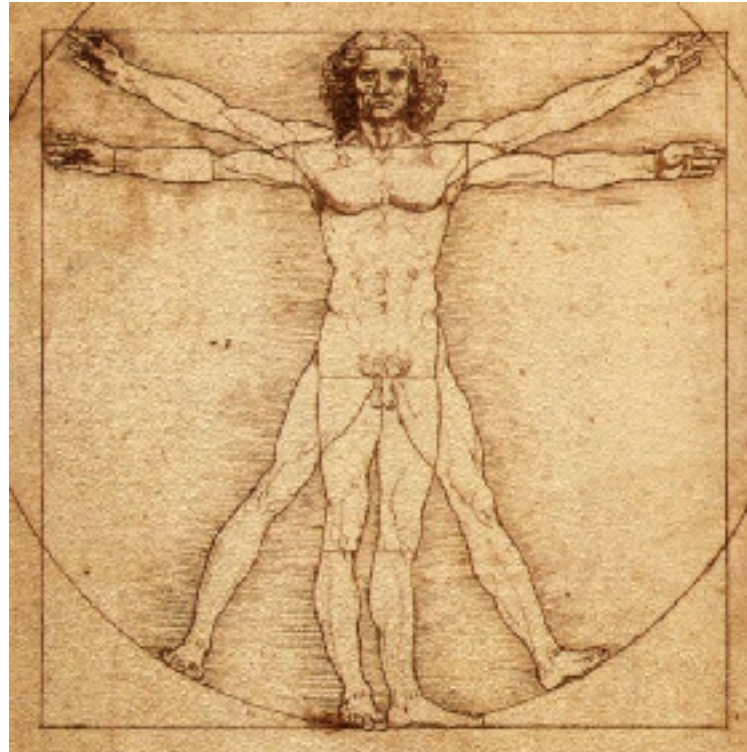


# L'asymétrie en biologie

Description, génétique, aspects fonctionnels et évolution



**Vincent Debat - MNHN**

Remerciements à Yoland Savriama, PhD  
Grand spécialiste de la symétrie en biologie

## Plan

Introduction – définition mathématique – origine évolutive de la symétrie

1 – Origine développementale et moléculaire de l'asymétrie précoce

2 – les différents types d'asymétrie macroscopique : AD, AS et AF

3 – Evolution de l'asymétrie : un exemple d'assimilation génétique?

4 – Asymétrie fluctuante, stress et fitness : « symmetry is beauty »?

5 – bases génétiques de l'asymétrie fluctuante

Des références

## **Introduction:**

Symétrie – asymétrie : une vieille question

ADN asymétrique...

Louis Pasteur sur la chiralité moléculaire



## **Est-ce que la symétrie est adaptative?**

= Modularité : duplication = complexification à faible coût!

Multicellularité, comme premier pas (grand pas!)

Puis symétrie. La spécialisation des parties répétées nécessite une différenciation secondaire. Adaptation = asymétrie!

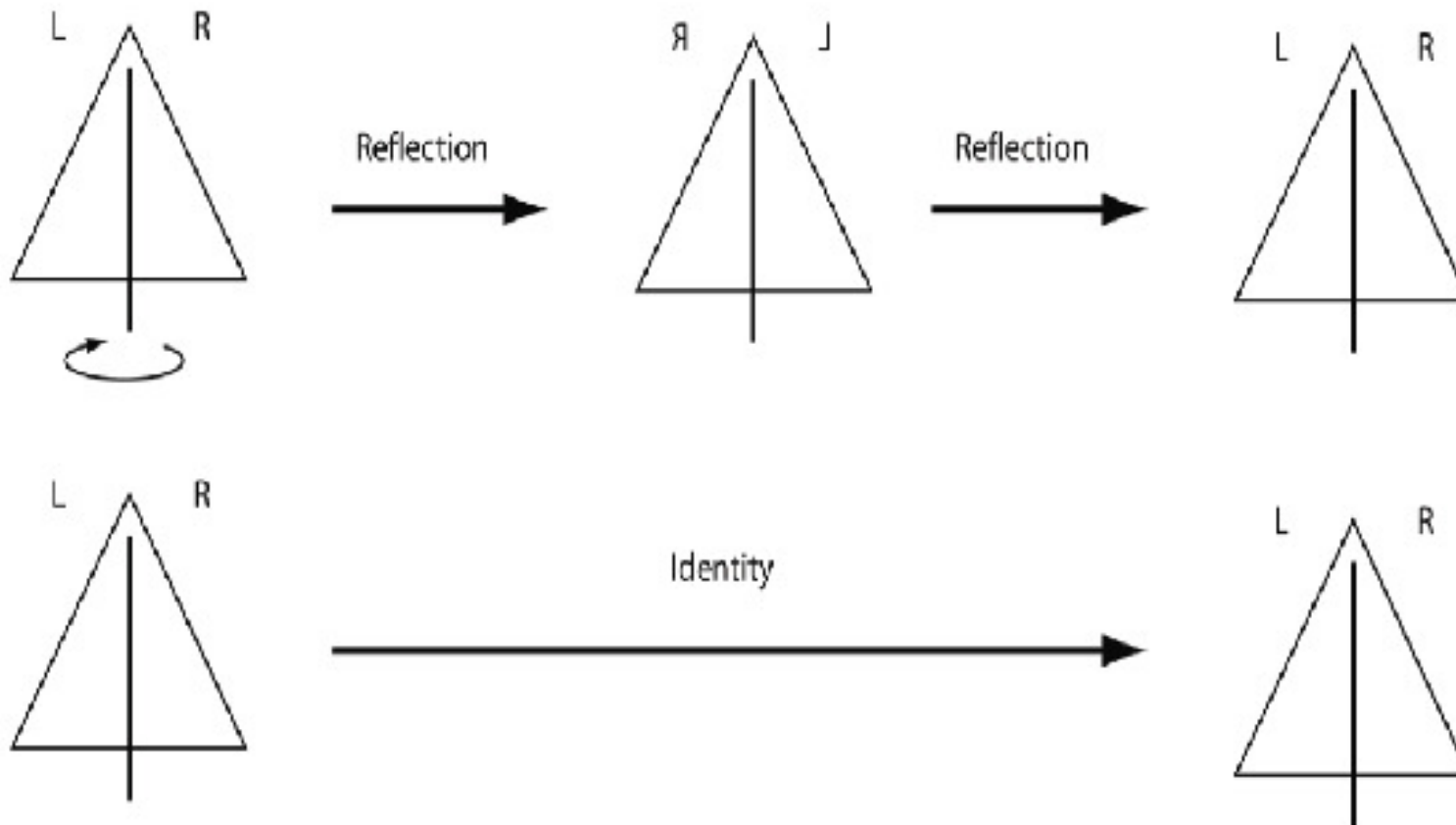
Origine évolutive de la symétrie?

