

Faire de la bio en cours de math ? L'exemple des amibes en mouvement

Hatem ZAAG
CNRS et LAGA Université Paris-Nord



Mathematic Park à Bobigny
21 mars 2014



1 La physique, la biologie, et leur rapport aux mathématiques

Sommaire

- 1 La physique, la biologie, et leur rapport aux mathématiques
- 2 Jouons à l'apprenti scientifique, avec les amibes !

Sommaire

- 1 La physique, la biologie, et leur rapport aux mathématiques
- 2 Jouons à l'apprenti scientifique, avec les amibes !
- 3 Conclusion sur la démarche scientifique

Sommaire

- 1 La physique, la biologie, et leur rapport aux mathématiques
 - Observation de manuels scolaires
 - Pourquoi la physique est plus “mathématisée” que la biologie
- 2 Jouons à l’apprenti scientifique, avec les amibes !
- 3 Conclusion sur la démarche scientifique

Activité introductrice : observation de manuels scolaires

Activité introductrice : observation de manuels scolaires

Avant de savoir si l'on peut

“faire de la bio en cours de maths”,

Activité introductrice : observation de manuels scolaires

Avant de savoir si l'on peut

“faire de la bio en cours de maths”,

je vous pose une question d'abord :

“Faites-vous des maths en cours de bio ?”

Activité introductrice : observation de manuels scolaires

Avant de savoir si l'on peut

“faire de la bio en cours de maths”,

je vous pose une question d'abord :

“Faites-vous des maths en cours de bio ?”

Observons deux manuels que vous pourriez utiliser en classe :

Activité introductrice : observation de manuels scolaires

Avant de savoir si l'on peut

“faire de la bio en cours de maths”,

je vous pose une question d'abord :

“Faites-vous des maths en cours de bio ?”

Observons deux manuels que vous pourriez utiliser en classe :

- l'un de physique, *“Cours de Physique de Seconde S”* de Wahab DIOP, Éditions Sawd, 2010,

Activité introductrice : observation de manuels scolaires

Avant de savoir si l'on peut

“faire de la bio en cours de maths”,

je vous pose une question d'abord :

“Faites-vous des maths en cours de bio ?”

Observons deux manuels que vous pourriez utiliser en classe :

- l'un de physique, *“Cours de Physique de Seconde S”* de Wahab DIOP, Éditions Sawd, 2010,
- l'autre de biologie, *“Cours sur la respiration”*, anonyme, (Lycée Sainte Cécile ?), pour Terminale ST2S (sciences et technologies de la santé et du social), 2012-2013.

Document 1 : Un manuel de physique de Seconde

Extrait du “*Cours de Physique de Seconde S*” de Wahab DIOP, Éditions Sawd, 2010.



COLLECTION SAWD

M. Serigne Abdou Wahab Diop
<http://physiquechimie.acofes.edu.sn>
Lycée Seydina Limamoulaye

Document 1 : Un manuel de physique de Seconde

Page 31 : Chapitre “Équilibre d'un solide soumis à des forces non parallèles”

31 Cours de Physique seconde S

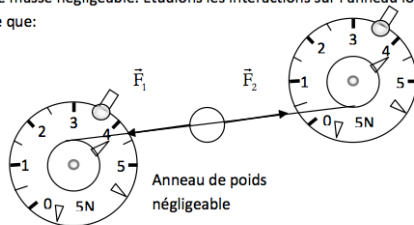
Équilibre d'un solide soumis à des forces non parallèles

I. Équilibre d'un solide soumis à deux forces

Un solide est en équilibre, dans un repère déterminé, si tous les points sont immobiles dans ce repère.

1. EXPÉRIENCE

A l'aide de deux dynamomètres circulaires fixé sur un tableau magnétique, accrochons aux extrémités un anneau de masse négligeable. Étudions les interactions sur l'anneau lorsque les fils sont tendus. On observe que:



Document 1 : Un manuel de physique de Seconde

Page 31 : suite du chapitre “Équilibre d’un solide soumis à des forces non parallèles”

- l'anneau est immobile: il est donc en équilibre,
- \vec{F}_1 et \vec{F}_2 (actions que les fils exercent sur l'anneau) ont la même ligne d'action (droite support), des sens contraires et des intensités égales (remarquer que les dynamomètres indique la même valeur).

2. CONDITIONS D'ÉQUILIBRE

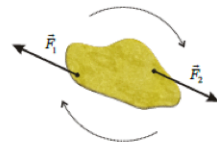
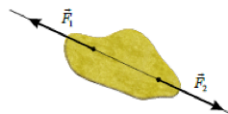
Si un solide est en équilibre sous l'action de deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 alors on a:

- \vec{F}_1 et \vec{F}_2 ont la même ligne d'action
- \vec{F}_1 et \vec{F}_2 sont de sens contraires
- \vec{F}_1 et \vec{F}_2 ont la même intensité ($F_1 = F_2$)

On résume ces trois situations par la relation mathématique:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

Remarque: cette condition est nécessaire mais non suffisante.
(Le couple de force est un contre exemple)



31

Document 1 : Un manuel de physique de Seconde

Page 32 : suite du chapitre “Équilibre d’un solide soumis à des forces non parallèles”

32 Cours de Physique seconde S

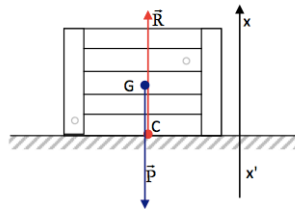
Dans le cas d'un couple de forces (deux forces de lignes d'action parallèles, de sens contraires et de même intensité), le système n'est pas en équilibre bien que la somme vectorielle des forces soit nulle. Un tel système tourne autour de son centre.

3. QUELQUES APPLICATIONS

a) Réaction d'un support horizontal

Considérons une caisse de masse m posée sur le sol horizontal. Étudions son équilibre. Le système caisse est soumis à deux forces extérieures.

