $t = 50$.
Remplir la première ligne du tableau.
Attribuer une espèce d'écrevisse aux espèces A et B.

Tableau de valeurs à compléter (Utiliser le même temps pour toutes les simulations : T = 50 générations)

Simulation	Valeurs des paramètres									
	Espèce A					Espèce B				
	$N_1(0)$	r_1	K_1	α	Effectif final	$N_1(0)$	r_2	K_2	β	Effectif final
N°1	10	0,2	250	0,5		10	0,5	100	0,5	
N°2	10	0,2		0,5		10	0,5	100	0,5	
N°3	10	0,2	250			10	0,5	100		
N°4	10	0,2	250			10	0,5	100		

- Dans la simulation n°2, **trouver la capacité biotique K1 seuil** pour laquelle l'espèce A disparaît, tout paramètre égal par ailleurs à la simulation n°1,
- Dans la simulation n°3, **tester l'effet de coefficients de compétitivité défavorable à l'écrevisse blanche et favorable à l'écrevisse de Louisiane** tout paramètre égal par ailleurs à la simulation n°1.
- Dans la simulation n°4, **tester l'effet d'une diminution des coefficients de compétitivité tout en gardant une compétition symétrique**, tout paramètre égal par ailleurs à la simulation n°1.

Pour conclure, **indiquer** les simulations qui conduisent à une exclusion compétitive des deux espèces et celles qui conduisent à une coexistence des deux espèces.

D. Relation proie prédateur et lutte biologique contre l'écrevisse de Louisiane.

On tente une lutte biologique contre le stade adulte de l'écrevisse de Louisiane en réintroduisant un prédateur : l'Anguille d'Europe, *Anguilla anguilla*, espèce en danger critique d'extinction.



Simuler l'évolution des population d'écrevisses et d'Anguille sur 100 générations (modèle multi-species dynamics ; continuous predator-prey model) avec les paramètres suivants :

✧ Ecrevisse de Louisiane :

$N_0 = 100$,

$r = 0,5$

taux de capture par les Anguilles $C = 0,1$

✧ Anguille Européenne :

$P_0 = 2$,

taux de mortalité = $0,2$,

taux de conversion de biomasse de proie en biomasse de prédateur $g = 0,1$

- En combien de générations disparaissent les Écrevisses ?
- Et à quel temps de simulation reviennent-elles ?
- Quel problème se pose pour les Anguilles ?

- Quelles sont les limites de cette modélisation ?

- Est-il judicieux d'utiliser pour la lutte une espèce en voie d'extinction ?

IV. Flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes

A. Étudier la formation de biomasse dans les écosystèmes : production et productivité

Définitions :

♥ **biomasse (t/ha) = quantité de matière vivante** à un instant donné par **unité de surface**
(prairie de fauche = 10t/ha, forêt tempérée 300t/ha)
exprimée en masse sèche ou fraîche (ou masse de C) par unité de surface, ou de volume ou d'individus
ou en volume ou en nb d'individus (10 t de bœuf/ha, 20 grillon/m²)

♥ **production (t/ha/an) = quantité de matière sèche élaborée par unité de surface et de temps** pour une biomasse donnée :
♥ **production primaire** : quantité de matière formée par producteurs primaires (prairie de fauche = 20t/ha/an, agrosystème céréalier = 40t/ha/an)
♥ **production secondaire** : quantité de matière formée par les producteurs secondaires (production de 1000 kg bœuf/ha/an)

♥ **productivité (an⁻¹) = rapport production/biomasse**
prairie de fauche : productivité = 20/10 = **2 an⁻¹** : la prairie a une productivité du double de sa biomasse/an → 2 fauches /an
forêt tempérée : productivité = 0,04 an⁻¹ elle ne renouvelle que 4% de sa biomasse/an
attention : la productivité d'un être vivant baisse avec son âge : après un seuil de croissance on ne fait que de l'entretien !

♥ **turn-over (temps de séjour)(an) = biomasse/production = 1/productivité** (~ durée de vie moyenne des êtres vivants d'un niveau trophique)
Prairie de fauche : turn over = 10/20 = **0,5 an** : la prairie a un turn over (se renouvelle en) de 6 mois → on peut faire 2 fauches/an
Forêt : turn over= 25 ans
Les espèces de petite taille ont un turn over plus court (Campagnol 4 mois, Cerf 4 ans, phytoplancton 1 jour, zooplancton 5 jours)

• **Calculer** la productivité primaire et le temps de résidence dans les forêts tempérées et les agroécosystèmes (*dont font partie les prairies pâturées*). Et **donner** la signification des résultats sous forme de phrases.

Écosystème	Surface occupée (10^6 ha)	Masse des êtres vivants à échelle planétaire (10^9 t)	Production primaire nette à l'échelle planétaire ($t \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	Productivité primaire (an^{-1})	Turn over = temps de séjour (an)
Forêts tempérées	1 200	385	12,5		
Agro-écosystèmes, dont les prairies pâturées tempérées	1 400	14	6,5		

B. Établir un bilan quantitatif des exportations et importations d'un écosystème : exemple de la pâture

On étudie une prairie pâturée par des bovins de race allaitante (*et/ou des bœufs*). Ainsi, l'énergie sortante correspond à l'énergie chimique potentielle de la matière organique (*viande de vache allaitante et/ou de bœufs*). L'énergie entrante est l'énergie solaire incidente.

Agrosystèmes	Énergie solaire incidente	Producteurs primaires	Consommateurs de premier ordre	Consommateurs de second ordre
Champ de blé en Hollande	$5,4 \cdot 10^9$	$47,9 \cdot 10^6$ (grain de blé)	$32,5 \cdot 10^4$ (tissu humain)	aucun
Prairie en France	$41,6 \cdot 10^9$	$163,4 \cdot 10^6$ (herbe)	$11,1 \cdot 10^6$ (tissu de bœuf)	$8,4 \cdot 10^4$ (tissu humain)

Tableau 2. Énergie solaire incidente et énergie de chaque niveau trophique. Les chiffres communiqués sont en kJ

Le calcul des flux d'énergie traversant les agroécosystèmes permet d'**estimer l'impact écologique** de son alimentation.

Pour le champ de blé, la production en grains utilisables par l'homme est de 47,9 millions de kJ/ha/an. Les grains sont digestibles à 80 %.

Pour la prairie pâturée, la production secondaire (viande + lait) est de 21,7 millions de kJ/ha/an. Après nourrissage des veaux avec le lait, il reste 11,1 millions de kJ/ha/an digestibles à 90 %.

- **Construire** les deux chaînes trophiques (*chaînes alimentaires*) évoquées dans le document et justifier les niveaux trophiques différents occupés par l'homme.

- **Calculer** pour chaque production l'énergie restante et donc disponible pour l'alimentation humaine.

- En considérant qu'il faut 4,1 millions de kJ pour nourrir un homme pendant 1 an, **calculer** le nombre d'humains qui pourront être nourris par 1 hectare de blé et 1 hectare de prairie.