Symétrie axiale, puis bilatérale...

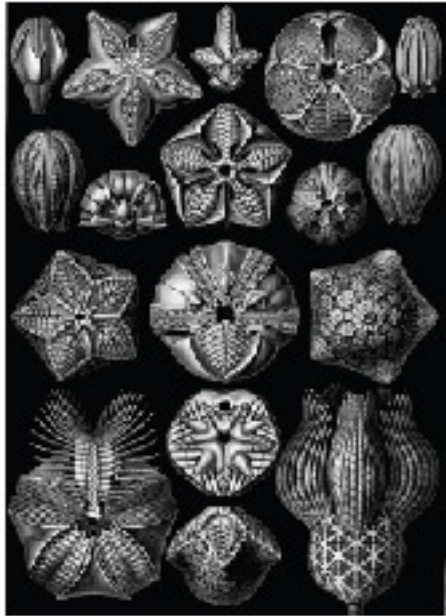
## Définition

Mathématiquement = transformation géométrique involutive = qui est son propre inverse = appliquée à un objet deux fois de suite = identité.

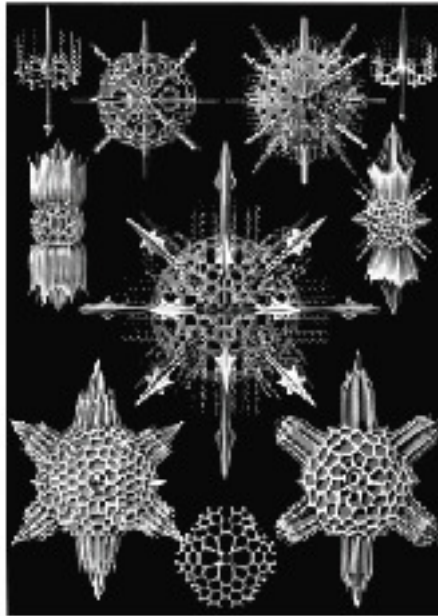
Notion d'invariance



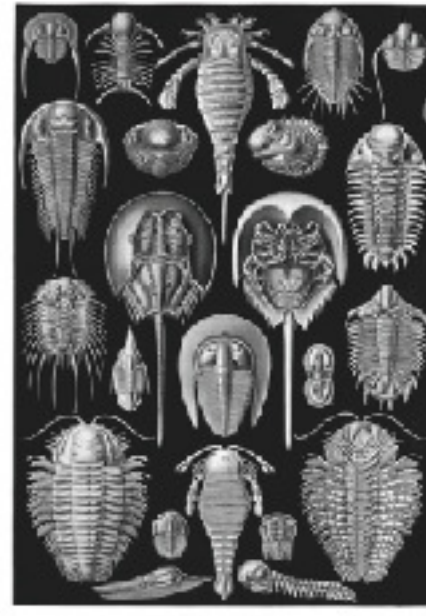
*Radial symmetry*



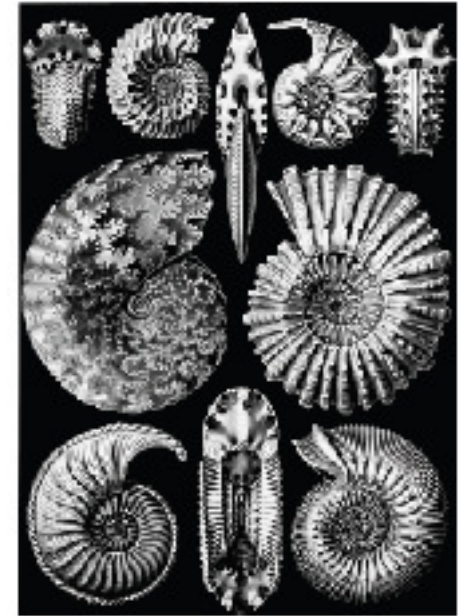
*Bilateral symmetry and radial symmetry*