- système: caisse
- référentiel terrestre supposé galiléen
- bilan des forces:
 - poids \vec{P} exercée par la Terre sur la caisse
 - \vec{R} réaction du plan sur la caisse
- caractéristiques:



\vec{P} { point d'application: G
direction: verticale
sens: vers le bas
norme: P

\vec{R} { point d'application: C
direction: verticale
sens: vers le bas
norme: R

Document 1 : Un manuel de physique de Seconde

Page 32 : suite du chapitre “Équilibre d’un solide soumis à des forces non parallèles”

- condition d'équilibre: $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$ d'où $\vec{R} = -\vec{P}$ donc $R = P = 0$ suivant l'axe Ox

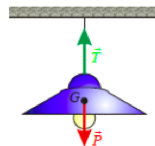
$$\Rightarrow \boxed{R = P = mg}$$

b) Tension d'un fil supportant un solide

Un lustre de masse m suspendu au plafond est en équilibre. L'ensemble constitue un pendule simple.

- système: lustre
- référentiel terrestre supposé galiléen
- bilan des forces:
 - le poids \vec{P} exercé par la Terre sur le lustre
 - la tension \vec{T} exercée par le fil sur le lustre
- condition d'équilibre: $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T} = -\vec{P} \Rightarrow$

$$\boxed{T = P = mg}$$



32

M. Serigne Abdou Wahab Diop | <http://physiquechimie.ecoles.officelive.com>

Document 1 : Un manuel de physique de Seconde

Page 33 : suite du chapitre “Équilibre d’un solide soumis à des forces non parallèles”

33 Cours de Physique seconde S

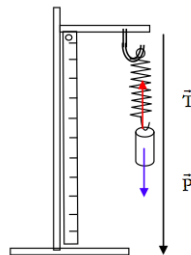
c) Tension d'un ressort supportant un solide

Soit un solide de masse m suspendu à l'aide d'un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 . L'ensemble constitue un pendule élastique. ℓ étant la longueur du ressort à l'équilibre.

- système: solide
- Bilan des forces:
 - le poids \vec{P}
 - la tension du ressort \vec{T}
- condition d'équilibre: $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0}$

En projetant la relation sur l'axe Ox, on trouve: $-T + P = 0$

$$\Rightarrow T = P \text{ d'où } k(\ell - \ell_0) = mg$$



II. Équilibre d'un solide soumis à trois forces

1. EXPÉRIENCE

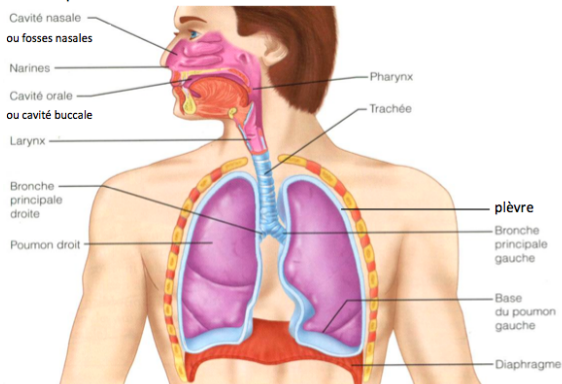
Réalisons à l'aide d'un tableau magnétique, de deux poulies à support magnétique, d'un anneau de masse négligeable et de trois masses de poids connus ($P_1 = 1,94 \text{ N}$; $P_2 = 2 \text{ N}$ et $P_3 = 1,23 \text{ N}$) le dispositif suivant. Les vecteurs sont à l'échelle: $1 \text{ cm} \Rightarrow 1 \text{ N}$.

Document 2 : Cours sur la respiration, Terminale ST2S

Chapitre 1 : Organisation de l'appareil respiratoire (extraits) :

lobe étant lui-même divisé en lobules qui constituent les unités fonctionnelles.

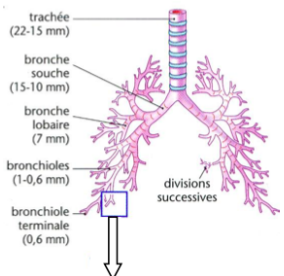
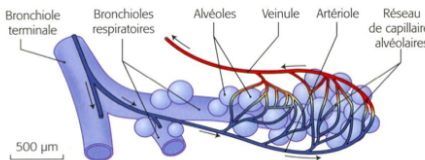
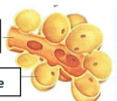
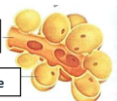
La plèvre, fine séreuse constituée de 2 feuillets l'un viscéral et l'autre pariétal, entoure et protège chaque poumon. Elle permet aux poumons de suivre les mouvements de la cage thoracique lors des mouvements respiratoires.



Appareil respiratoire

Document 2 : Cours sur la respiration, Terminale ST2S

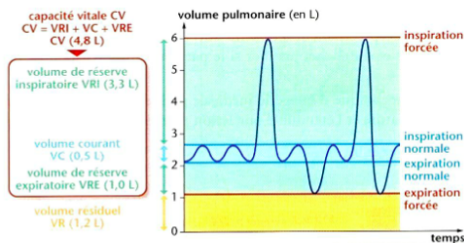
Chapitre 1 : Organisation de l'appareil respiratoire (extraits) :

<p>Structures de la zone de conduction représentées par les voies respiratoires</p> 	<p>Voies aériennes supérieures :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ fosses nasales ○ pharynx ○ larynx <p>Voies aériennes inférieures :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ trachée ○ arbre bronchique : des bronches principales (ou souches) aux bronchioles terminales.
<p>Structures de la zone respiratoire appartenant aux poumons.</p> 	<p>Le parenchyme pulmonaire comporte les alvéoles pulmonaires (dont la paroi est riche en capillaires sanguins) qui constituent la seule zone d'échange entre l'air et le sang.</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">Conduit alvéolaire</div>  </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">Alvéole pulmonaire</div>  </div>

Document 2 : Cours sur la respiration, Terminale ST2S

Chapitre 2 : Méthodes d'exploration et pathologies de l'appareil respiratoire (extraits) :

Le document ci-contre représente le **spirogramme d'un sujet adulte sain**.

