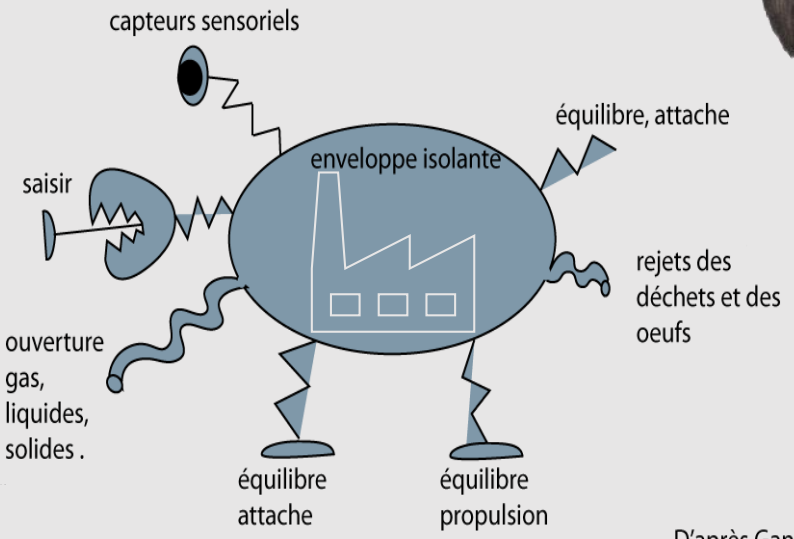
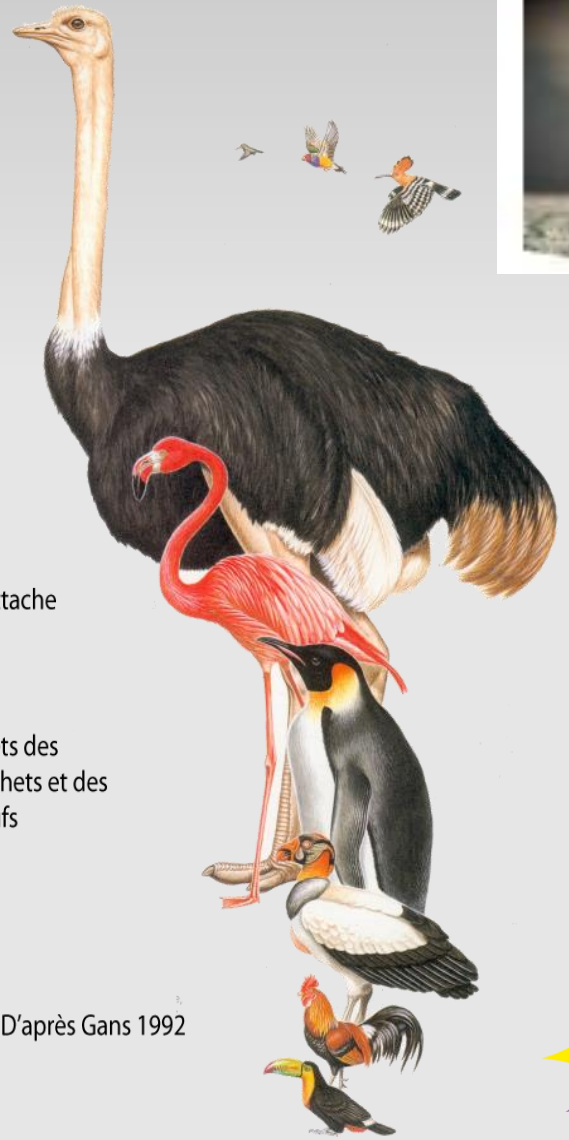
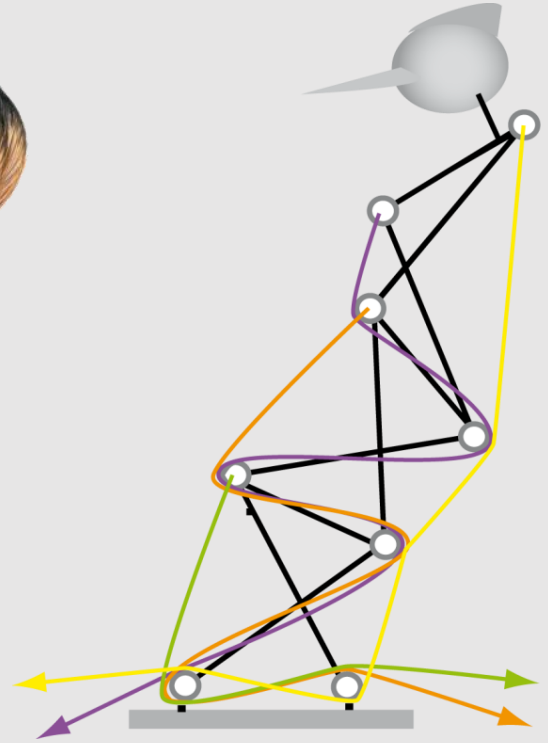
La machine animale : des oiseaux aux robots

Anick Abourachid
Professeure de morphologie fonctionnelle
Muséum National d'Histoire Naturelle