*Serial homology*



*Spiral symmetry*



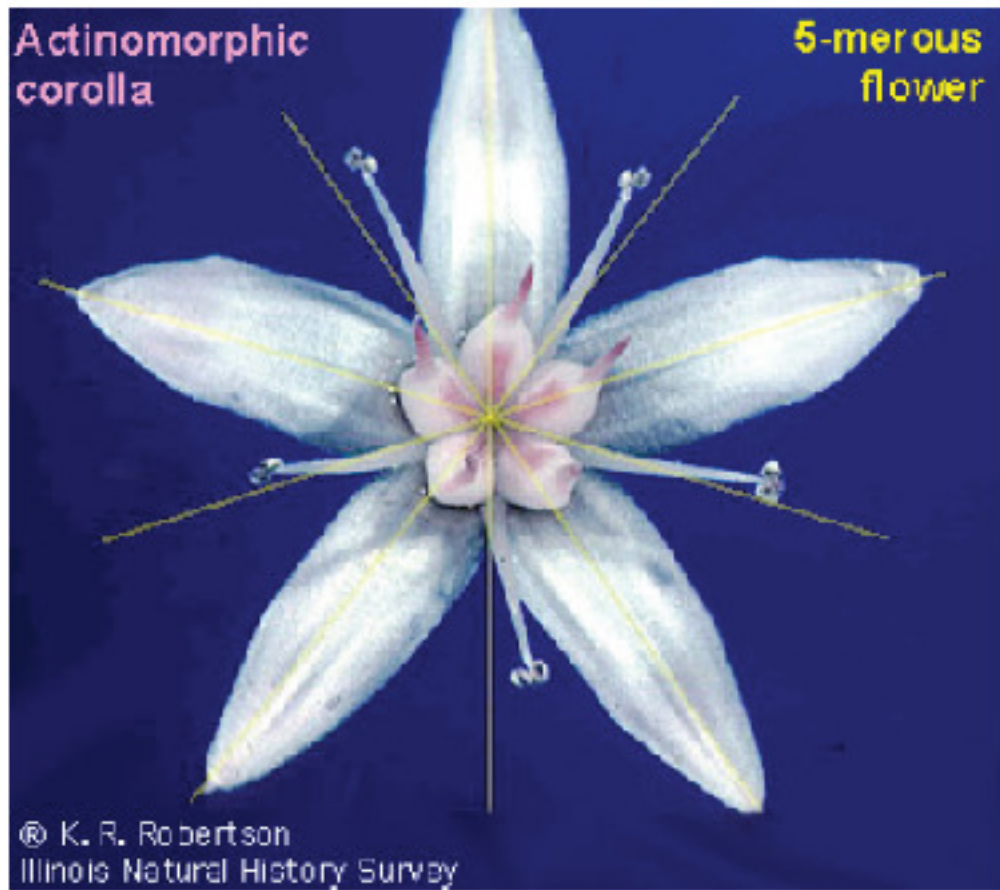
*Helical symmetry*



**Variété des types de symétrie biologique**

## Symétrie florale

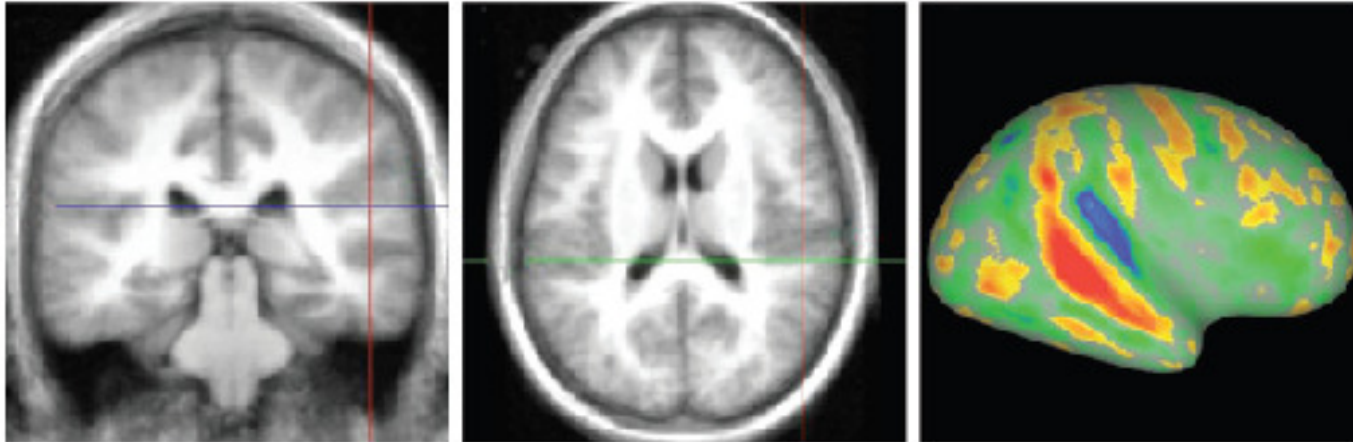
### Actinomorphy (Polysymmetry)



### Monosymmetry (Zygomorphy)



# Symétrie et asymétrie chez l'homme



Sun and Walsh 2006

## Latéralisation

Faurie et Raymond (2004): proportion de gauchers et droitiers n'a pas évolué depuis 10 000 ans : peintures rupestres de mains en négatif