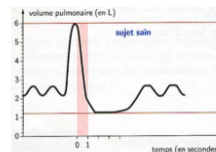


Q8 Calculer les volumes d'air représentés par :

	Mode de calcul	Résultats en litre
Capacité pulmonaire totale	$VRI + VC + VRE + VR$	
Capacité inspiratoire	$VRI + VC$	
Capacité résiduelle fonctionnelle	$VRE + VR$	
Capacité vitale	$VRI + VC + VRE$	

A partir du document ci-contre déterminer le VEMS :

Réponse :



Document 2 : Cours sur la respiration, Terminale ST2S

Chapitre 3 : Physiologie de l'appareil respiratoire (extraits) :

III 2 MECANISME DES ECHANGES GAZEUX

On étudie la répartition des gaz dans l'appareil respiratoire et dans l'organisme.

III 2.1 AU NIVEAU DES POUMONS

La paroi alvéolo-capillaire sépare:

- le sang provenant de l'artère pulmonaire (sang non hématosé), de
- l'air alvéolaire.

L'air est un mélange gazeux contenant environ :

Constituant de l'air	Air inspiré	Air expiré
Azote	~ 79% soit $P_{N_2} = 79$ kPa	~ 79% soit $P_{N_2} = 79$ kPa
Dioxygène	20 % soit $P_{O_2} = 20$ kPa	15% soit $P_{O_2} = 15$ kPa
Vapeur d'eau	0,5 %	Saturé
Dioxyde de carbone	0,04 % soit $P_{CO_2} = 0,04$ kPa	5% soit $P_{CO_2} = 5$ kPa
Gaz rares	traces	traces

La pression d'un mélange gazeux comme l'air est exprimée en **kiloPascals (kPa)**. Elle est égale à la **somme des pressions partielles des différents gaz**, qui sont proportionnelles aux pourcentages des gaz du mélange. ($P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{CO_2}$)

Les seuls gaz échangés lors de la respiration sont le dioxygène et le dioxyde de carbone, le diazote n'intervient pas dans les échanges gazeux (le taux d'azote est le même dans tous les compartiments).

Document 2 : Cours sur la respiration, Terminale ST2S

Chapitre 3 : Physiologie de l'appareil respiratoire (extraits) :

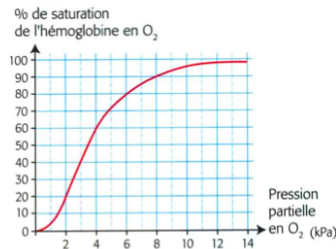
III 3.2.2 COURBE DE SATURATION DE L'HEMOGLOBINE EN DIOXYGENE (courbe de Barcroft)

Le pourcentage de saturation de l' Hb en O_2 est le quotient du taux d'oxyhémoglobine sur l'hémoglobine totale.

Le % de saturation de l'Hb en O_2 en fonction de la PO_2 est une courbe sigmoïde qui montre que la saturation de l'Hb en O_2 augmente avec la PO_2 , mais cette augmentation n'est pas proportionnelle.

Car pour des valeurs de PO_2 faibles (de 0 à 2 kPa) ou fortes (de 8 à 14 kPa) la **variation du % de saturation** de l'Hb est faible (par exemple entre 8 et 14 kPa : 10% = 100 – 90). Alors que pour des valeurs de PO_2 intermédiaires (de 2 à 8 kPa) la **variation du % de saturation** de l'Hb est forte soit 70% (90 – 20).

L'affinité de l'Hb pour les molécules d' O_2 varie selon la PO_2 :



Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

- On écrit des **formules mathématiques** à toutes les lignes (ou presque) ;

Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

- On écrit des **formules mathématiques** à toutes les lignes (ou presque) ;
- L'aspect **description des phénomènes et des mécanismes** est parfois relégué au second plan.

Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

- On écrit des **formules mathématiques** à toutes les lignes (ou presque) ;
- L'aspect **description des phénomènes et des mécanismes** est parfois relégué au second plan.

Analyse du Document 2 (biologie) :

Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

- On écrit des **formules mathématiques** à toutes les lignes (ou presque) ;
- L'aspect **description des phénomènes et des mécanismes** est parfois relégué au second plan.

Analyse du Document 2 (biologie) :

- Les **formules mathématiques** sont peu présentes, ou alors à travers la physique ou la chimie.

Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

- On écrit des **formules mathématiques** à toutes les lignes (ou presque) ;
- L'aspect **description des phénomènes et des mécanismes** est parfois relégué au second plan.

Analyse du Document 2 (biologie) :

- Les **formules mathématiques** sont peu présentes, ou alors à travers la physique ou la chimie.
- L'aspect **qualitatif (phénomènes, mécanismes)** est omniprésent.

Comparaison des deux documents

Analyse du Document 1 (physique) :

- On écrit des **formules mathématiques** à toutes les lignes (ou presque) ;
- L'aspect **description des phénomènes et des mécanismes** est parfois relégué au second plan.

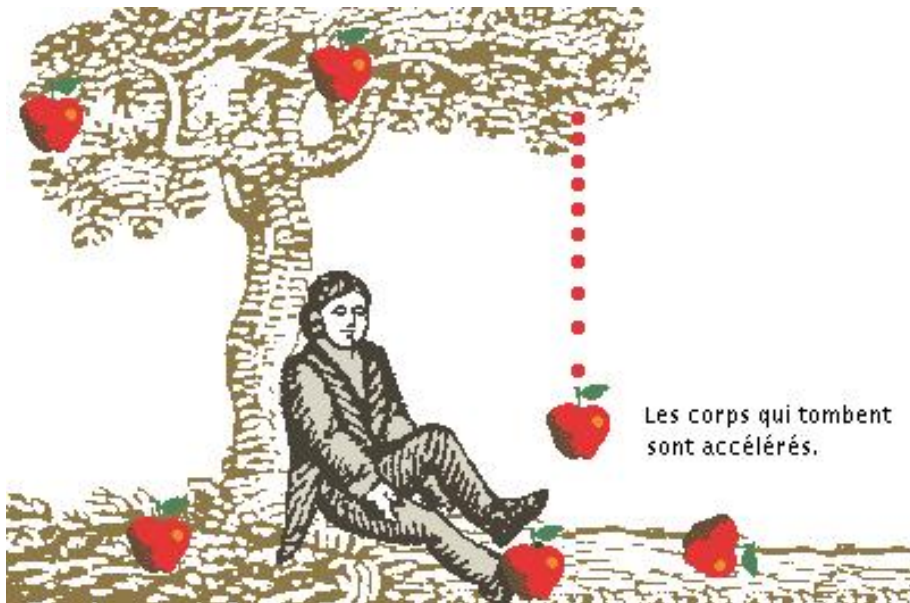
Analyse du Document 2 (biologie) :

- Les **formules mathématiques** sont peu présentes, ou alors à travers la physique ou la chimie.
- L'aspect **qualitatif (phénomènes, mécanismes)** est omniprésent.