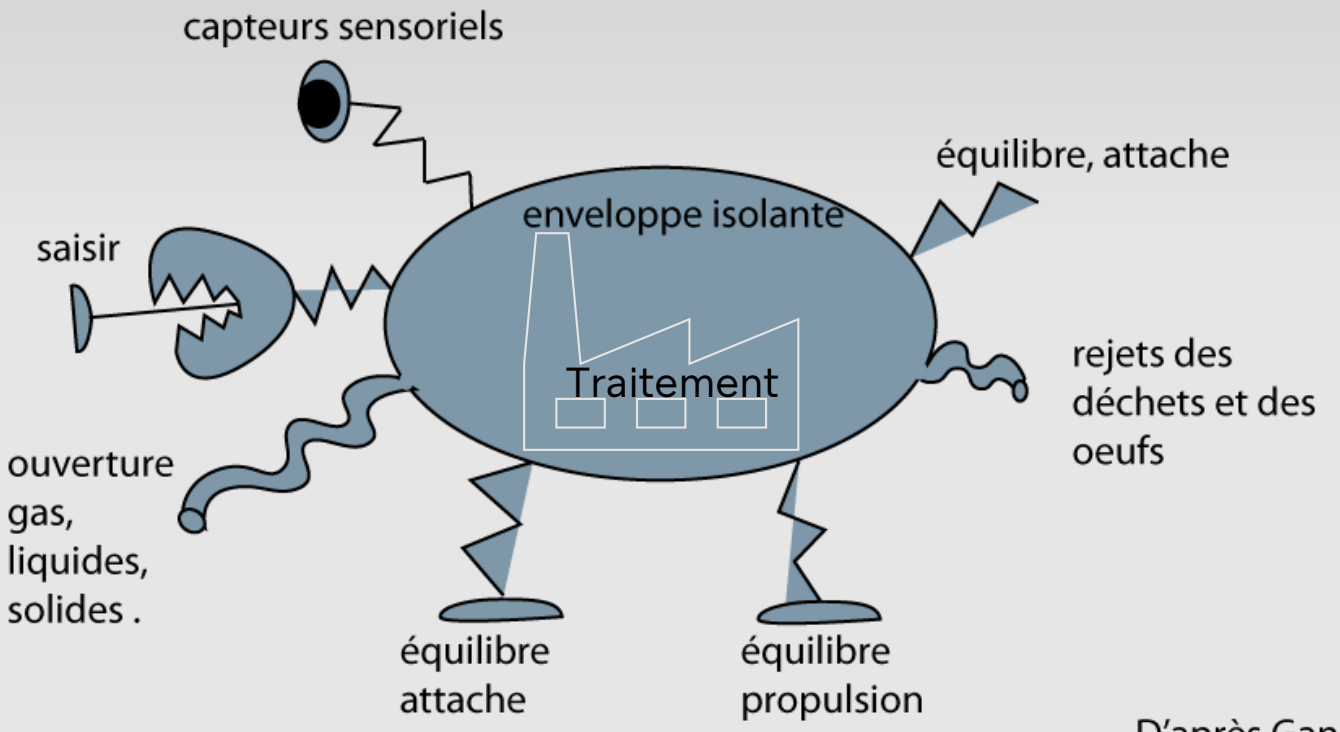


D'après Gans 1992



Unité mixte de recherche 7179
MECADEV
mécanismes adaptatifs & évolution

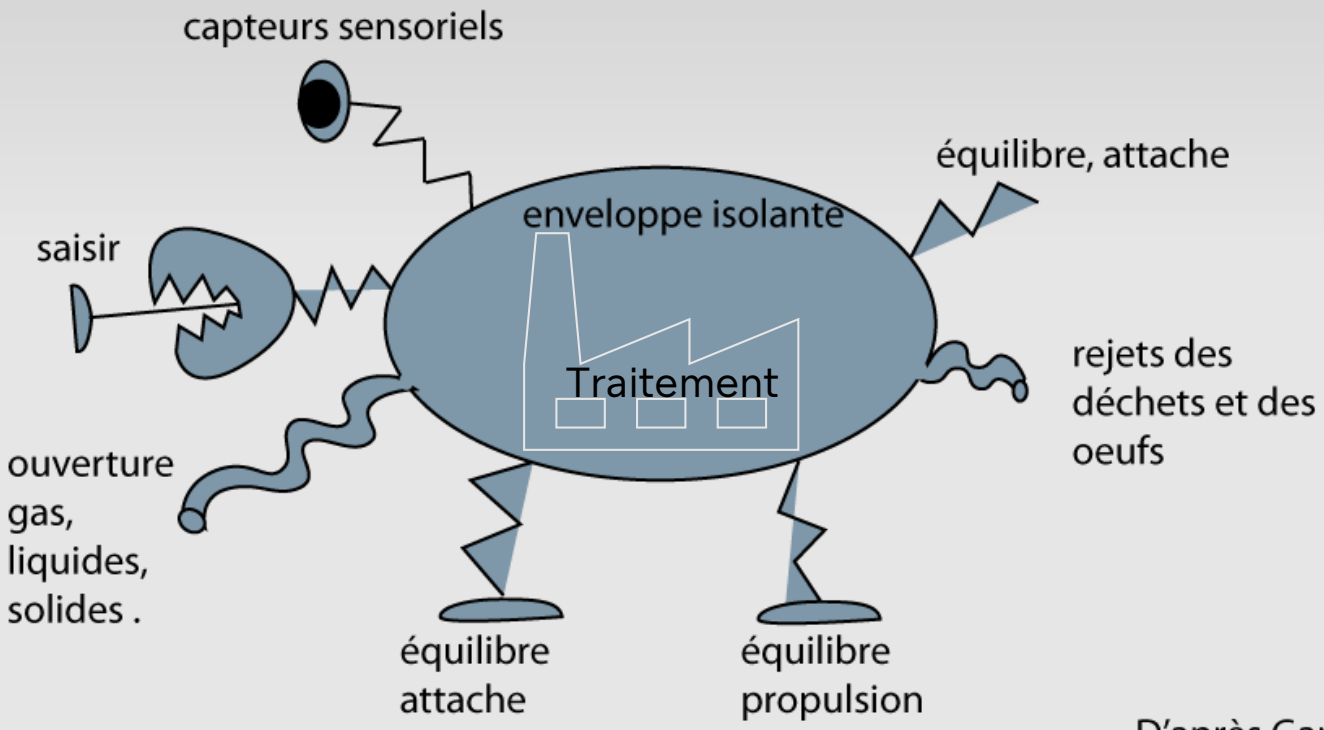
La machine animale



D'après Gans 1992

La machine animale

Interactions avec le milieu physique



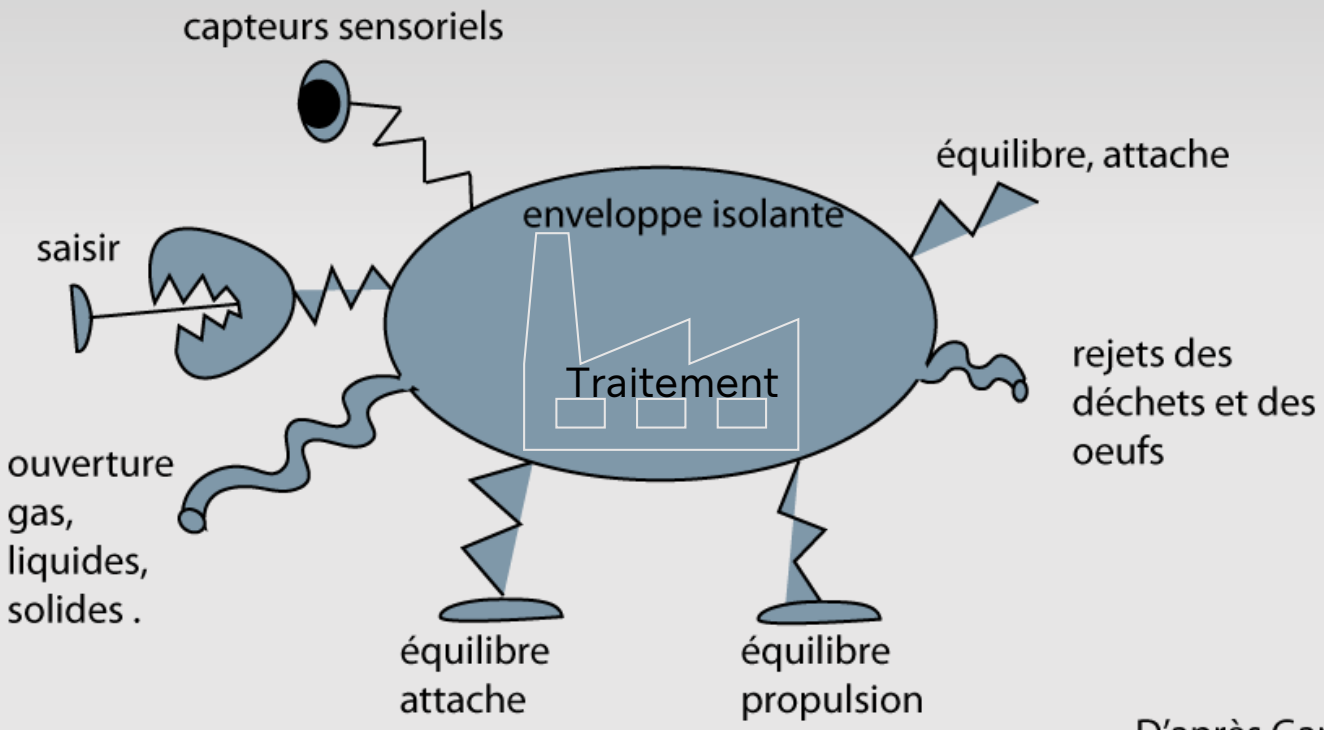
D'après Gans 1992

Echanges de

Forces
Calories
Gaz
Fluides
Solides

La machine animale

Interactions avec le vivant



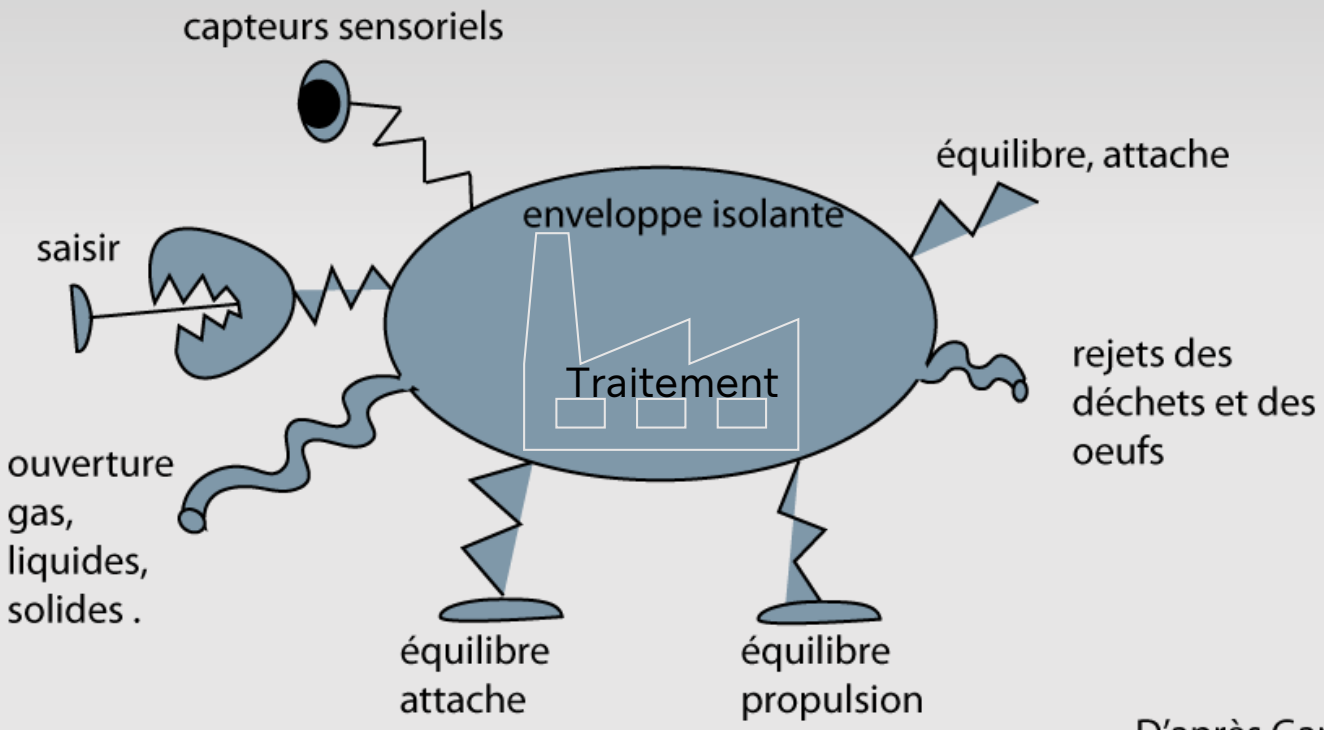
D'après Gans 1992

Reproduction
sociabilisation,
Alimentation
Protection
etc

Importance du mode de vie

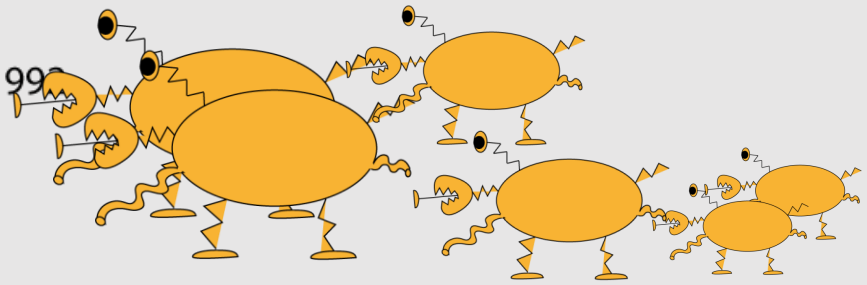
La machine animale
Adaptation des outils

Principe fondamental : Mouvement



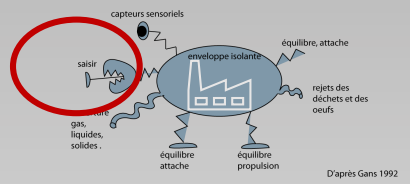
Les organismes tant qu'ils sont vivants, bougent.

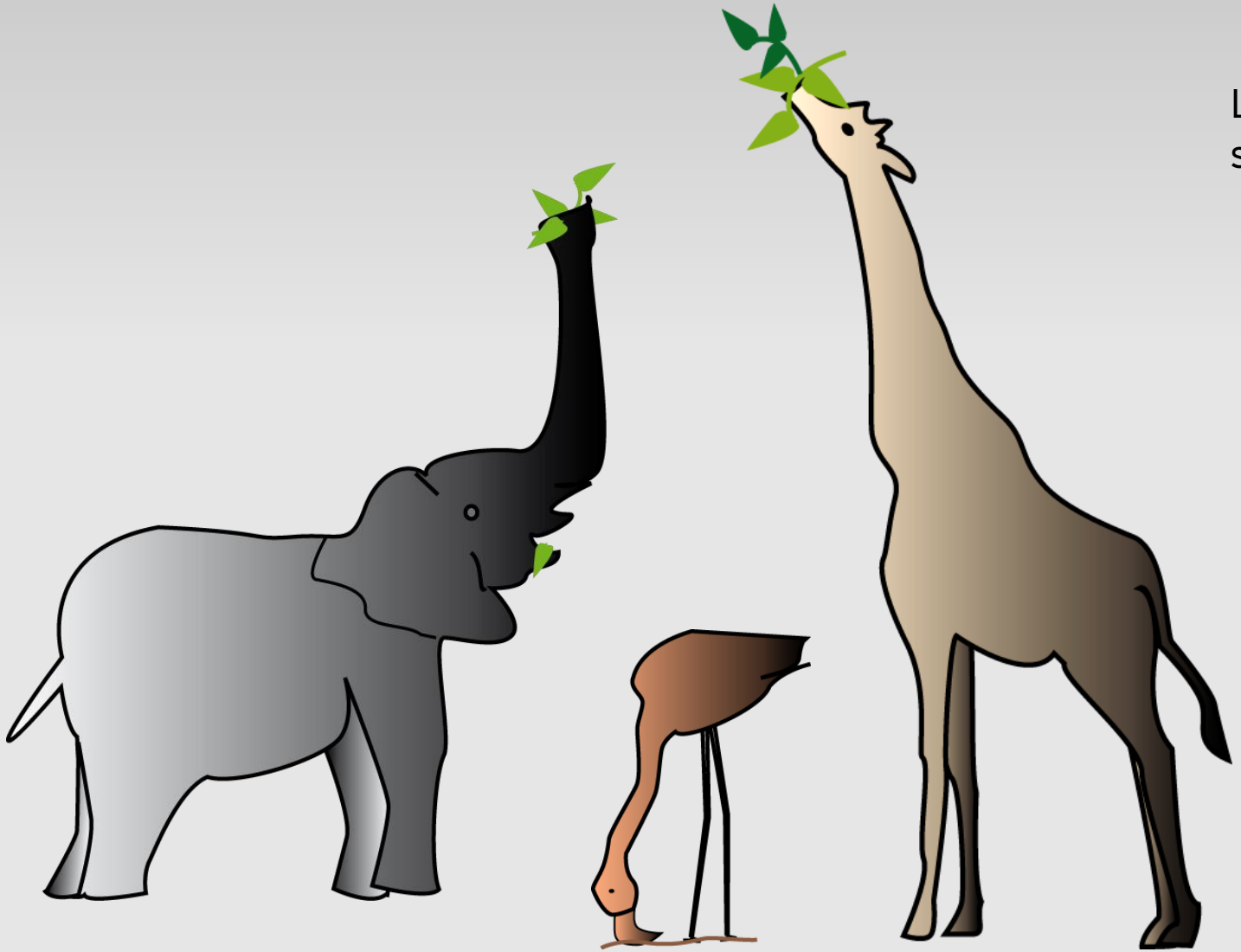
D'après Gans 1992



La machine animale

Adaptation des outils : influence de l’histoire





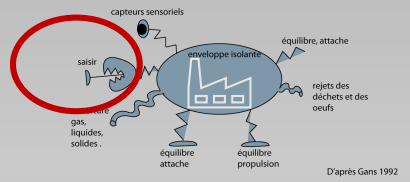
Les adaptations sont de modifications des structures en réponse à une contrainte.

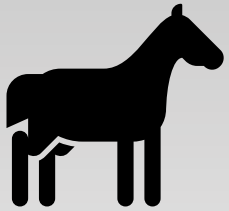
Contrainte : Nourriture loin du tronc

Solution: outils de saisis au bout d’un appendice

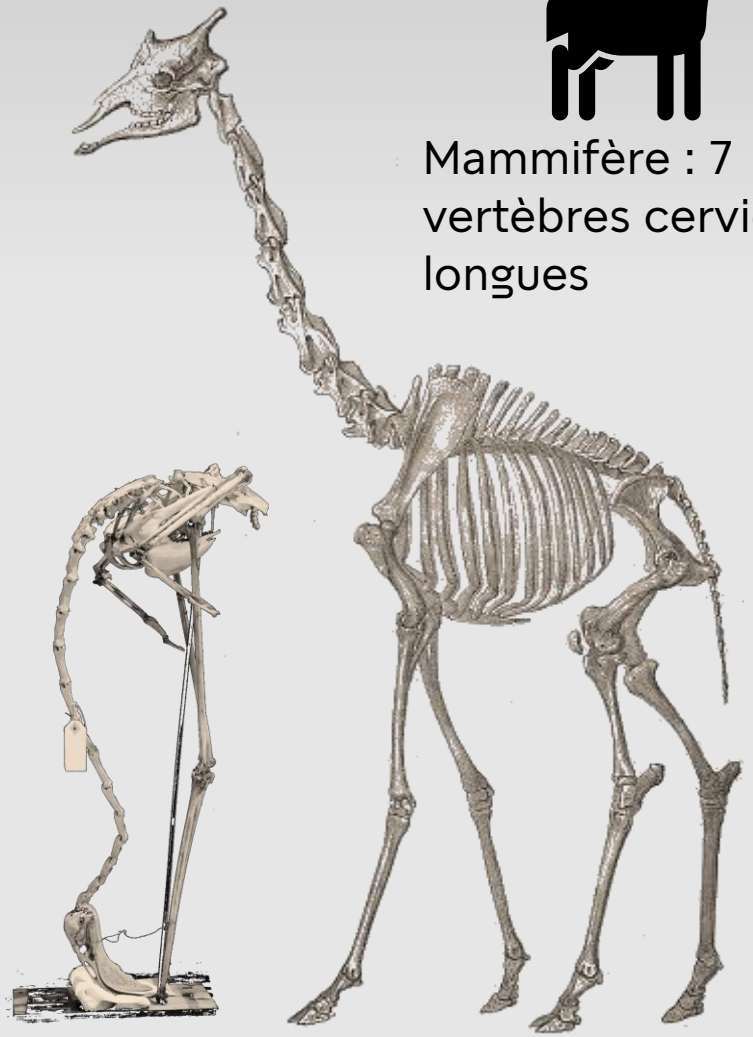
Les solutions dépendant de l’histoire des lignées

La machine animale
Adaptation des outils : influence de l'histoire



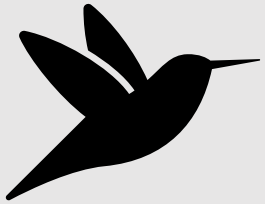


Mammifère : 7 vertèbres cervicales longues



Contrainte : Nourriture loin du tronc

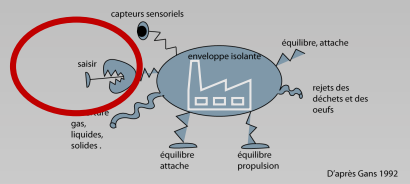
Solution : outils de saisis au bout d'un appendice