# Origine évolutive de la symétrie

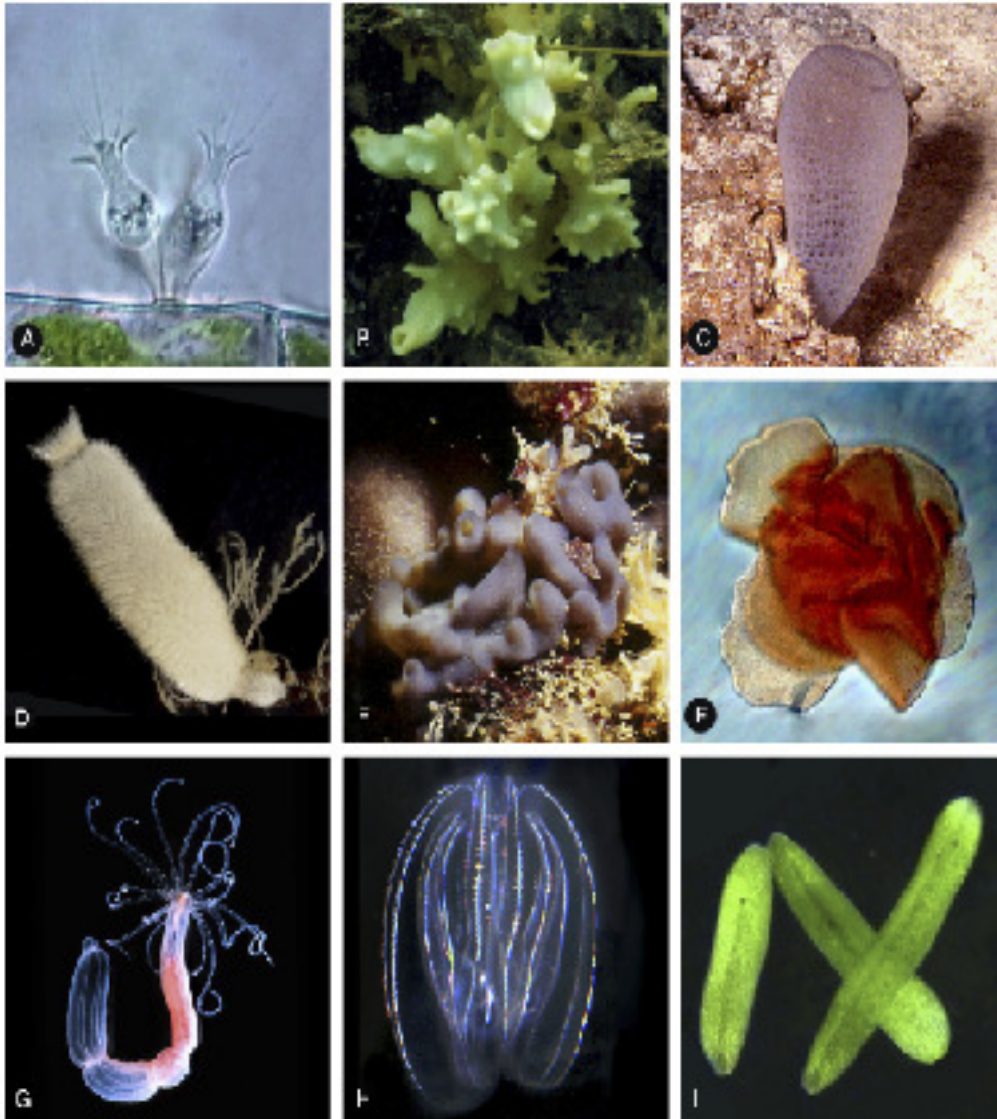
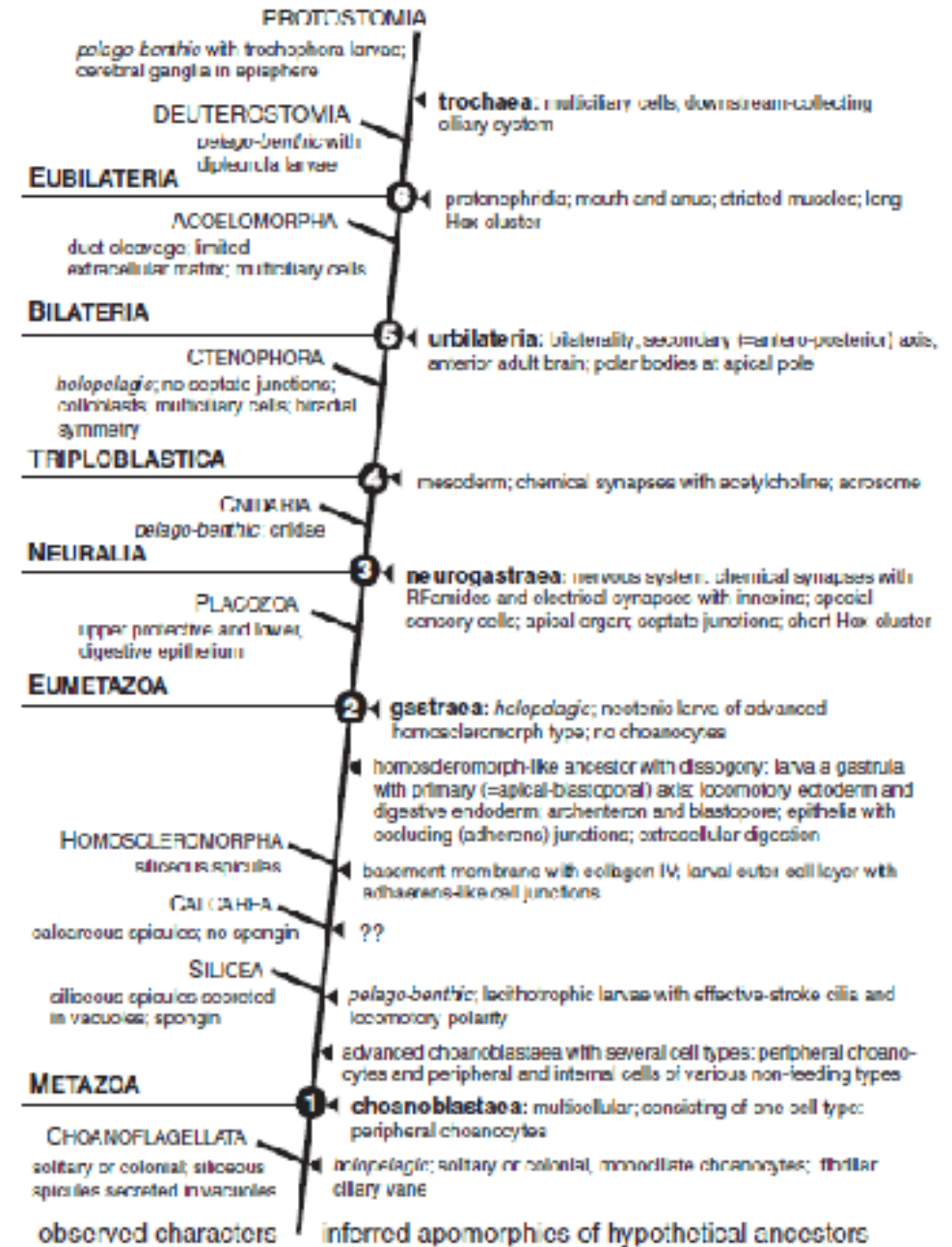


Fig. 1. "Drumans personas": Representatives of the "lower animal groups" discussed in this paper. (A) Choanoflagellate: *Saragoclea* (Michael Peck, Pinglamoyde). (B) Siphonous Demospongiae: *Alekospongia* (Martin Mørch, University of Copenhagen). (C) Miliaria: *Hexacnida*: *Eudocidia* (Craig Young, University of Oregon). (D) Cakarea: *Spon* (Frodis Plejel, Tjärnö Marine Biological Laboratory). (E) Homoscleromorpha: *Oswella* (Wilfried Ryt Kondrat, Mer and Limnol. Center, Denmark). (F) Placozoa: *Trichopyxa* (Ann Spector, Yale University). (G) Cnidaria: *Hydrozoa*: *Hydra* (Timm Nöldeke, University of Vienna). (H) Ctenophora: *Mastigias* (Birgit Thorell, University Copenhagen). (I) Ascidomorpha: *Gastrea* (*Syringoptera*) (Nancy Bally, Station Biologique Roscoff).