Pourquoi ?

Un élément de réponse

Un élément de réponse



C’était qui ?

C’était qui ?

Il s’agit de

C’était qui ?

Il s’agit de



C’était qui ?

Il s’agit de



Isaac Newton, célèbre physicien anglais du 17eme siècle, par ses contributions fondamentales en **mécanique**, dont

C’était qui ?

Il s’agit de



Isaac Newton, célèbre physicien anglais du 17eme siècle, par ses contributions fondamentales en **mécanique**, dont

- la **loi universelle de la gravitation**,

C’était qui ?

Il s’agit de



Isaac Newton, célèbre physicien anglais du 17eme siècle, par ses contributions fondamentales en **mécanique**, dont

- la **loi universelle de la gravitation**,
- les **3 lois universelles du mouvement**,

C’était qui ?

Il s’agit de



Isaac Newton, célèbre physicien anglais du 17eme siècle, par ses contributions fondamentales en **mécanique**, dont

- la **loi universelle de la gravitation**,
- les **3 lois universelles du mouvement**, dont le **Principe Fondamental de la Dynamique (PFD)** (version simplifiée) :

C’était qui ?

Il s’agit de



Isaac Newton, célèbre physicien anglais du 17^{ème} siècle, par ses contributions fondamentales en **mécanique**, dont

- la **loi universelle de la gravitation**,
- les **3 lois universelles du mouvement**, dont le **Principe Fondamental de la Dynamique (PFD)** (version simplifiée) :

La masse × l’accélération = la somme des forces

C’était qui ?

Il s’agit de



Isaac Newton, célèbre physicien anglais du 17eme siècle, par ses contributions fondamentales en **mécanique**, dont

- la **loi universelle de la gravitation**,
- les **3 lois universelles du mouvement**, dont le **Principe Fondamental de la Dynamique (PFD)** (version simplifiée) :

La masse \times l’accélération = la somme des forces

ou encore :

$$m \times a = \sum_i F_i.$$

Commentaire

Ce **principe universel**,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement),

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

En biologie,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

En biologie, science touchant à “**la vie**”,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

En biologie, science touchant à “**la vie**”, on n’a pas de **principe universel**,

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

En biologie, science touchant à “la vie”, on n’a pas de **principe universel**, pas de **modèle** mathématique universel englobant tous les aspects du “vivant”.

Commentaire

Ce **principe universel**, dans la peau d’une **formule mathématique**, est un **véritable sésame** en physique.

Il est à la base de la mécanique (l’étude du mouvement), à toutes les échelles (astronomie, nanosciences, et la vie de tous les jours), et par delà, de la physique et de la science modernes.

En biologie, science touchant à “**la vie**”, on n’a pas de **principe universel**, pas de **modèle** mathématique universel englobant tous les aspects du “**vivant**”.

En quelque sorte, **la biologie d’aujourd’hui**, c’est comme la physique prénewtonienne : elle **attend son Newton !!!!**

Sommaire

1 La physique, la biologie, et leur rapport aux mathématiques

2 Jouons à l'apprenti scientifique, avec les amibes !

- Observation d'un phénomène naturel : la chémotaxie
- Expérience en laboratoire
- Le mécanisme sous-jacent
- Intérêt de l'amibe pour la recherche médicale
- Modélisation mathématique
- Résultats théoriques et simulations numériques.

3 Conclusion sur la démarche scientifique

Invitation à une démarche scientifique

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ?

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ? Ne nous décourageons pas !

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ? Ne nous décourageons pas ! Soyons curieux !

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ? Ne nous décourageons pas ! Soyons curieux ! Et tentons d'avoir une **démarche scientifique** !

Êtes-vous prêt ?

En **Apprentis Scientifiques**,

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ? Ne nous décourageons pas ! Soyons curieux ! Et tentons d'avoir une **démarche scientifique** !

Êtes-vous prêt ?

En **Apprentis Scientifiques**, essayons de partir du **phénomène naturel**, pour aller

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ? Ne nous décourageons pas ! Soyons curieux ! Et tentons d'avoir une **démarche scientifique** !

Êtes-vous prêt ?

En **Apprentis Scientifiques**, essayons de partir du **phénomène naturel**, pour aller aux **prévisions**,

Invitation à une démarche scientifique

Il n'y pas de loi universelle en biologie ? Ne nous décourageons pas ! Soyons curieux ! Et tentons d'avoir une **démarche scientifique** !

Êtes-vous prêt ?

En **Apprentis Scientifiques**, essayons de partir du **phénomène naturel**, pour aller aux **prévisions**, en passant par un **modèle mathématique** et une **simulation numérique** (par ordinateur).

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

On parle aussi de **chimiotactisme**, **chimiotaxie** ou encore *chemotaxis* en anglais.

Définitions :

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

On parle aussi de **chimiotactisme**, **chimiotaxie** ou encore *chemotaxis* en anglais.

Définitions :

- **Chémotaxie** : mouvement de bactéries, amibes, cellules, sous l'influence d'une substance chimique, le chimioattracteur.

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

On parle aussi de **chimiotactisme**, **chimiotaxie** ou encore *chemotaxis* en anglais.

Définitions :

- **Chémotaxie** : mouvement de bactéries, amibes, cellules, sous l'influence d'une substance chimique, le chimioattracteur.
- ***Dictyostellium Discoideum*** :

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

On parle aussi de **chimiotactisme**, **chimiotaxie** ou encore *chemotaxis* en anglais.