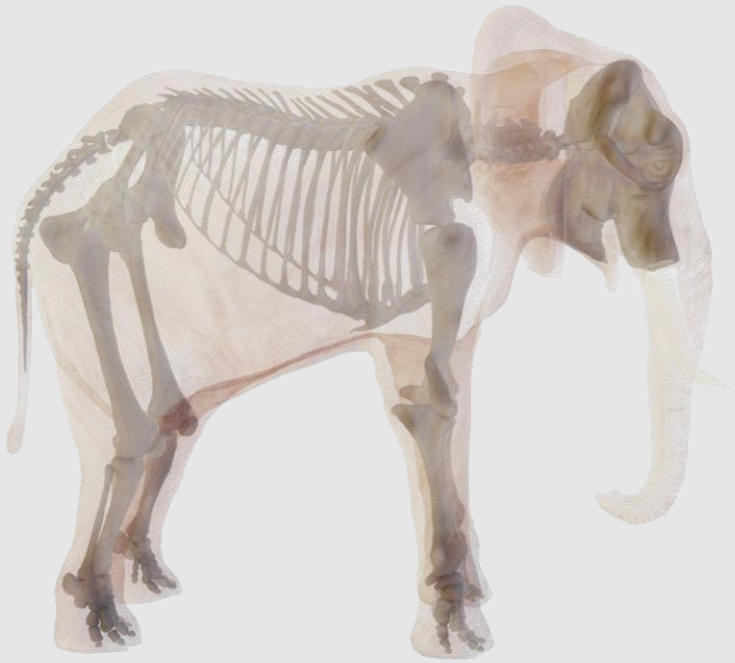


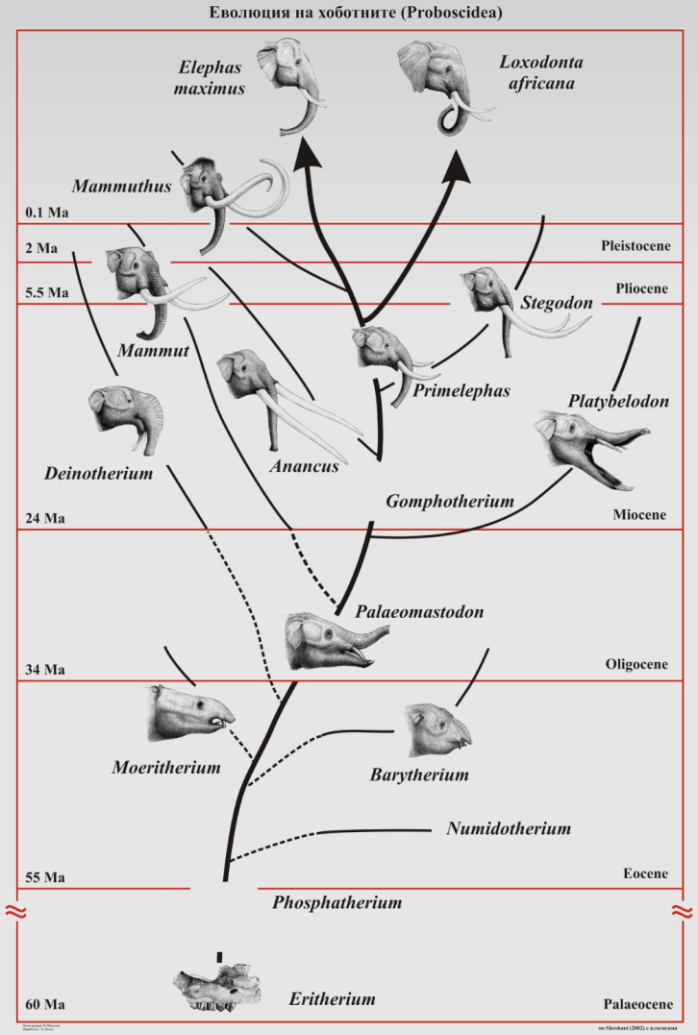
Oiseaux : multiplication des vertèbres et /ou vertèbres longues

Allongement du cou

La machine animale
Adaptation des outils : influence de l'histoire







Contrainte : Nourriture loin du tronc

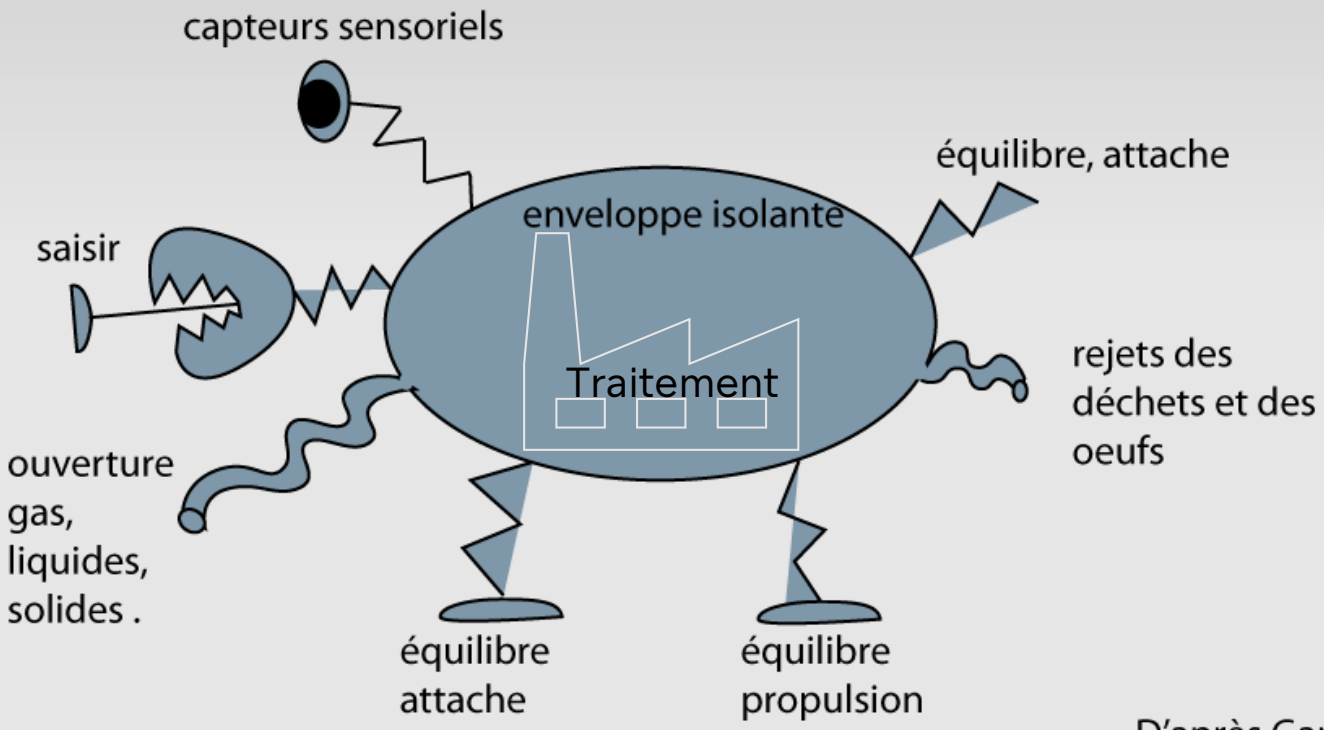
Solution : outils de saisis au bout d'un appendice

Tête lourde

Allongement d'une trompe

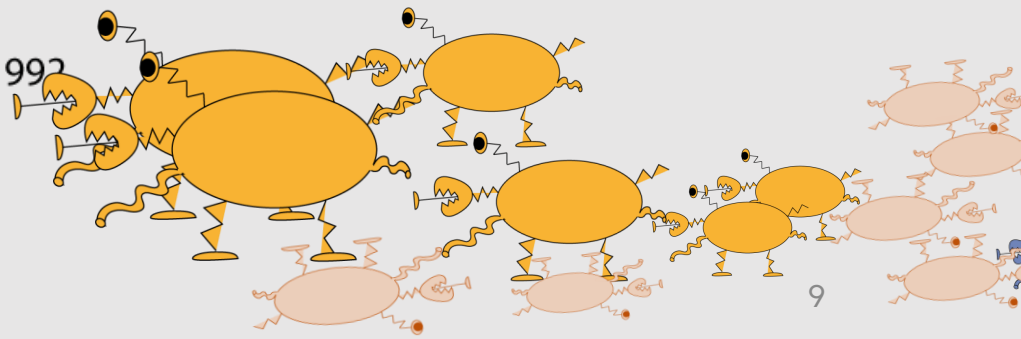
La machine animale
Adaptation des outils

Principe fondamental : Économie de moyens

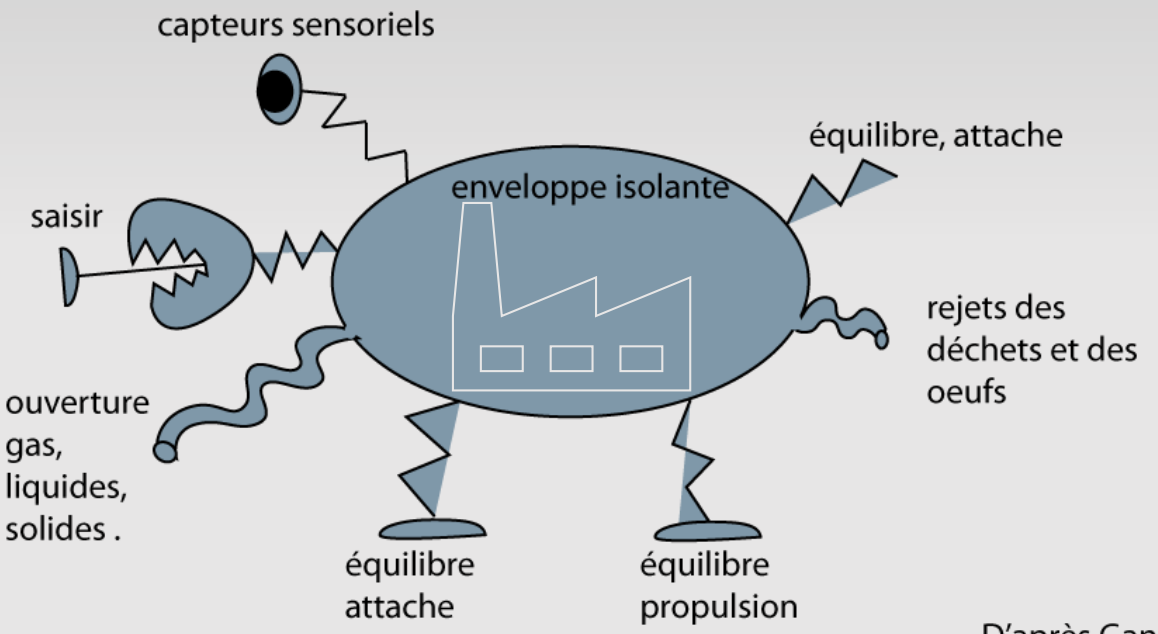


Le fonctionnement de la machine doit être économique pour allouer suffisamment de moyens à la reproduction, sous peine de disparition de l'espèce.

D'après Gans 1992



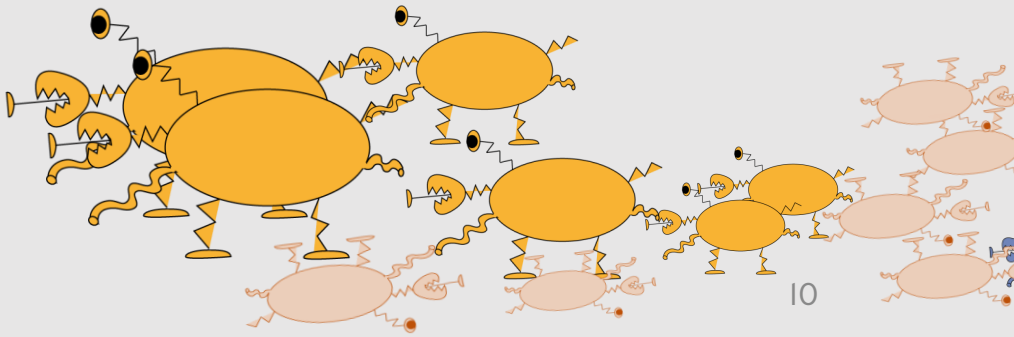
La machine animale
Biomimétisme



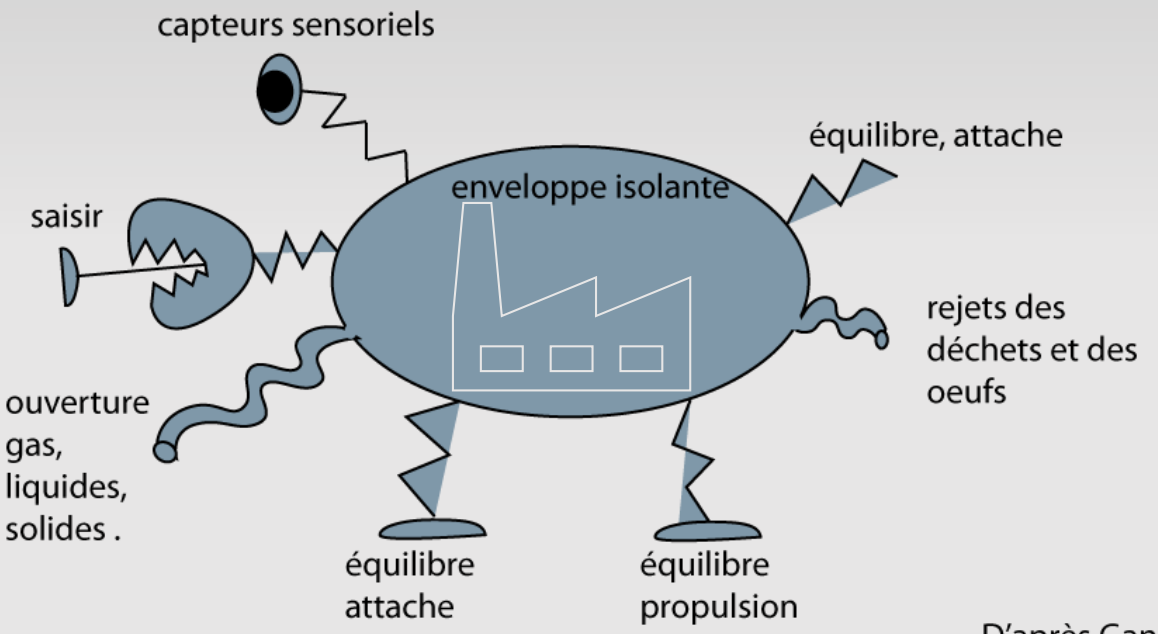
D'après Gans 1992

Développement durable

Profiter de plus de 500 000 000 d'années d'évolution tendant vers une économie de moyens par des innovations et des adaptations.