Evolution de la polarité entre spongiaires et cnidaires => axe oral-aboral <=> Antéro-postérieur

## Origine de la symétrie bilatérale?

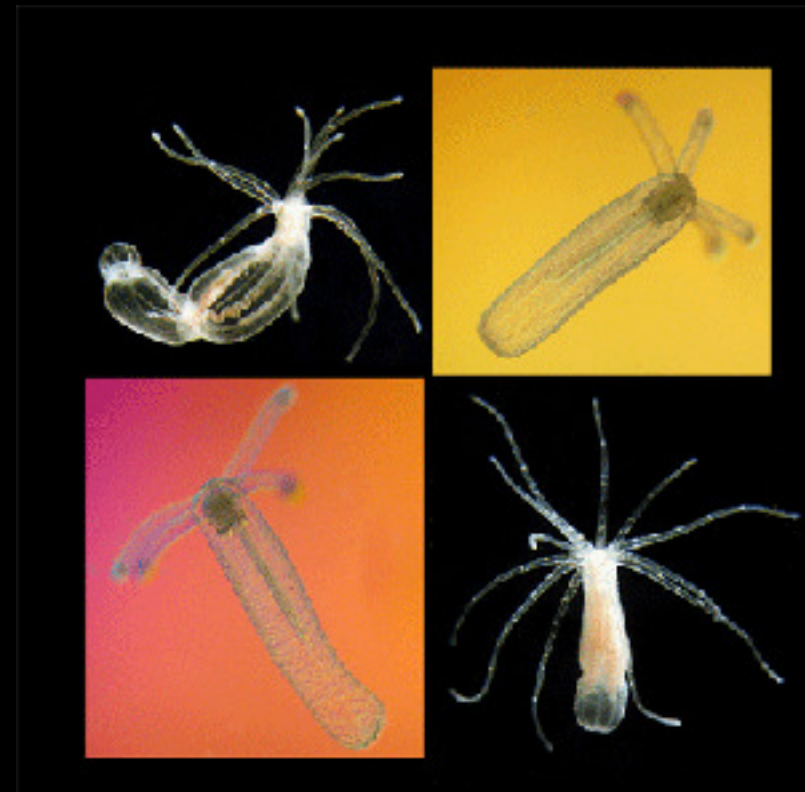
Explosion cambrienne 500 MA

**Adaptation à la locomotion ou tractus digestif??**

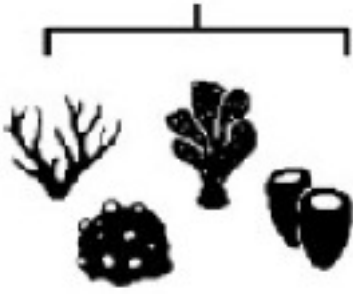
Il y a des discussions sur le fait que la symétrie bilatérale soit une apomorphie des bilatériens : certains cnidaires sont bilatéralement symétriques...

### **Anthozoaires *Nematostella***

Expression antéro postérieure des gènes Hox  
Expression asymétrique de dpp le long du deuxième axe (dorso-ventral (?) )