Définitions :

- **Chémotaxie** : mouvement de bactéries, amibes, cellules, sous l'influence d'une substance chimique, le chimioattracteur.
- **Dictyostellium Discoideum** : c'est une **amibe**,

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

On parle aussi de **chimiotactisme**, **chimiotaxie** ou encore *chemotaxis* en anglais.

Définitions :

- **Chémotaxie** : mouvement de bactéries, amibes, cellules, sous l'influence d'une substance chimique, le chimioattracteur.
- ***Dictyostellium Discoideum*** : c'est une **amibe**, donc un être vivant **unicellulaire**,

Un exemple : la chémotaxie. Cas de l'amibe *Dictyostellium Discoideum*

La chémotaxie.

On parle aussi de **chimiotactisme**, **chimiotaxie** ou encore *chemotaxis* en anglais.

Définitions :

- **Chémotaxie** : mouvement de bactéries, amibes, cellules, sous l'influence d'une substance chimique, le chimioattracteur.
- **Dictyostellium Discoideum** : c'est une **amibe**, donc un être vivant **unicellulaire**, qui vit sur les tapis de feuilles mortes dans les forêts, se nourrissant de bactéries et de levures. Elle se reproduit par division cellulaire (une cellule mère donne deux cellules filles). Elle est utilisée comme organisme **modèle de laboratoire**. Elle est également appelée « **amibe sociale** ».

Vidéo 1 : Observation du phénomène naturel

.

(chargement video 1)

Source : P. Devreotes,
Johns Hopkins
Medical Institutions,
Baltimore,
États-Unis
(dictybase.org).

6 minutes entre
2 séquences.

Titre : Agrégation d'amibes, en milieu naturel.

Analyse de la vidéo 1

Analyse de la vidéo 1

Observation : Les amibes semblent attirées vers un point unique....

Analyse de la vidéo 1

Observation : Les amibes semblent attirées vers un point unique....

Question : Qu'est-ce qui les attire ?

Analyse de la vidéo 1

Observation : Les amibes semblent attirées vers un point unique....

Question : Qu'est-ce qui les attire ?

Hypothèse à tester : Est-ce sous l'effet d'une substance chimique ?

Vidéo 2 : Expérimentation en laboratoire

.

(chargement video 2)

Source : G. Gerisch,
Max Planck Institut
für Biochemie,
Martinsried,
Allemagne.
(dictybase.org).

Temps en minutes
et secondes.

Titre : L'expérimentateur et les amibes, au labo.

Analyse de la vidéo 2

Analyse de la vidéo 2

Observation :

Analyse de la vidéo 2

Observation : Les amibes semblent attirées par la substance chimique au bout de la pipette....

Analyse de la vidéo 2

Observation : Les amibes semblent attirées par la substance chimique au bout de la pipette....

Critique :

Analyse de la vidéo 2

Observation : Les amibes semblent attirées par la substance chimique au bout de la pipette....

Critique : La substance de la pipette n'est peut-être pas "seule" responsable du mouvement ?

Analyse de la vidéo 2

Observation : Les amibes semblent attirées par la substance chimique au bout de la pipette....

Critique : La substance de la pipette n'est peut-être pas "seule" responsable du mouvement ?
Peut-être que les amibes bougent "toutes seules" comme dans la vidéo 1 en milieu naturel ?

Vidéo 3 : Nouvelle expérimentation en laboratoire

.

(chargement video 3)

Source : G. Gerisch,
Max Planck Institut
für Biochemie,
Martinsried,
Allemagne.
(dictybase.org).

Temps en minutes
et secondes.

Titre : Mouvement d'une seule cellule vers la pipette.

Analyse de la vidéo 3

Analyse de la vidéo 3

Observation :

Analyse de la vidéo 3

Observation : La substance dans la pipette exerce un réel pouvoir d'attraction sur l'amibe.

Analyse de la vidéo 3

Observation : La substance dans la pipette exerce un réel pouvoir d'attraction sur l'amibe.

Explication :

Analyse de la vidéo 3

Observation : La substance dans la pipette exerce un réel pouvoir d'attraction sur l'amibe.

Explication : Cette substance s'appelle le **cyclo-Adénosine-Mono-Phosphate** (ou cAMP en abrégé).

Analyse de la vidéo 3

Observation : La substance dans la pipette exerce un réel pouvoir d'attraction sur l'amibe.

Explication : Cette substance s'appelle le **cyclo-Adénosine-Mono-Phosphate** (ou cAMP en abrégé).

Il se trouve qu'elle existe naturellement à l'intérieur de l'amibe.....

Analyse de la vidéo 3

Observation : La substance dans la pipette exerce un réel pouvoir d'attraction sur l'amibe.

Explication : Cette substance s'appelle le **cyclo-Adénosine-Mono-Phosphate** (ou cAMP en abrégé).

Il se trouve qu'elle existe naturellement à l'intérieur de l'amibe.....

Est-ce que cela nous aiderait pour comprendre la vidéo 1 ?

Explication (d'après D. Horstmann)

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).
- 5 Agrégation et début de différenciation.

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).
- 5 Agrégation et début de différenciation.
- 6 Formation d'un pseudoplasmoïd (multicellulaire).

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).
- 5 Agrégation et début de différenciation.
- 6 Formation d'un pseudoplasmoïd (multicellulaire).
- 7 Le pseudoplasmoïd bouge en direction des sources de lumière.

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).
- 5 Agrégation et début de différenciation.
- 6 Formation d'un pseudoplasmoïd (multicellulaire).
- 7 Le pseudoplasmoïd bouge en direction des sources de lumière.
- 8 Formation d'un corps fructifiant et émission de spores.