La machine animale
Biomimétisme

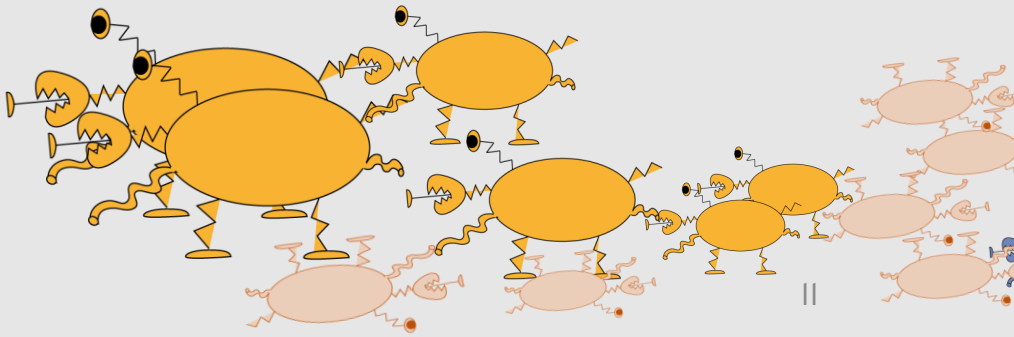


D'après Gans 1992

Deux étapes

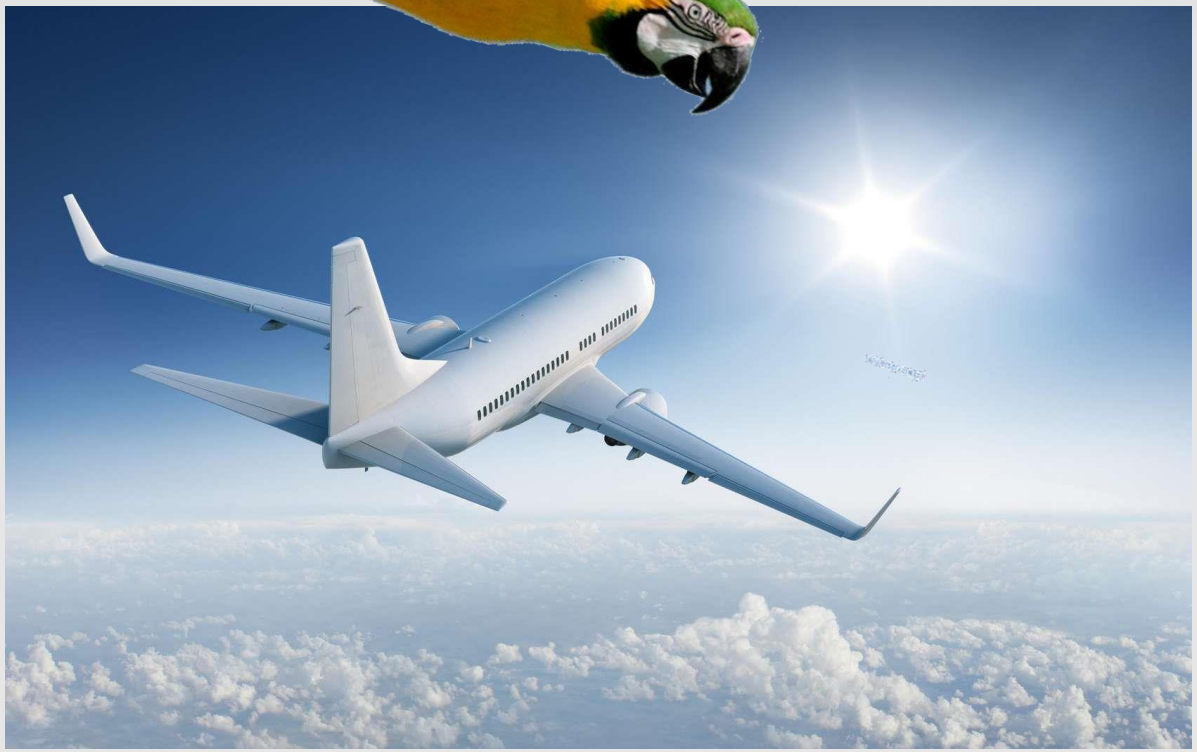
Observer la nature et saisir les principes de son fonctionnement.