# SPONGES



Silicispongia

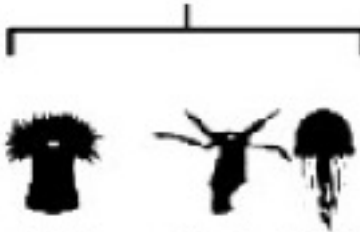
Calcispongia

# CNIDARIA



Ctenophora

Placozoa



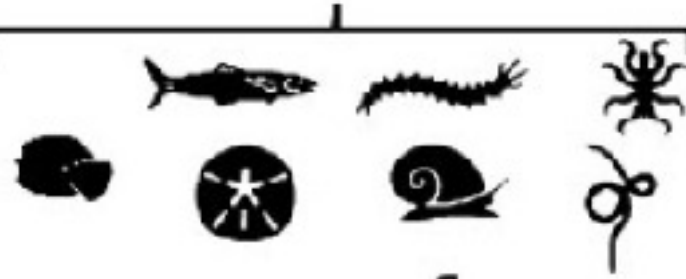
polyp

polyp, medusa

Anthozoa

Medusozoa

# BILATERIA

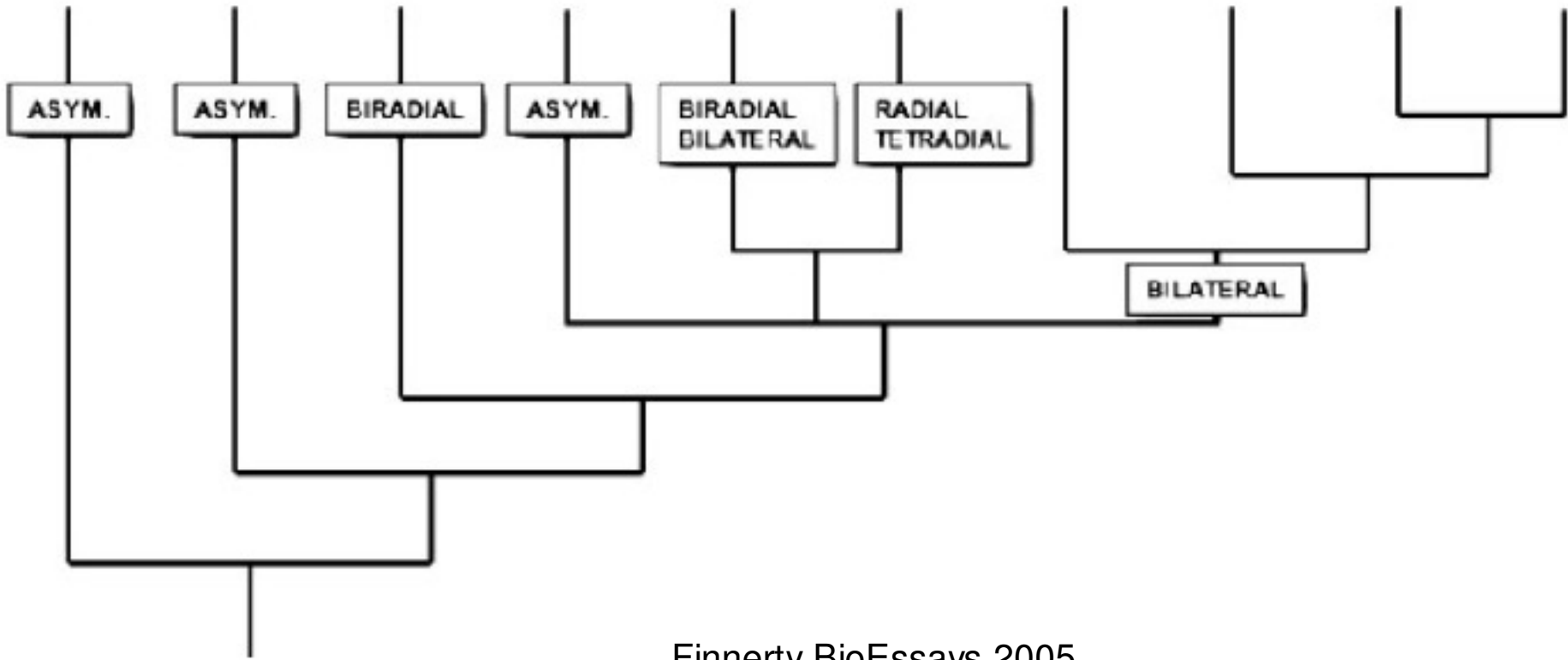


Acoelomorpha

Deuterostomia

Lophotrochozoa

Ecdysozoa



# 1 – Origine développementale et moléculaire de l'asymétrie précoce

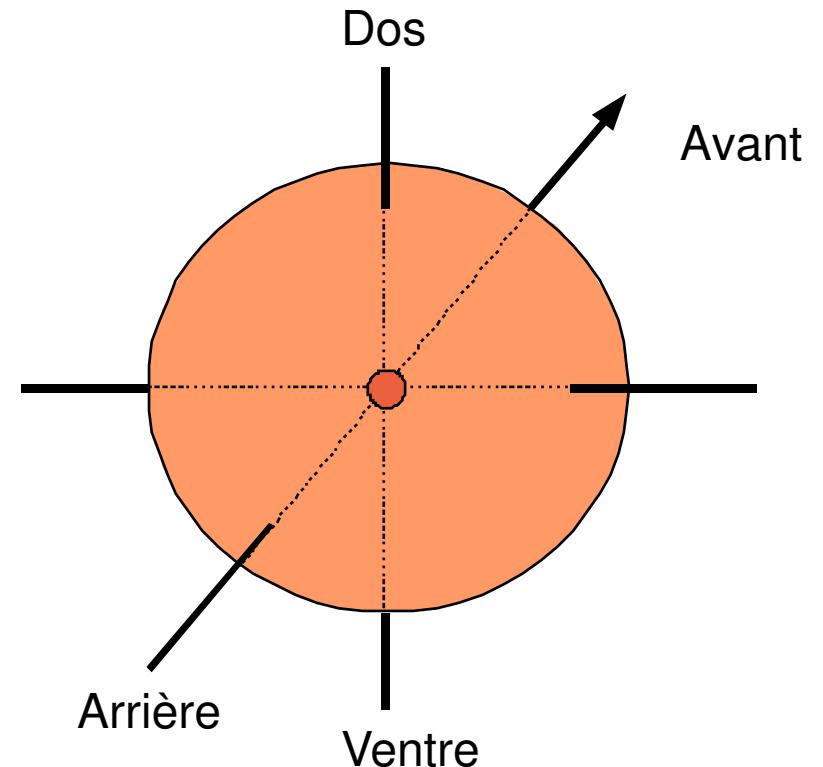
(Vandenberg and Levin 2007; Levin and Palmer *BioEssays* 2005)

Chez les animaux, l'établissement des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale suffit à définir la symétrie bilatérale.

La difficulté est la mise en place d'une polarité droite gauche (d'une asymétrie)  
(Vieille question : « comment reconnaître sa droite de sa gauche?? »  
« Facile! La droite c'est celle avec laquelle tu écris. »)

## L'établissement d'une asymétrie constante nécessite trois étapes logiques:

- 1 – Définition d'un axe Droite Gauche (tous les individus doivent être semblablement asymétriques)
- 2 – Amplification et transmission de l'information (à de nombreux organes)
- 3 – Restriction de l'information (ce qui signale « droite! » ne doit pas passer à gauche)



Mais quel est le premier événement qui définit l'orientation?  
Idée d'une molécule chirale ('F molecule')

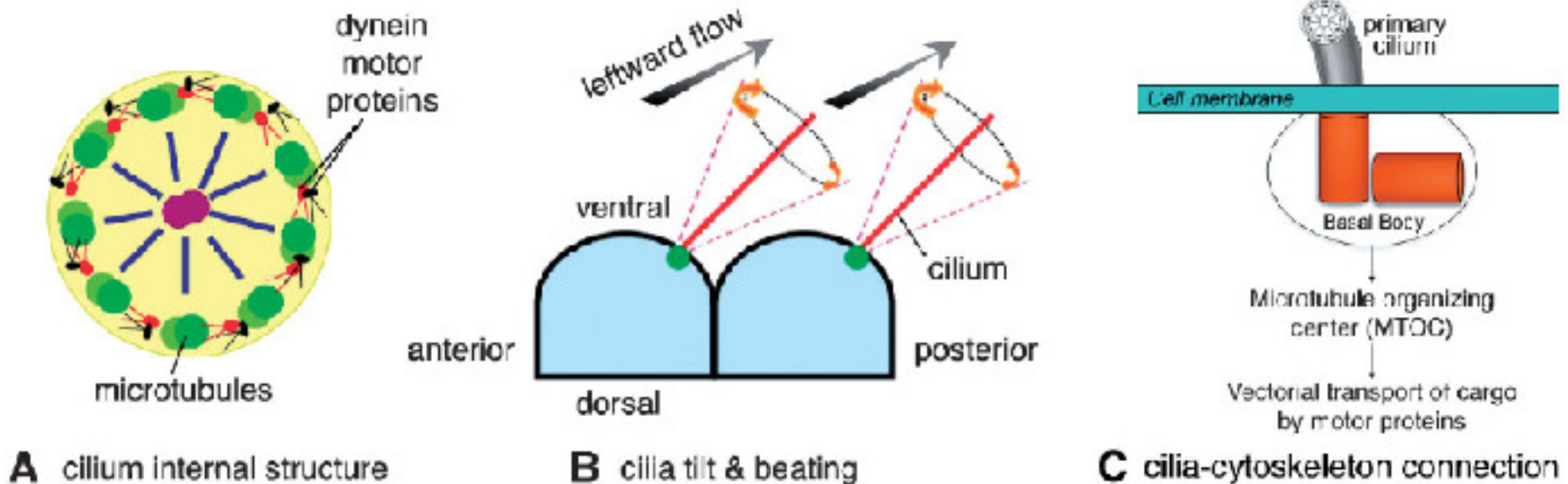
## Hypothèse extracellulaire

**Vertébrés :**

**Cascade Nodal** : trois gènes TGFbeta (Nodal, Lefty1 et Lefty2) et un gène homéotique Pitx2. Un excès de Nodal à gauche du « centre organisateur » active les deux Lefty. Lefty1 empêche Nodal de diffuser à droite et lefty2 empêche Nodal de se surexprimer à gauche. Nodal active aussi Pitx2 à gauche.