Explication (d'après D. Horstmann)

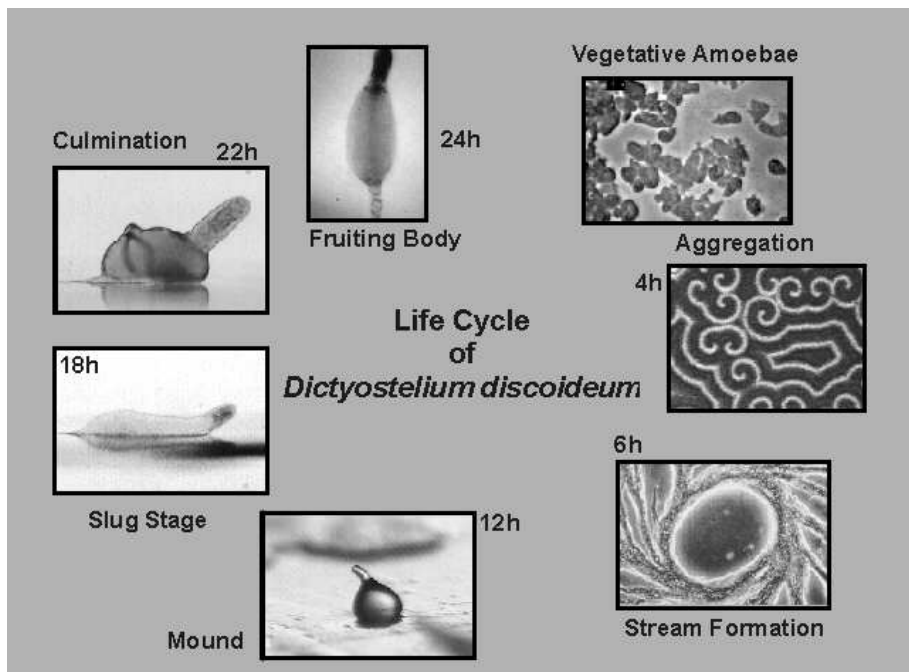
- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).
- 5 Agrégation et début de différenciation.
- 6 Formation d'un pseudoplasmoïd (multicellulaire).
- 7 Le pseudoplasmoïd bouge en direction des sources de lumière.
- 8 Formation d'un corps fructifiant et émission de spores. Les amibes du bas restent dans le milieu hostile, et....

Explication (d'après D. Horstmann)

- 1 Dictyostelium Discoideum est un organisme unicellulaire qui se reproduit par division cellulaire tant que les ressources du milieu en nourriture sont suffisantes.
- 2 Lorsque les ressources sont épuisées, les amibes occupent tout l'espace disponible.
- 3 Une amibe sécrète cAMP qui attire les autres.
- 4 Les amibes bougent en direction de l'amibe fondatrice, et sécrètent le cAMP (vidéo 1).
- 5 Agrégation et début de différenciation.
- 6 Formation d'un pseudoplasmoïd (multicellulaire).
- 7 Le pseudoplasmoïd bouge en direction des sources de lumière.
- 8 Formation d'un corps fructifiant et émission de spores. Les amibes du bas restent dans le milieu hostile, et.... meurent !

Et le cycle recommence (naissance d'amibes....)

Et le cycle recommence (naissance d'amibes....)



Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent :

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent : c'est une sorte de **suicide pour la survie de l'espèce**.

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent : c'est une sorte de **suicide pour la survie de l'espèce**.
- Pour sa survie, le Dictyostelium passe le stade **multi-cellulaire**.

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent : c'est une sorte de **suicide pour la survie de l'espèce**.
- Pour sa survie, le Dictyostelium passe le stade **multi-cellulaire**. Il mérite donc bien son qualificatif "**d'amibe sociale**" (voir plus haut).

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent : c'est une sorte de **suicide pour la survie de l'espèce**.
- Pour sa survie, le Dictyostelium passe le stade **multi-cellulaire**. Il mérite donc bien son qualificatif "**d'amibe sociale**" (voir plus haut). Ceci dit, en temps normal, c'est un être **unicellulaire**.

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent : c'est une sorte de **suicide pour la survie de l'espèce**.
- Pour sa survie, le Dictyostelium passe le stade **multi-cellulaire**. Il mérite donc bien son qualificatif "**d'amibe sociale**" (voir plus haut). Ceci dit, en temps normal, c'est un être **unicellulaire**.

Finalement, l'espèce **Dictyostelium Discoideum**,

Dictyostelium Discoideum : un cas unique dans la nature

Commentaires :

- La majorité des amibes restent dans le milieu hostile et meurent : c'est une sorte de **suicide pour la survie de l'espèce**.
- Pour sa survie, le Dictyostelium passe le stade **multi-cellulaire**. Il mérite donc bien son qualificatif "**d'amibe sociale**" (voir plus haut). Ceci dit, en temps normal, c'est un être **unicellulaire**.

Finalement, l'espèce **Dictyostelium Discoideum**, c'est multi ou uni-cellulaire ?

On est en droit de se le demander....

Encore une vidéo, à une autre échelle (source dictybase.org)

.

Source : R. Firtel,
University of
California,
San Diego (UCSD),
États-Unis.

(chargement video 4)

Grâce au cAMP, les amibes créent un flot qui permet la formation du corps multicellulaire.

Intérêt du *D. Discoideum* pour la recherche médicale

Intérêt du *D. Discoideum* pour la recherche médicale

C'est un “**modèle de laboratoire**” simple et facile à trouver, pour l'étude du chimiotactisme, phénomène naturel qui intervient chez des organismes supérieurs aussi (différenciation, cancer, etc...)

Exemple : Angiogenèse autour d'une tumeur cancéreuse

.

(chargement video 4)

Titre : Le mécanisme de l'angiogenèse.

Mécanisme de l'angiogénèse autour d'une tumeur cancéreuse

Mécanisme de l'angiogénèse autour d'une tumeur cancéreuse

- 1 Au début, la tumeur puise ses ressources dans le milieu ambiant.

Mécanisme de l'angiogénèse autour d'une tumeur cancéreuse

- 1 Au début, la tumeur puise ses ressources dans le milieu ambiant.
- 2 À un certain point, elle envoie un signal chimique dans le milieu extérieur pour attirer les cellules endothéliales (cellules qui tapissent l'intérieur des vaisseaux sanguins), et ainsi former des vaisseaux sanguins capillaires qui la fournissent en nutriments.

Mécanisme de l'angiogénèse autour d'une tumeur cancéreuse

- 1 Au début, la tumeur puise ses ressources dans le milieu ambiant.
- 2 À un certain point, elle envoie un signal chimique dans le milieu extérieur pour attirer les cellules endothéliales (cellules qui tapissent l'intérieur des vaisseaux sanguins), et ainsi former des vaisseaux sanguins capillaires qui la fournissent en nutriments.