Créer des systèmes artificiels utilisant ces principes

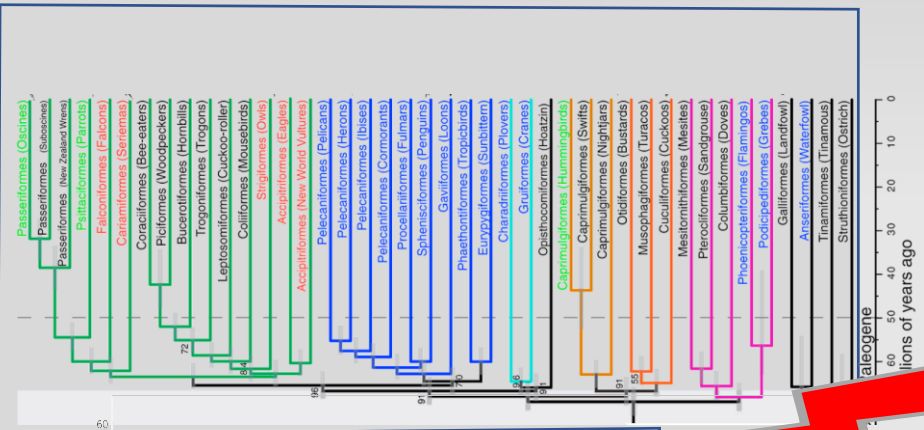


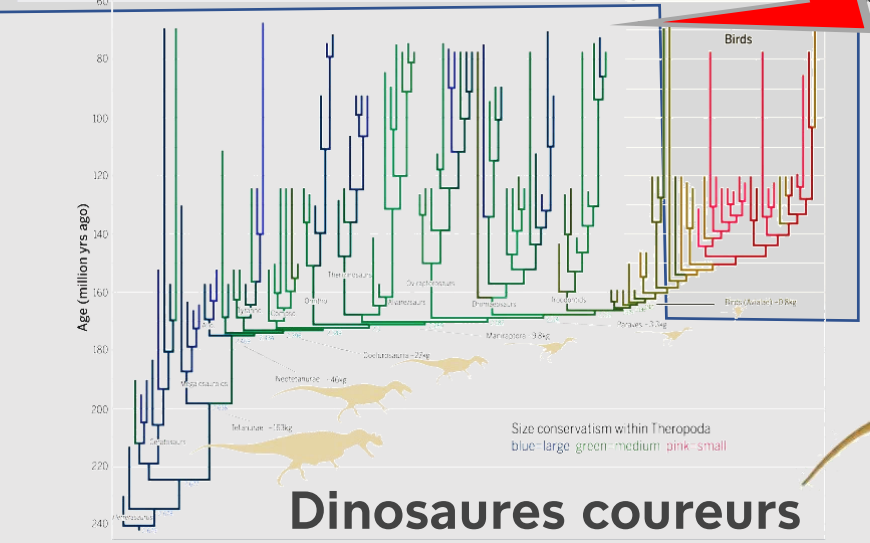
La machine animale
Biomimétisme

Les oiseaux



Les oiseaux
Histoire évolutive





Dinosaures coureurs

10 000 espèces actuelles

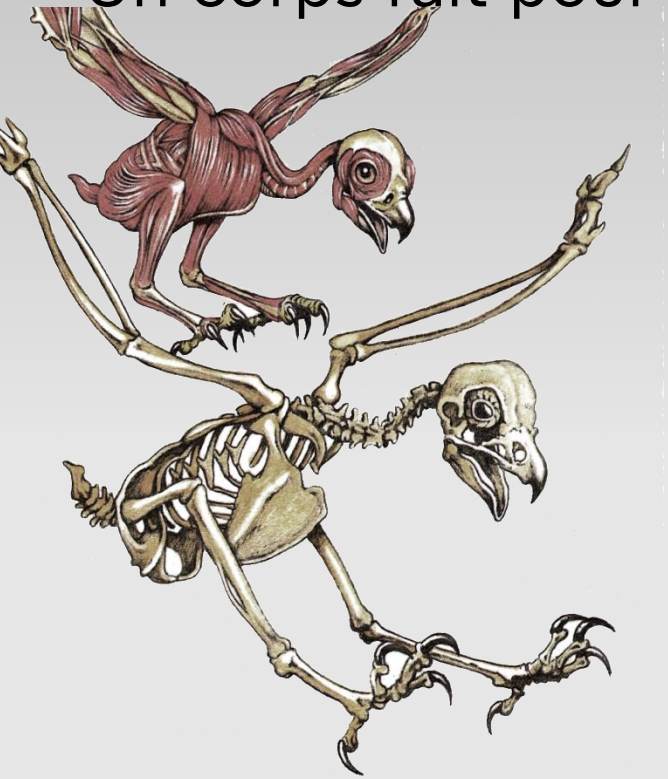
Nouvelle radiation

Quelques espèces volantes survivent

Extinction de masse

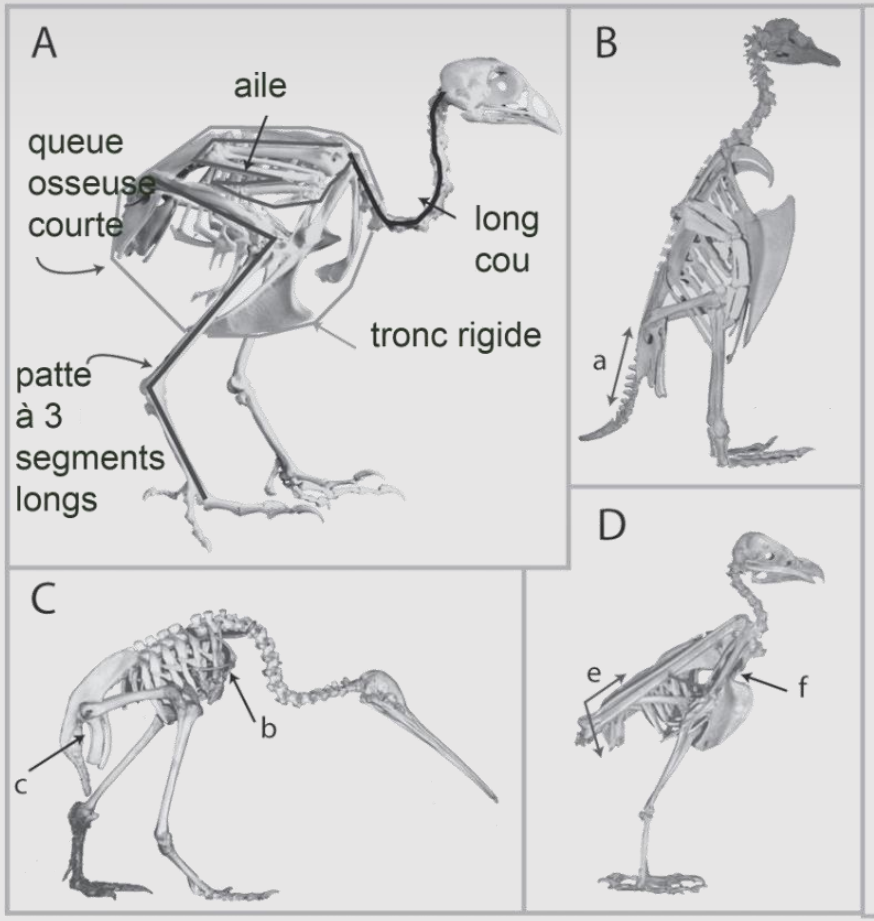
Spécialisation pour le vol

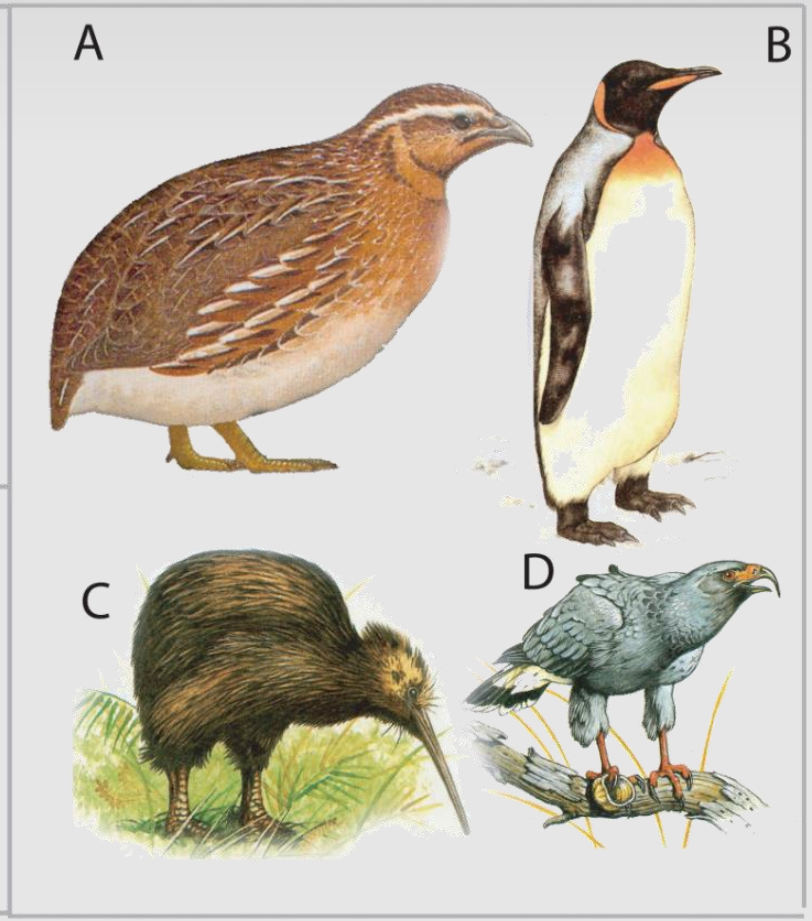
Les oiseaux
Un corps fait pour voler



Muscles du vol puissants

Cuisses musclées





Les oiseaux
Un corps fait pour voler

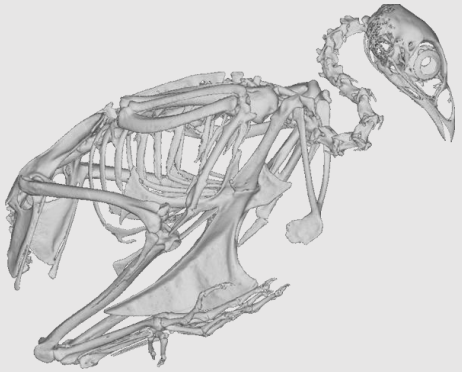
qui permet de se déplacer
dans l'air
dans l'eau
sur le sol
dans les arbres

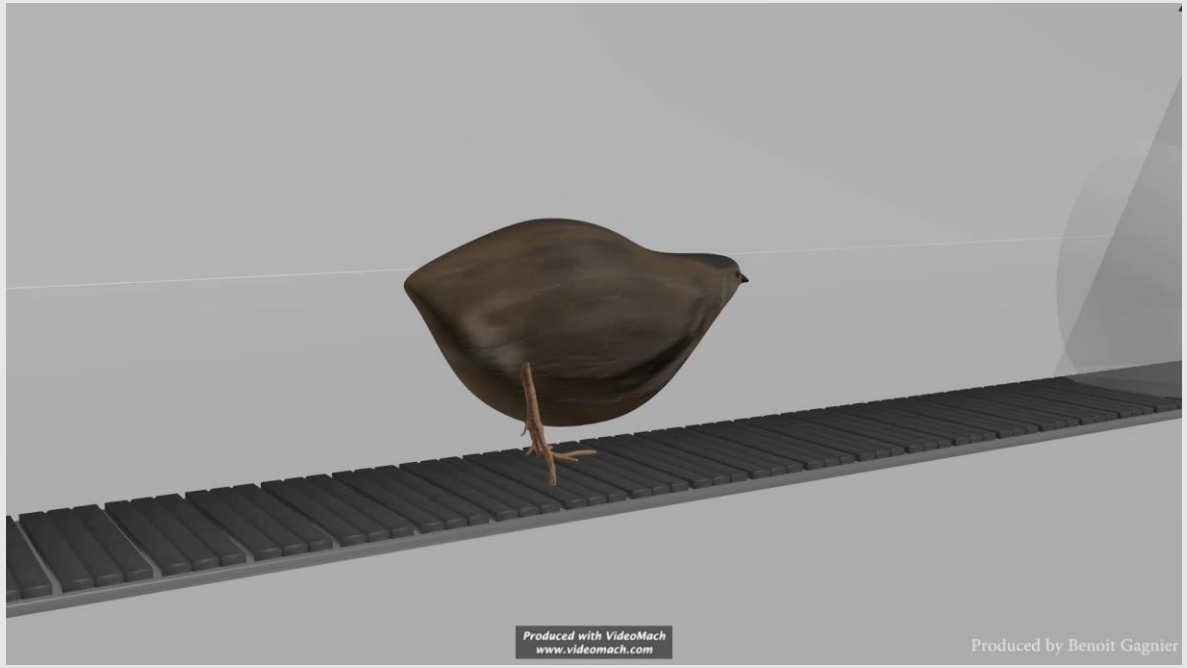
Des milieux aux propriétés mécaniques très différentes

Les oiseaux
Un corps masqué par les plumes

Etude biomécanique de la locomotion des oiseaux : les rayons X

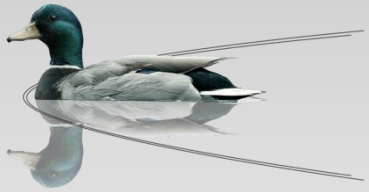
A. Abourachid et collaborateurs, Projet bipédie des oiseaux

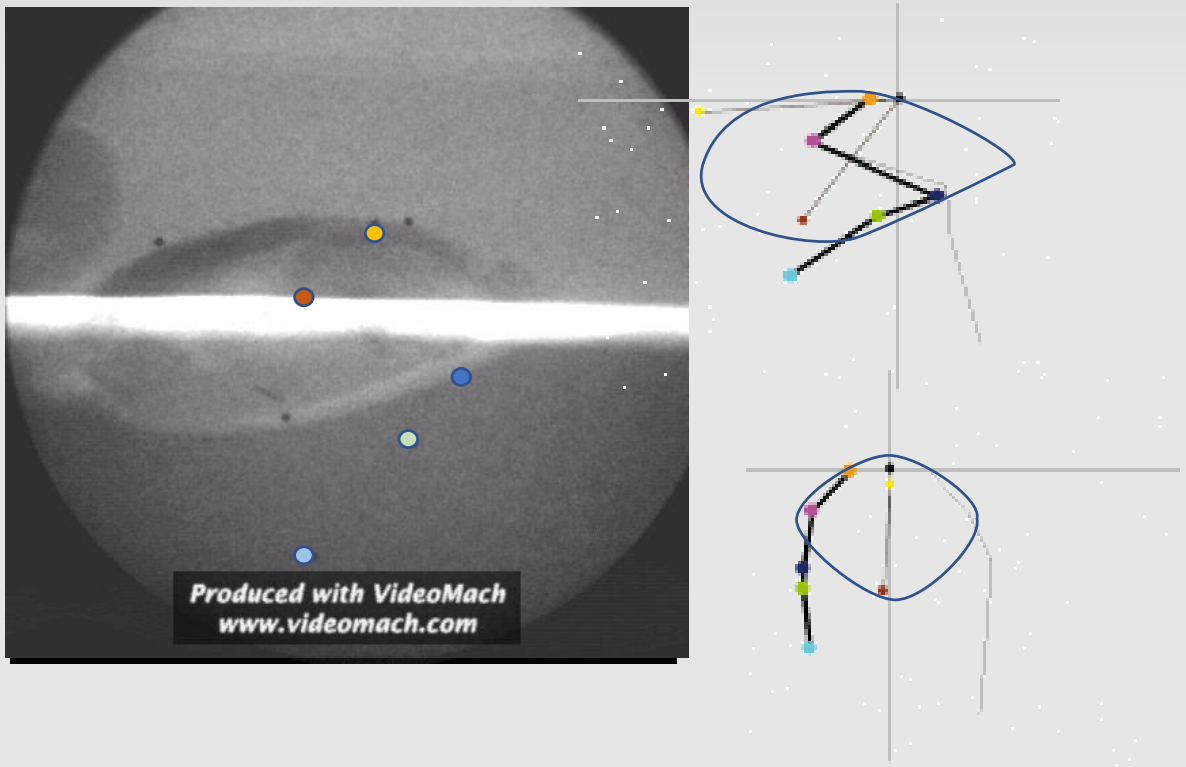




Les oiseaux
Biomécanique de la locomotion la nage

Callonetta leucophrys

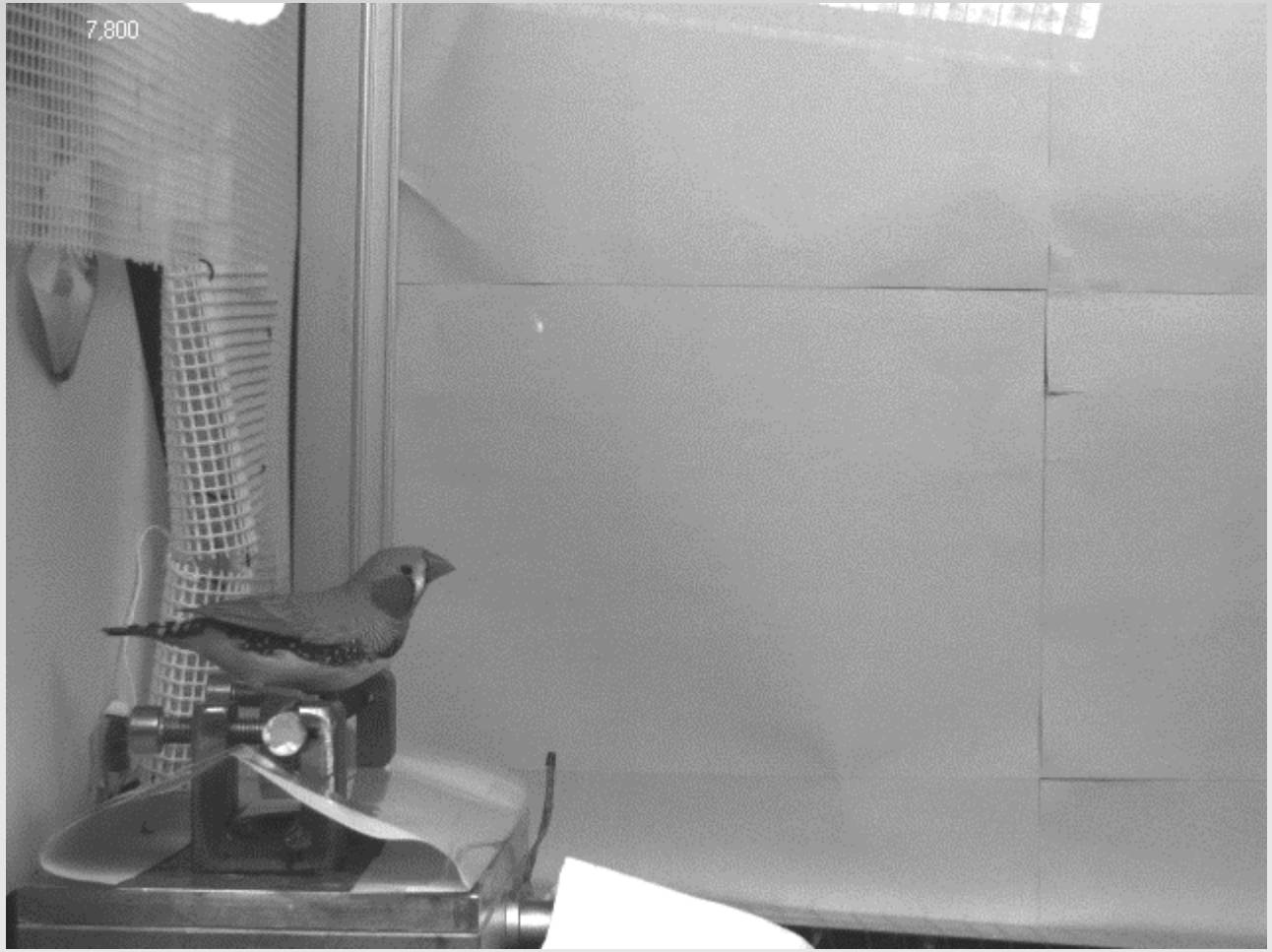




Trajectoires pendant une nage lente de canard. Le tronc flotte et reste immobile
Le genou (en rose) ne bouge pas. Le pagaillage est assuré par la partie distale de la patte

Provini,P et al., 20II Walking, paddling, waddling: 3D kinematics of Anatidae locomotion

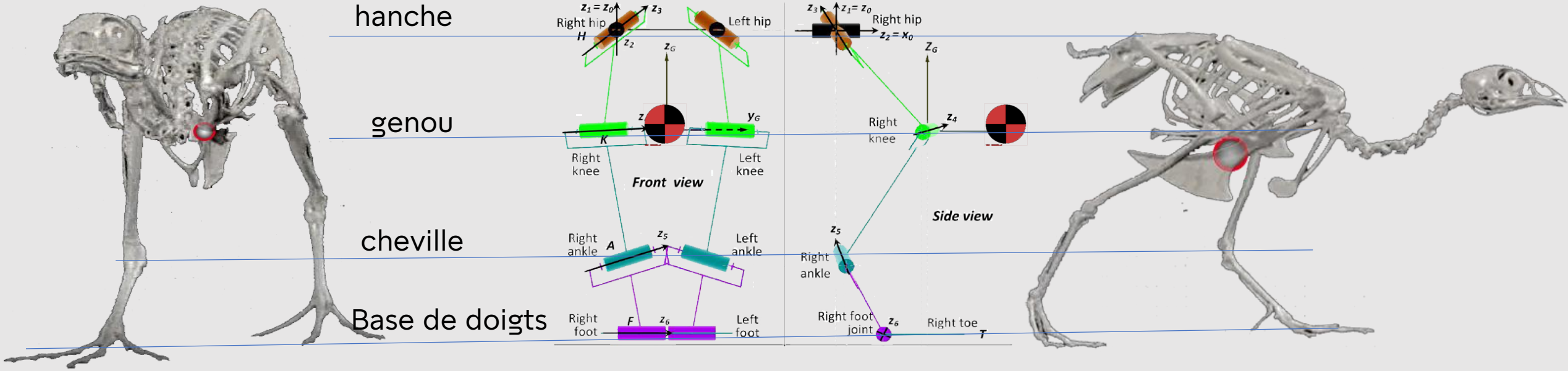
Les oiseaux
Biomécanique de la locomotion : le décollage