L'expression asymétrique de Nodal pourrait être causée par le mouvement orienté de cils près de l'organisateur (fibres de dynéine orientés).

**Grande variation dans le nombre et la nature des gènes impliqués dans la cascade Nodal (et même en amont de Nodal!!)**



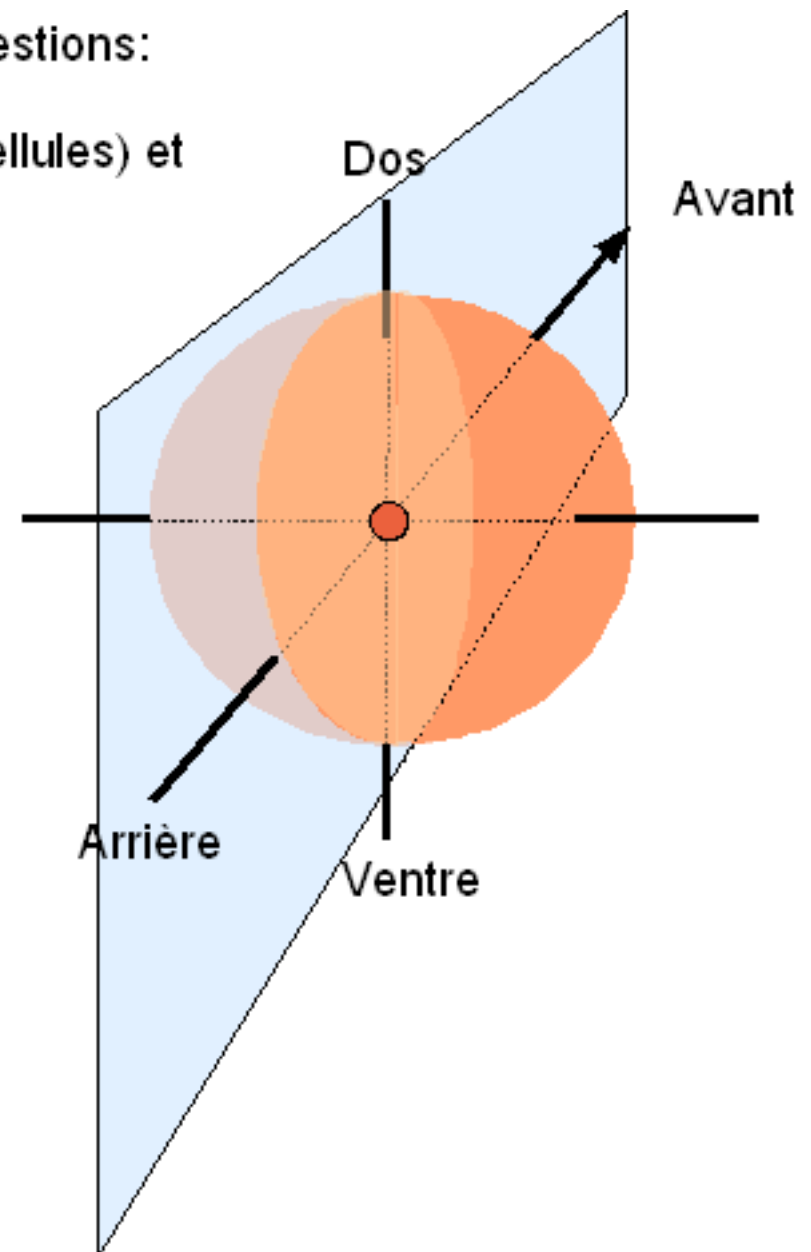
## Qu'est ce que le plan sagittal et quand est il défini?

Pour une cellule, au cours de l'organogenèse, deux questions:  
« Où est la gauche? » Et « Où suis - je? »  
= information directionnelle (la même pour toutes les cellules) et  
positionnelle (de quel côté du plan sagittal suis-je?)