Collaboration avec Lucilla Corrias (Évry) et Benoît Perthame (Paris 6).

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

-

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace :

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x ,

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

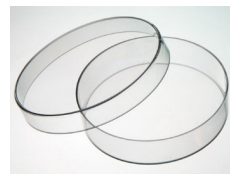
- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .

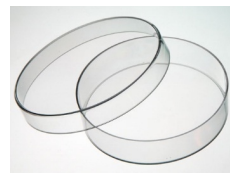
Dans une boîte de Petri,
peut-on simplifier le repérage ?



Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

On se retrouve donc avec deux coordonnées :

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

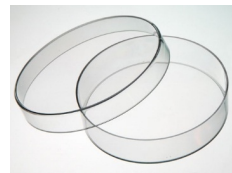
Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

On se retrouve donc avec deux coordonnées : l'abscisse x et

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

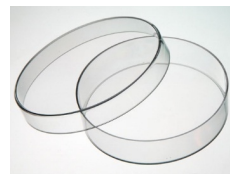
Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

On se retrouve donc avec deux coordonnées : l'abscisse x et l'ordonnée y .

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

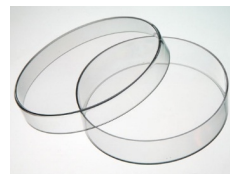
On se retrouve donc avec deux coordonnées : l'abscisse x et l'ordonnée y .

Bilan :

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .
- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

On se retrouve donc avec deux coordonnées : l'abscisse x et l'ordonnée y .

Bilan :

Dans le cas général : on aura

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .

- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

On se retrouve donc avec deux coordonnées : l'abscisse x et l'ordonnée y .

Bilan :

Dans le cas général : on aura 1+3 coordonnées : t , x , y et z ;

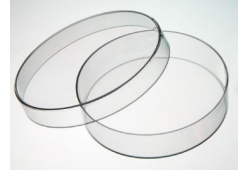
Dans la boîte de Petri : on aura

Modélisation (simplifiée) de la chimiotaxie

D'abord, les variables pour se repérer.

- le temps t .

- les variables d'espace : l'abscisse x , l'ordonnée y et la hauteur z .



Dans une boîte de Petri,

peut-on simplifier le repérage ?

Oui, car la hauteur est très petite, donc, on peut supposer z constante, et ne pas en tenir compte.

On se retrouve donc avec deux coordonnées : l'abscisse x et l'ordonnée y .

Bilan :

Dans le cas général : on aura 1+3 coordonnées : t , x , y et z ;

Dans la boîte de Petri : on aura 1+2 = 3 coordonnées : t , x et y .

Modélisation de la chémotaxie (suite)

Modélisation de la chémotaxie (suite)

Maintenant, **les quantités** à mesurer :

Modélisation de la chémotaxie (suite)

Maintenant, **les quantités** à mesurer :
ce sont les protagonistes de l'histoire en quelque sorte....

Modélisation de la chémotaxie (suite)

Maintenant, **les quantités** à mesurer :

ce sont les protagonistes de l'histoire en quelque sorte....

- les amibes, de densité $n(x, t)$.

Modélisation de la chémotaxie (suite)

Maintenant, **les quantités** à mesurer :

ce sont les protagonistes de l'histoire en quelque sorte....

- les amibes, de densité $n(x, t)$.
- le cAMP, de concentration $c(x, t)$.

n et c vérifient un système d'équations couplées

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \Delta n - \operatorname{div}(-n\nabla c), \\ 0 &= \Delta c + n\end{aligned}$$

n et c vérifient un système d'équations couplées

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \Delta n - \operatorname{div}(-n\nabla c), \\ 0 &= \Delta c + n\end{aligned}$$

Ce système d'équations a une propriété remarquable :

n et c vérifient un système d'équations couplées

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \Delta n - \operatorname{div}(-n\nabla c), \\ 0 &= \Delta c + n\end{aligned}$$

Ce système d'équations a une propriété remarquable : **Conservation du nombre total des amibes** :

n et c vérifient un système d'équations couplées

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \Delta n - \operatorname{div}(-n\nabla c), \\ 0 &= \Delta c + n\end{aligned}$$

Ce système d'équations a une propriété remarquable : **Conservation du nombre total des amibes** : Si $M(t)$ est le nombre d'amibes à l'instant t , alors,

n et c vérifient un système d'équations couplées

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \Delta n - \operatorname{div}(-n\nabla c), \\ 0 &= \Delta c + n\end{aligned}$$

Ce système d'équations a une propriété remarquable : **Conservation du nombre total des amibes** : Si $M(t)$ est le nombre d'amibes à l'instant t , alors, pour tout $t \geq 0$,

$$M(t) = M(0).$$

n et c vérifient un système d'équations couplées

$$\begin{aligned}\frac{\partial n}{\partial t} &= \Delta n - \operatorname{div}(-n\nabla c), \\ 0 &= \Delta c + n\end{aligned}$$

Ce système d'équations a une propriété remarquable : **Conservation du nombre total des amibes** : Si $M(t)$ est le nombre d'amibes à l'instant t , alors, pour tout $t \geq 0$,

$$M(t) = M(0).$$

Pour simplifier, on note $M > 0$ cette valeur commune.

Si $M < 8\pi$ (cas sous-critique)

Si $M < 8\pi$ (cas sous-critique)

Theorem

(Blanchet-Dolbeault-Perthame) Si $M < 8\pi$, alors, il n'y a pas de concentration des amibes en un temps fini.

Si $M < 8\pi$ (cas sous-critique)

Theorem

(Blanchet-Dolbeault-Perthame) Si $M < 8\pi$, alors, il n'y a pas de concentration des amibes en un temps fini.

Autrement, le phénomène que nous étudions ne se produit pas, si le nombre d'amibes est plus faible que 8π !!!!!

Simulation numérique par ordinateur pour $M < 8\pi$

.