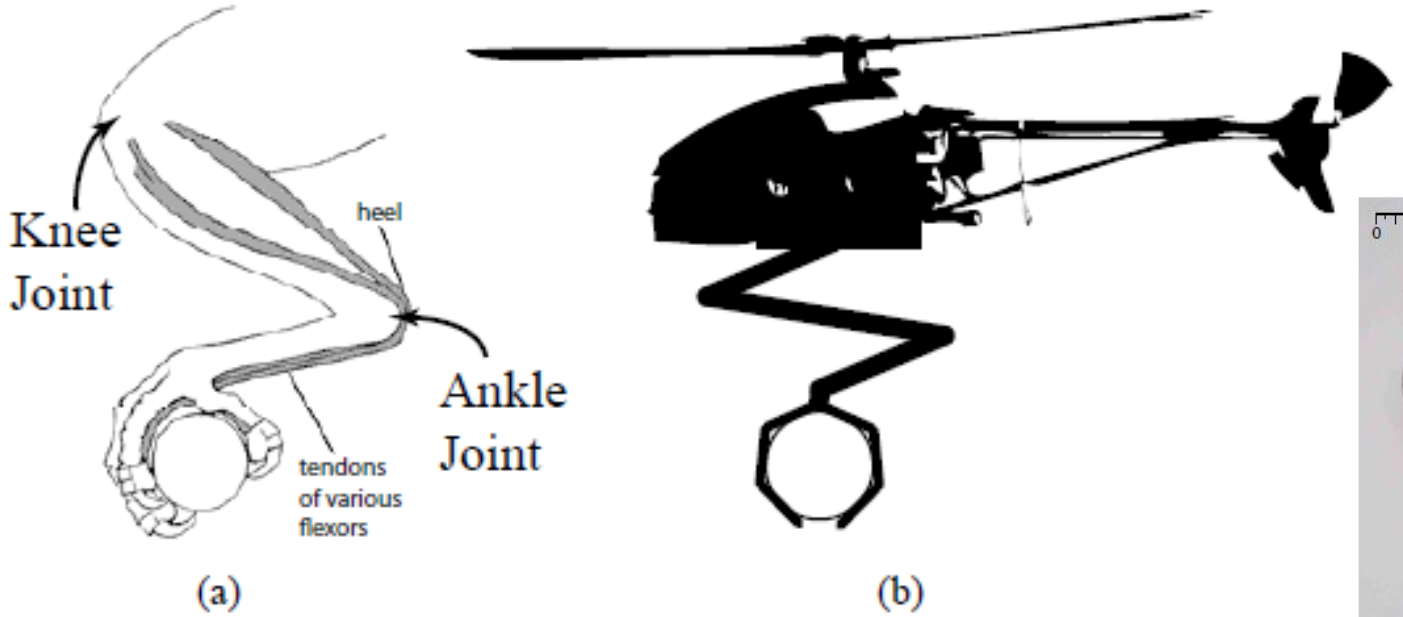
Les oiseaux
Structure de l'appareil locomoteur pelvien

Mouvements du centre de masse guidés par la hanche.
Centre de masse très bas, au niveau des genoux
Propulsion assurée par les mouvements de pattes sous le genou.

COM



Les oiseaux
exemple d'application

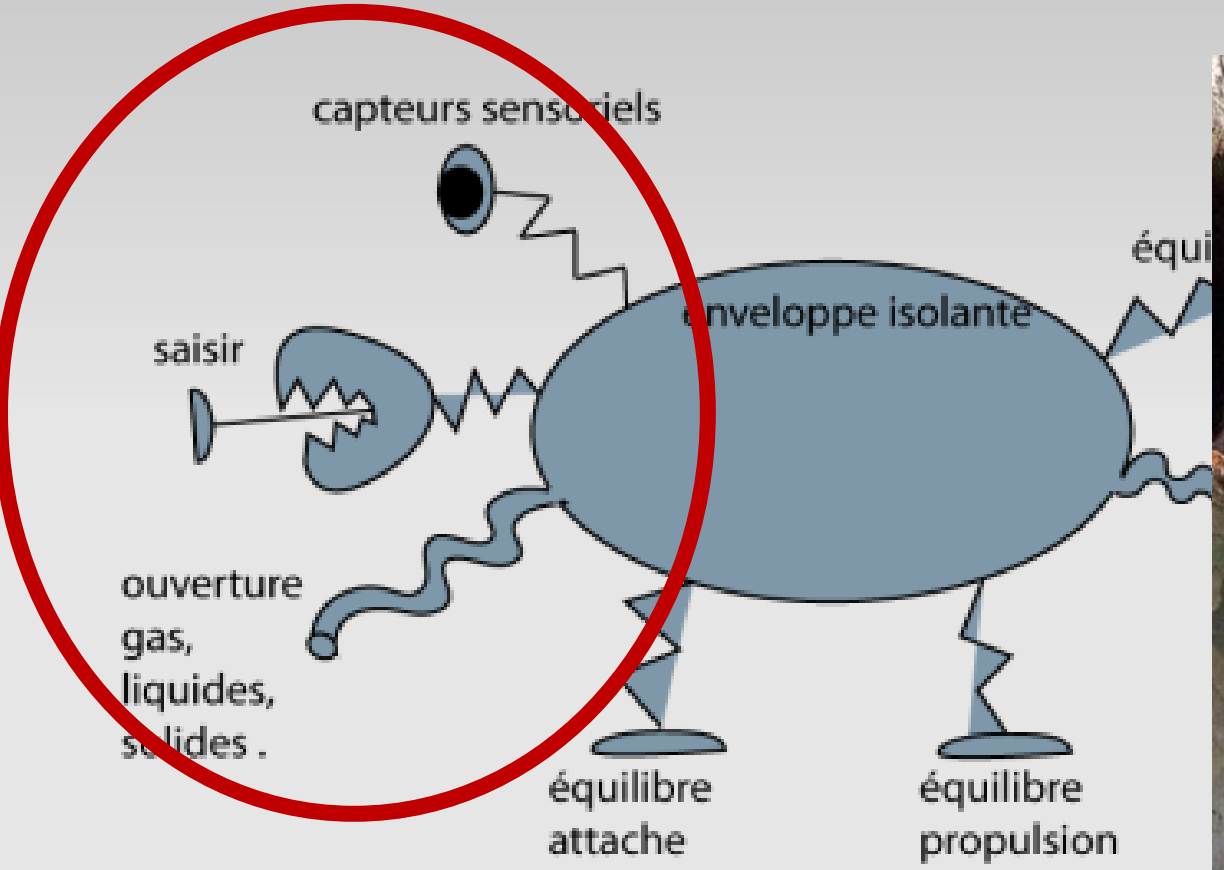


2011 IEEE/RSJ International Conference on
Intelligent Robots and Systems
September 25-30, 2011. San Francisco, CA, USA

Avian-Inspired Passive Perching Mechanism for Robotic Rotorcraft

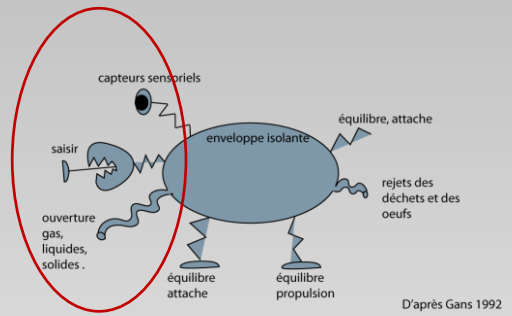
Courtney E. Doyle, Justin J. Bird, Taylor A. Isom, C. Jerald Johnson, Jason C. Kallman, Jason A. Simpson,
Raymond J. King, Jake J. Abbott, and Mark A. Minor

Les oiseaux
le cou



La tête est l'équivalent fonctionnel d'une main, le cou l'équivalent d'un bras

Les oiseaux
le cou



La tête bouge
pour l'alimentation
stabiliser les récepteurs sensoriels
le toilettage
la construction

Le cou bouge la tête,
il est puissant
léger
flexible

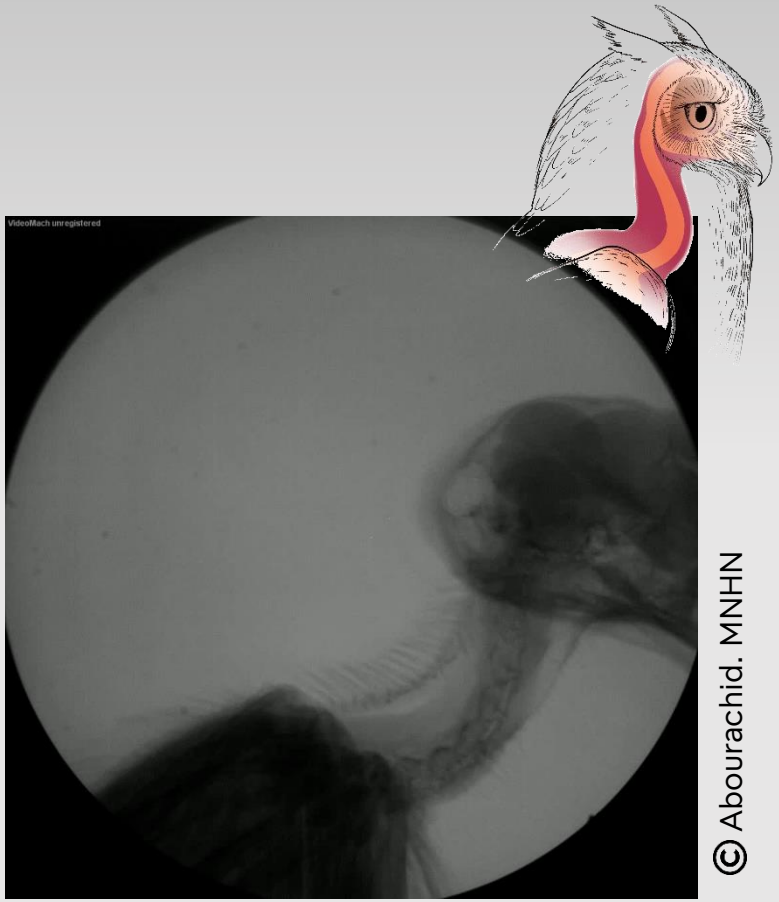
Les oiseaux
le cou

Le cou des oiseaux,
Un bras pour les robots

Etude anatomique et fonctionnelle du cou des oiseaux

Construction d'un robot en modules de tenségrité

Les oiseaux
le cou



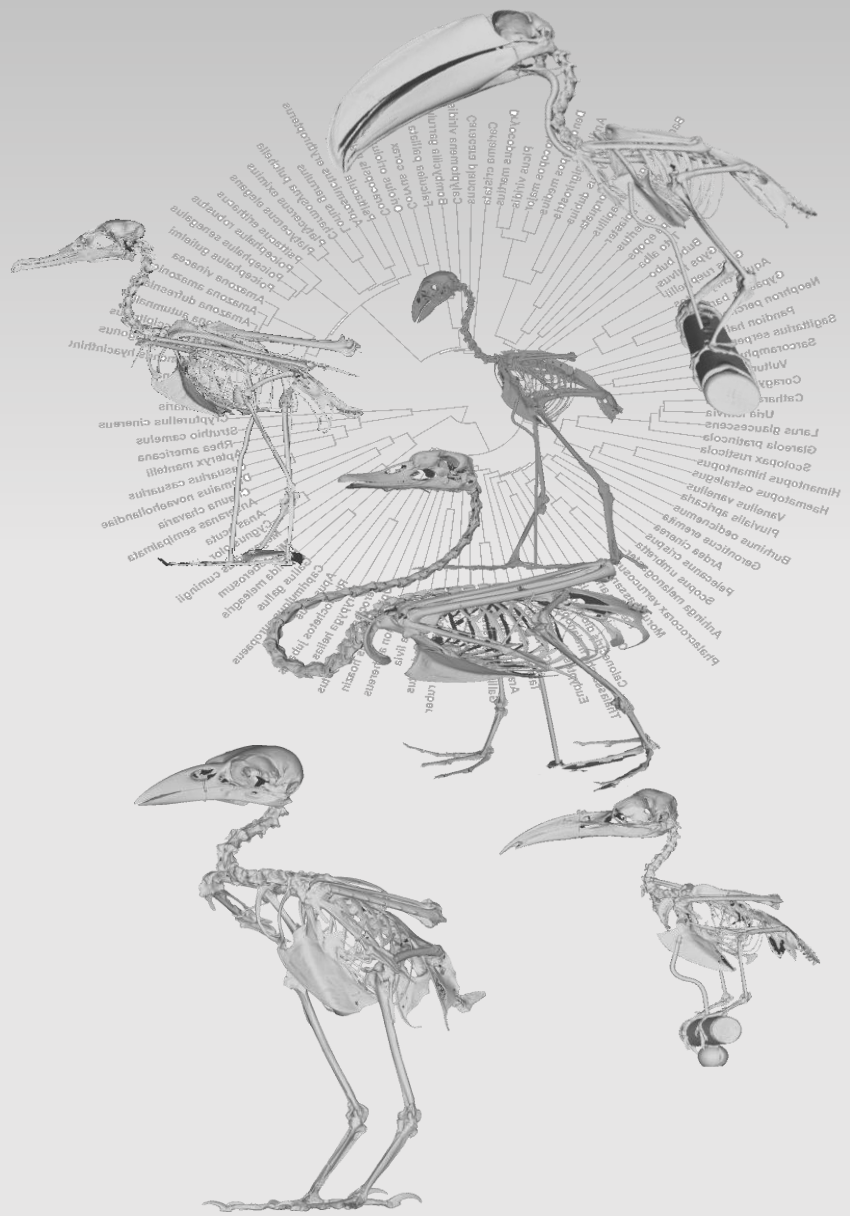
© Abourachid. MNHN

Video Rayons X d'une chouette

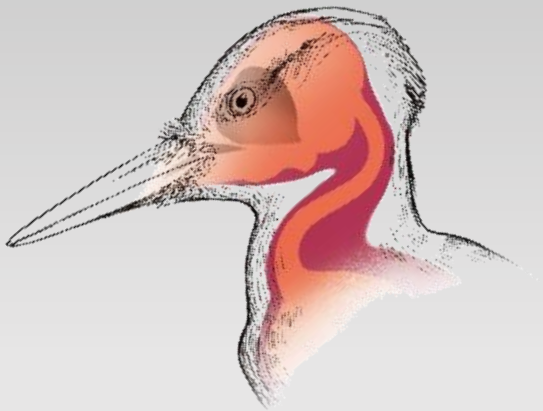
Le cou a une forme de S
Il se déplie pour comme un bras pour bouger la tête