(chargement simulation sous critique)

Source : V. Calvez,
CNRS,
École Normale
Supérieure
de Lyon.

Titre : Pas de concentration en temps fini pour $M < 8\pi$.

Si $M > 8\pi$ (cas sur-critique)

Si $M > 8\pi$ (cas sur-critique)

Theorem

Si $M > 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps fini.

Si $M > 8\pi$ (cas sur-critique)

Theorem

Si $M > 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps fini.

Autrement dit, c'est le cas que l'on a observé dans la vidéo 1.

Simulation numérique par ordinateur pour $M > 8\pi$

.

(chargement simulation sur critique)

Source : V. Calvez,
CNRS,
École Normale
Supérieure
de Lyon.

Titre : Concentration en temps fini pour $M > 8\pi$.

Autre comportement, toujours pour $M > 8\pi$

.

(chargement simulation sur critique 3 pics)

Source : V. Calvez,
CNRS,
École Normale
Supérieure
de Lyon.

Titre : Fusion de 3 pics, puis concentration en temps fini pour $M > 8\pi$.

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir.

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ?

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Néanmoins, le cas critique conserve tout son intérêt en math, **mieux** : on a un nouveau phénomène qui apparaît :

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Néanmoins, le cas critique conserve tout son intérêt en math, **mieux** : on a un nouveau phénomène qui apparaît :

Theorem (Blanchet, Carillo et Masmoudi)

Si $M = 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps *infini*.

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Néanmoins, le cas critique conserve tout son intérêt en math, **mieux** : on a un nouveau phénomène qui apparaît :

Theorem (Blanchet, Carillo et Masmoudi)

Si $M = 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps *infini*.

Remarques:

- Ce cas est un peu intermédiaire entre les 2 précédents :

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Néanmoins, le cas critique conserve tout son intérêt en math, **mieux** : on a un nouveau phénomène qui apparaît :

Theorem (Blanchet, Carillo et Masmoudi)

Si $M = 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps *infini*.

Remarques:

- Ce cas est un peu intermédiaire entre les 2 précédents : il hérite du cas sur-critique la concentration,

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Néanmoins, le cas critique conserve tout son intérêt en math, **mieux** : on a un nouveau phénomène qui apparaît :

Theorem (Blanchet, Carillo et Masmoudi)

Si $M = 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps *infini*.

Remarques:

- Ce cas est un peu intermédiaire entre les 2 précédents : il hérite du cas sur-critique la concentration, et il hérite du cas sous-critique l'existence pour tout temps.

Et le cas critique $M = 8\pi$?

Physiquement, il est dur à obtenir. Pourquoi ? Réponse : car dès qu'on s'en écarte de $\pm\epsilon$ (à cause de diverses incertitudes), on a :

- soit $M = 8\pi - \epsilon$, donc cas sous-critique ;
- soit $M = 8\pi + \epsilon$, donc cas surcritique.

Néanmoins, le cas critique conserve tout son intérêt en math, **mieux** : on a un nouveau phénomène qui apparaît :

Theorem (Blanchet, Carillo et Masmoudi)

Si $M = 8\pi$, alors, il y a concentration des amibes en un temps *infini*.

Remarques:

- Ce cas est un peu intermédiaire entre les 2 précédents : il hérite du cas sur-critique la concentration, et il hérite du cas sous-critique l'existence pour tout temps.
- À cause des instabilités dans la nature et dans les calculs par ordinateur, ce cas est **très** difficile à mettre en évidence, dans la nature, et dans les simulations.

Récapitulatif pour la chémotaxie

Récapitulatif pour la chémotaxie

- Cas sous-critique: Si $M < 8\pi$, alors il n'y a pas de concentration en temps fini.

Récapitulatif pour la chémotaxie

- Cas sous-critique: Si $M < 8\pi$, alors il n'y a pas de concentration en temps fini.
- Cas sur-critique: Si $M > 8\pi$, alors il y a concentration en temps fini.

Récapitulatif pour la chémotaxie

- Cas sous-critique: Si $M < 8\pi$, alors il n'y a pas de concentration en temps fini.
- Cas sur-critique: Si $M > 8\pi$, alors il y a concentration en temps fini.
- Cas critique: Si $M = 8\pi$, alors il y a concentration en temps infini.

Sommaire

- 1 La physique, la biologie, et leur rapport aux mathématiques
- 2 Jouons à l'apprenti scientifique, avec les amibes !
- 3 Conclusion sur la démarche scientifique

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines :

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie,

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique,

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et informatique.

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et informatique.

Ainsi, on a d'abord fait :

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et informatique.

Ainsi, on a d'abord fait :

- **le biologiste**, en observant les amibes, dans la nature et en laboratoire ;

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et informatique.

Ainsi, on a d'abord fait :

- **le biologiste**, en observant les amibes, dans la nature et en laboratoire ;
- **le physicien**, pour comprendre les mécanismes sous-jacents (merci Newton !!) ;

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et informatique.

Ainsi, on a d'abord fait :

- **le biologiste**, en observant les amibes, dans la nature et en laboratoire ;
- **le physicien**, pour comprendre les mécanismes sous-jacents (merci Newton !!) ;
- **le mathématicien**, pour écrire puis étudier les équations ;

Conclusion : qu'ont fait les Apprentis Scientifiques que vous êtes ?

On a tenté d'avoir une démarche scientifique **pluridisciplinaire**, en travaillant à la frontière entre plusieurs disciplines : biologie, physique, math et informatique.

Ainsi, on a d'abord fait :

- **le biologiste**, en observant les amibes, dans la nature et en laboratoire ;
- **le physicien**, pour comprendre les mécanismes sous-jacents (merci Newton !!) ;
- **le mathématicien**, pour écrire puis étudier les équations ;
- **l'informaticien**, pour simuler les équations par ordinateur.

Ultime conclusion

Ultime conclusion

Vous avez été curieux devant un phénomène scientifique :

Ultime conclusion

Vous avez été curieux devant un phénomène scientifique : je vous souhaite de le rester !!!

Ultime conclusion

Vous avez été curieux devant un phénomène scientifique : je vous souhaite de le rester !!!

Et merci pour votre attention.