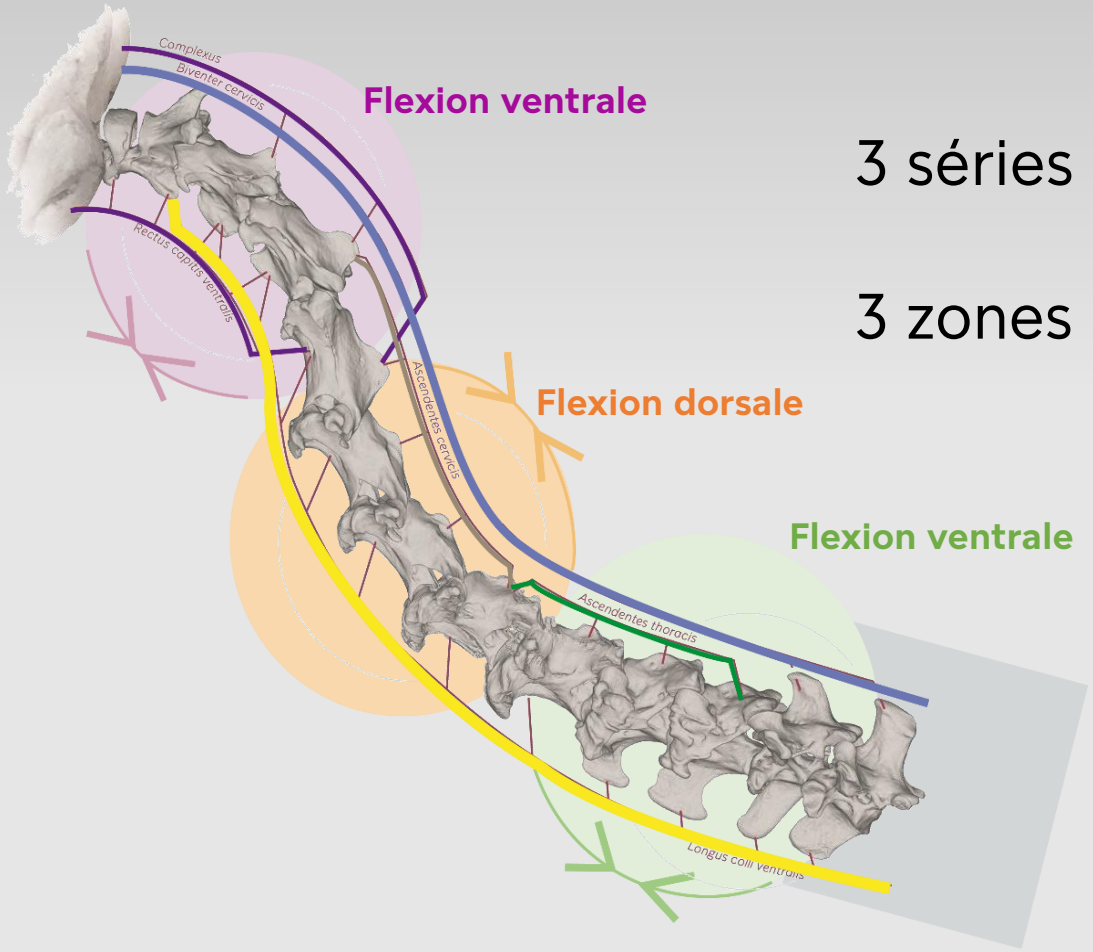
Les oiseaux
le cou

Etude de l’anatomie du cou d’une centaine d’espèces d’oiseaux, muscles et os



Les oiseaux
le cou

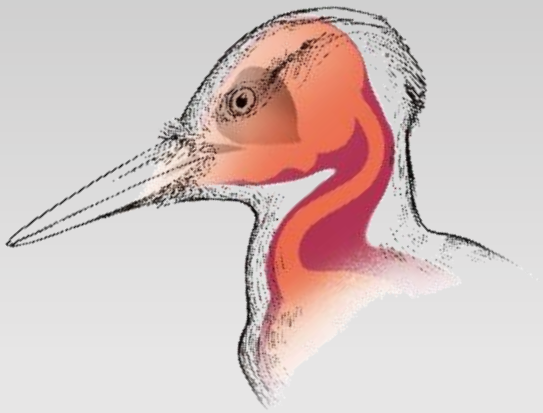


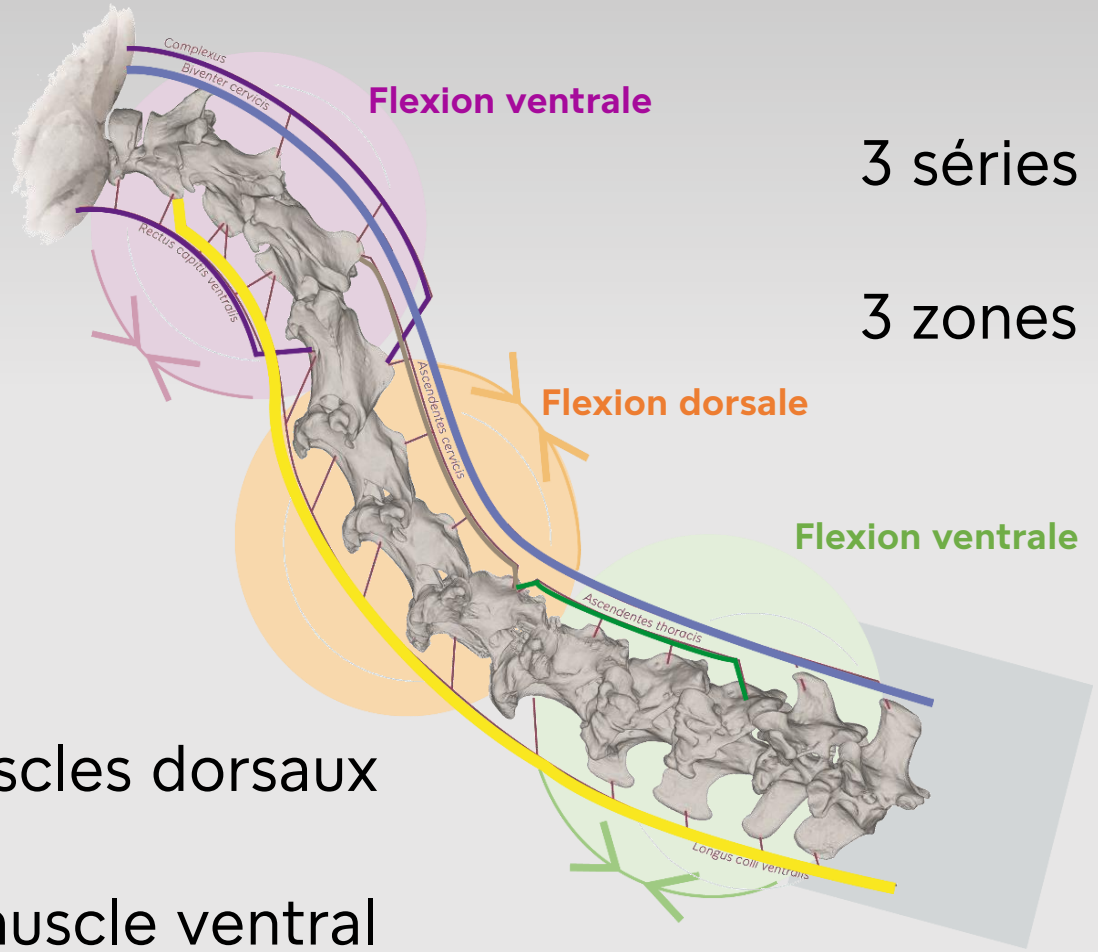


3 séries de vertèbres

3 zones de flexion

Les oiseaux
le cou





3 séries de vertèbres

3 zones de flexion

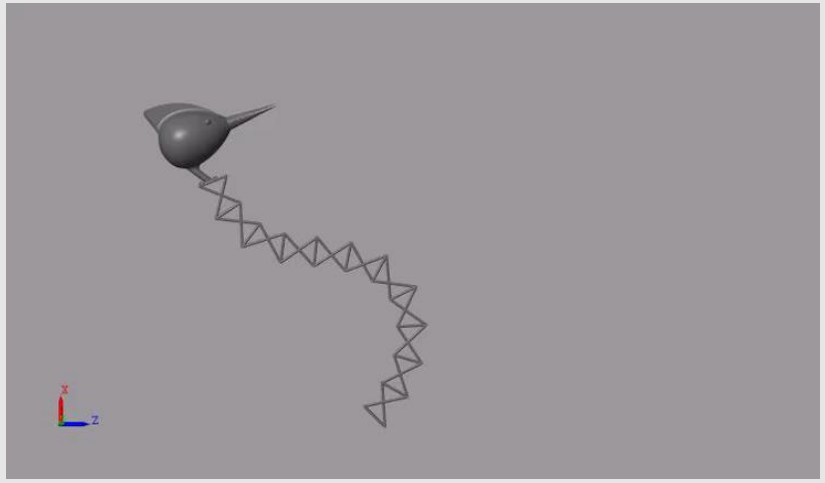
3 groupes de muscles dorsaux

Un long muscle ventral

Organisation modulaire des vertèbres et de la musculature

Bio-inspiration

Modèle du pic noir :
Souplesse
Flexibilité
Légereté
Précision
Puissance

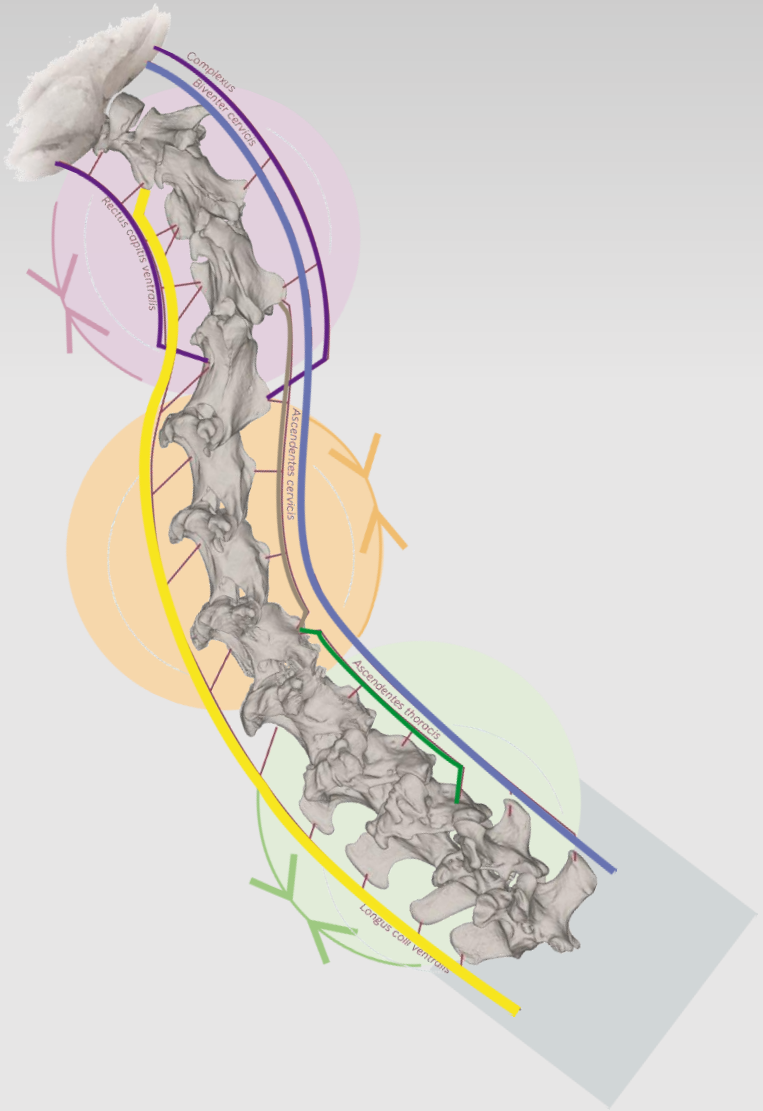


Le robot doit avoir les mêmes propriétés que le cou des oiseaux

Bio-inspiration

Conception du robot

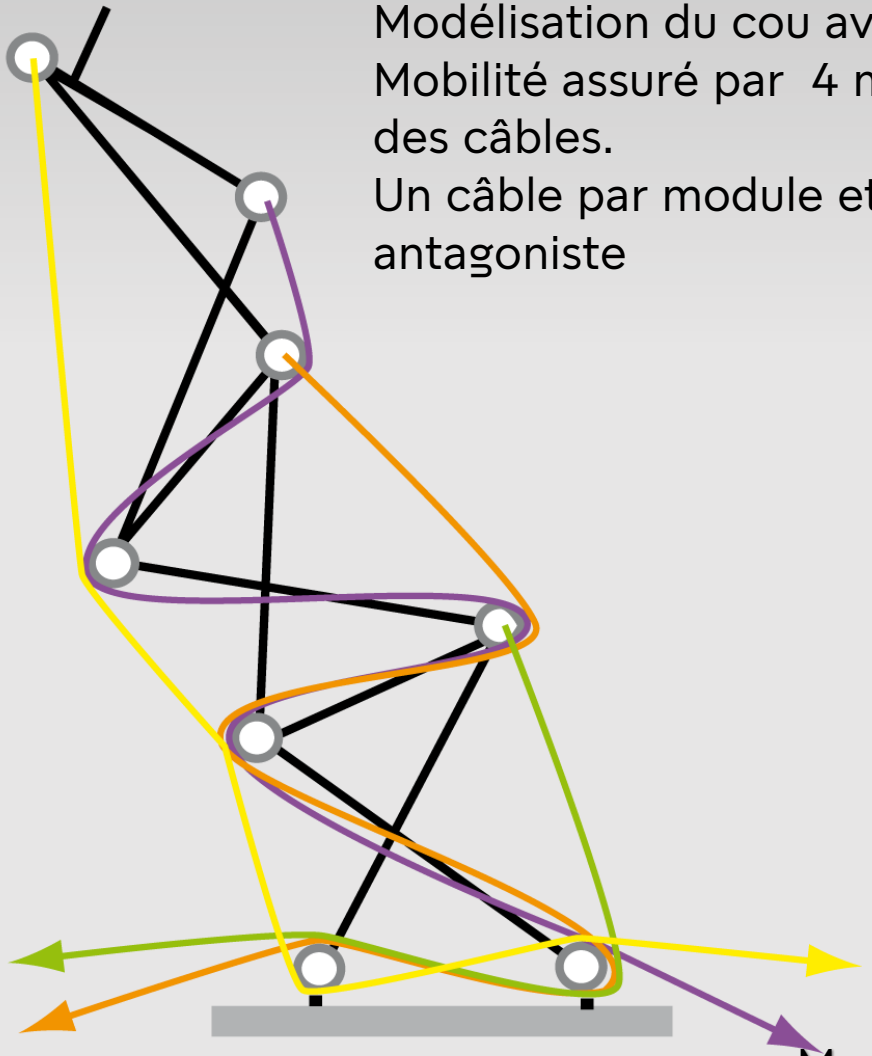
(A. Van Riesen, M. Furet, C. Chevallereau, P. Wenger, Romansy'2018)



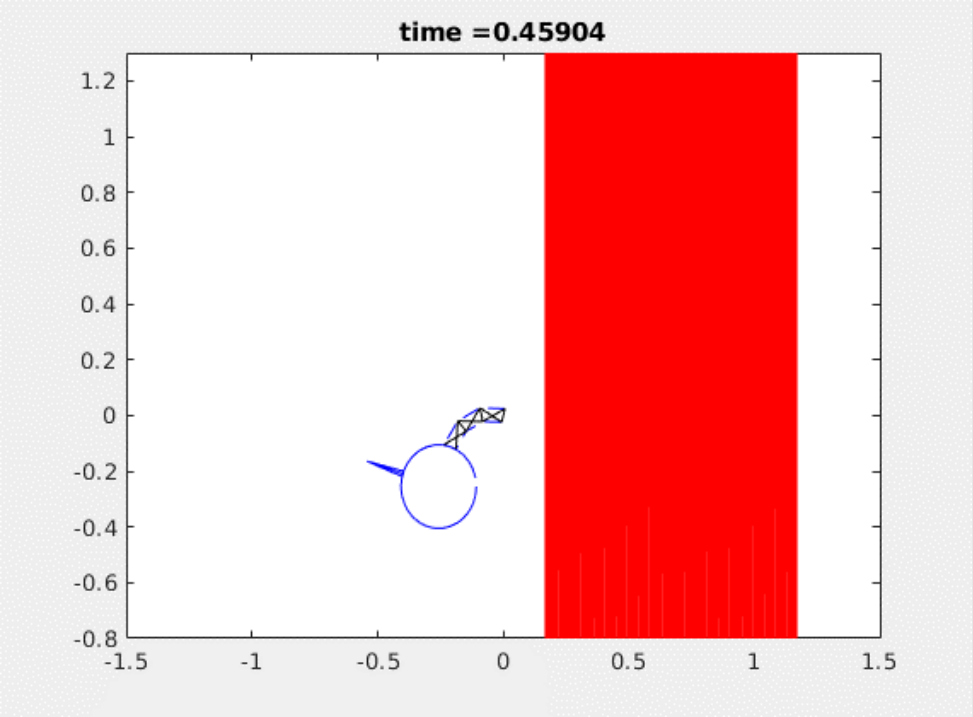
Bio-inspiration

Conception du robot

(A. Van Riesen, M. Furet, C. Chevallereau, P. Wenger, Romansy'2018)

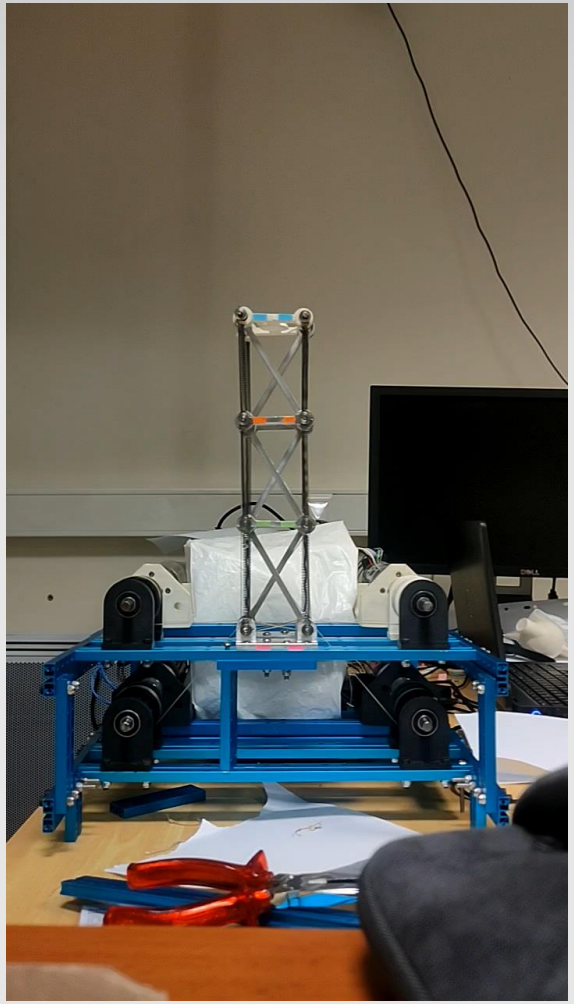


Modélisation du cou avec 3 modules en X,
Mobilité assuré par 4 moteurs tirant sur des câbles.
Un câble par module et un câble long antagoniste



Modélisation de l'actionnement : mouvement explosif

Bio-inspiration
Conception du robot



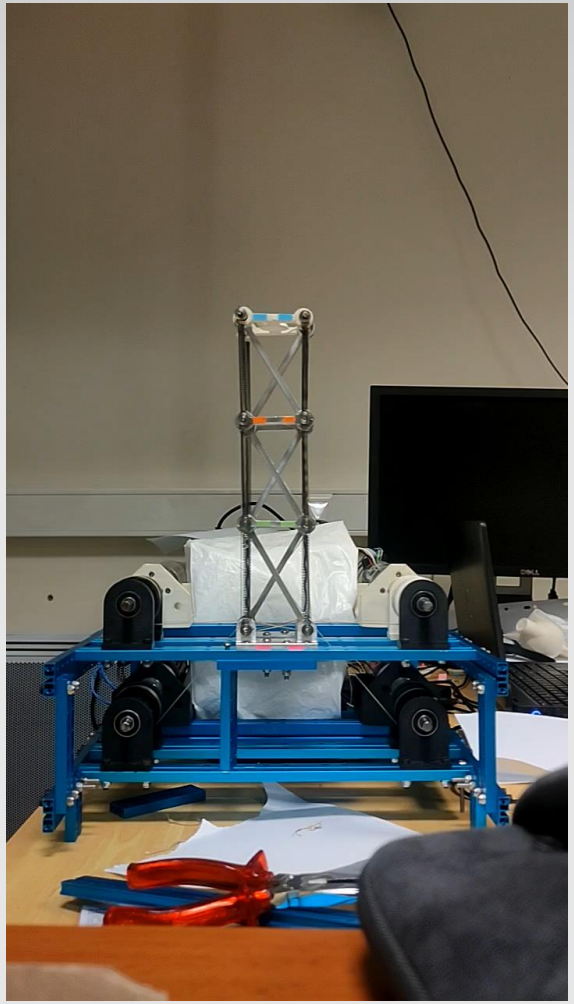
- Propriétés:
- Câbles antagonistes et ressorts
- Câbles seulement en traction, avec tension toujours positive

- Structure :
- Matériaux légers
- Moteurs excentrés

➔ mouvements de faible énergie
➔ Mouvements « explosifs »

Système économe en matériaux et en énergie

Bio-inspiration
Conception du robot

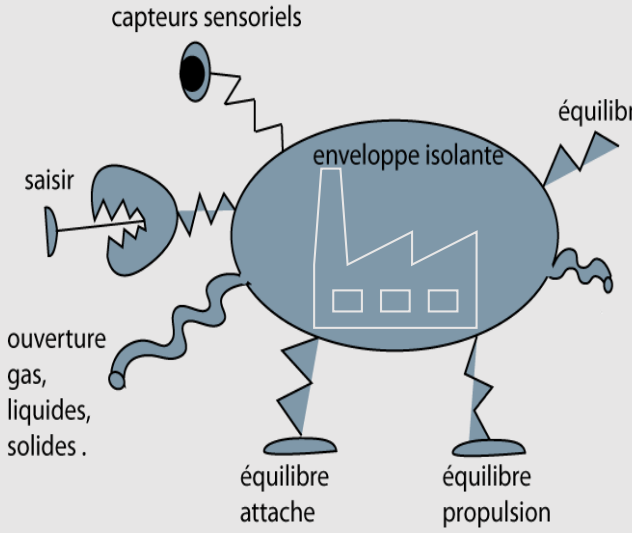


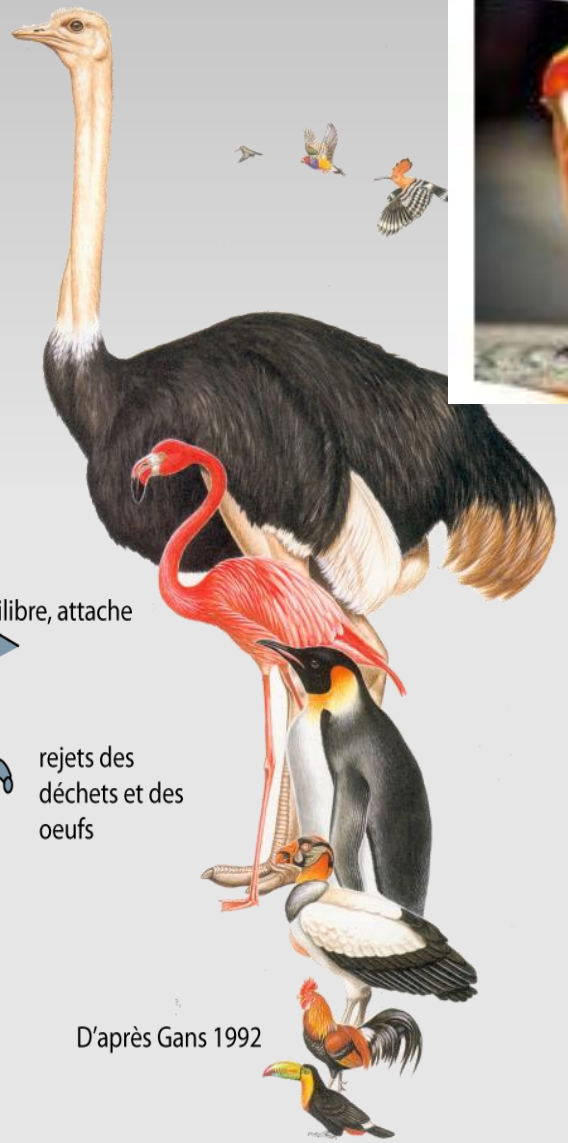
Système économe en matériaux et en énergie

Alternative aux systèmes industriels lourds

La machine animale : des oiseaux aux robots

Anick Abourachid
Professeure de morphologie fonctionnelle
Muséum National d'Histoire Naturelle





D'après Gans 1992

Unité mixte de recherche 7179
MECADEV
mécanismes adaptatifs & évolution