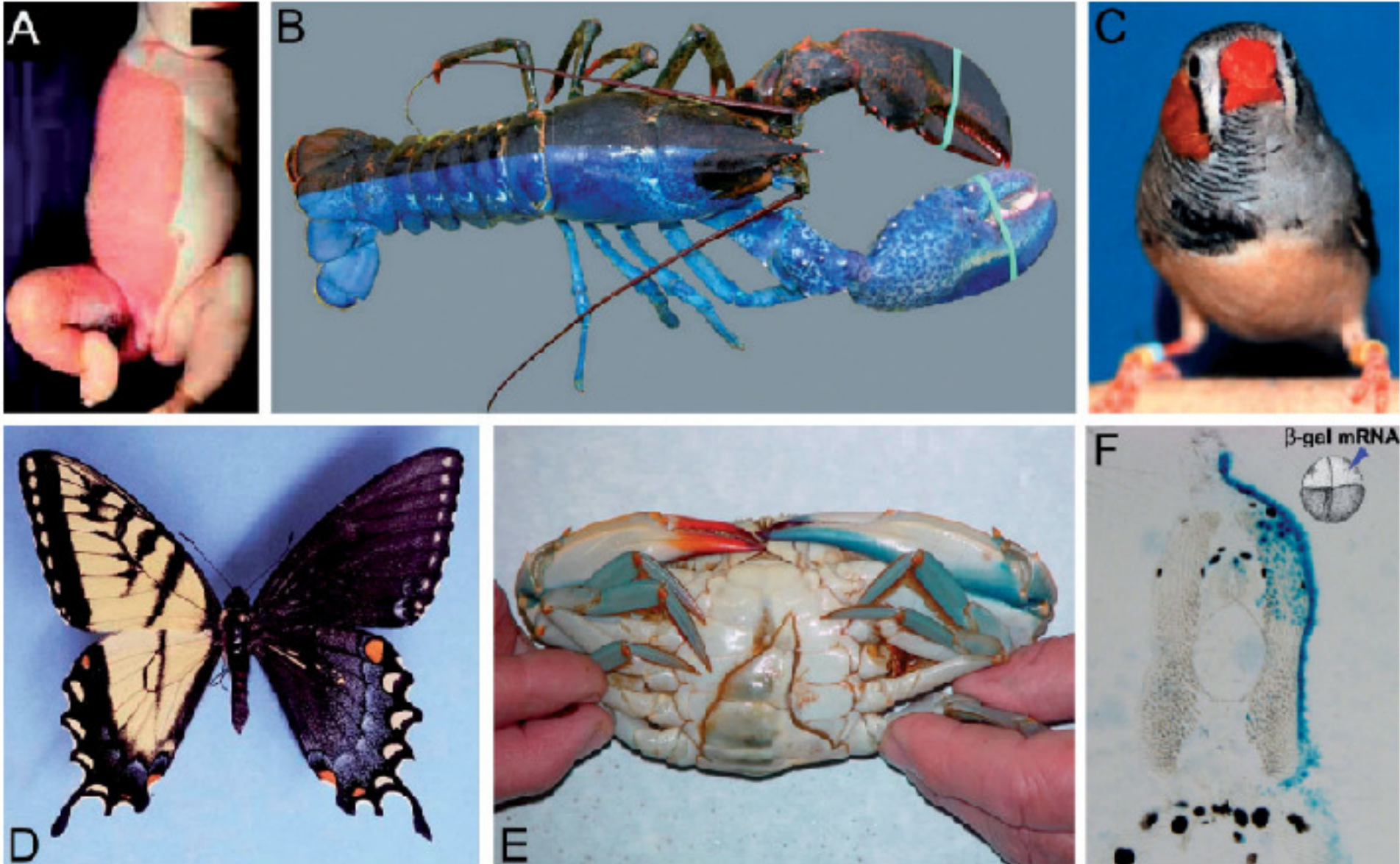
Si la cascade Nodal (notamment *lefty1*) joue un rôle dans la définition de ce plan, on ne sait pas ce qu'il en est plus tôt.

Or, les cas de **gynandromorphisme** suggèrent que le plan sagittal est mis en place très tôt :

Le gynandromorphisme provient généralement chez des individus XX, de l'élimination d'un X chez une cellule fille lors de la première division.



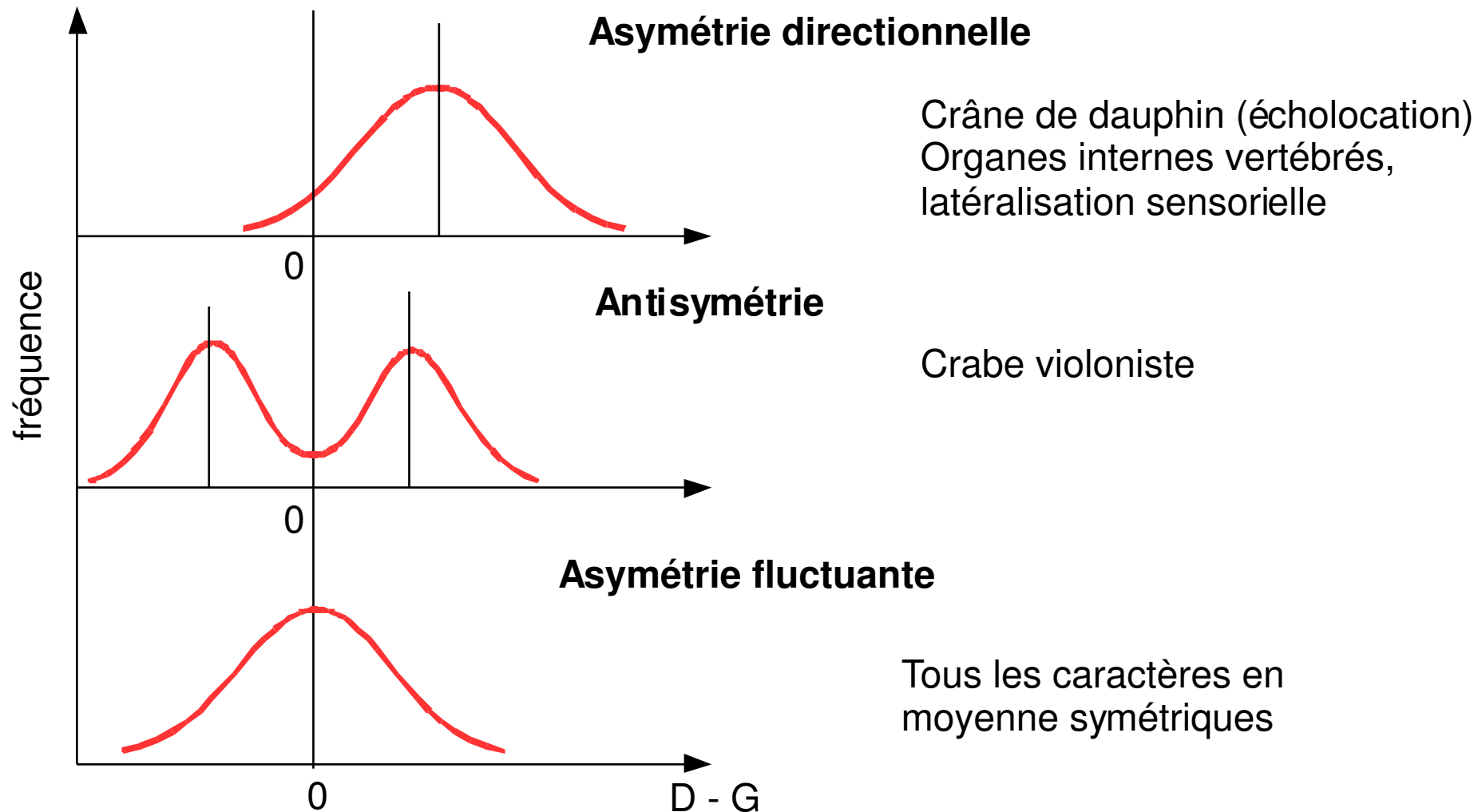
# Le plan sagittal : une réalité?



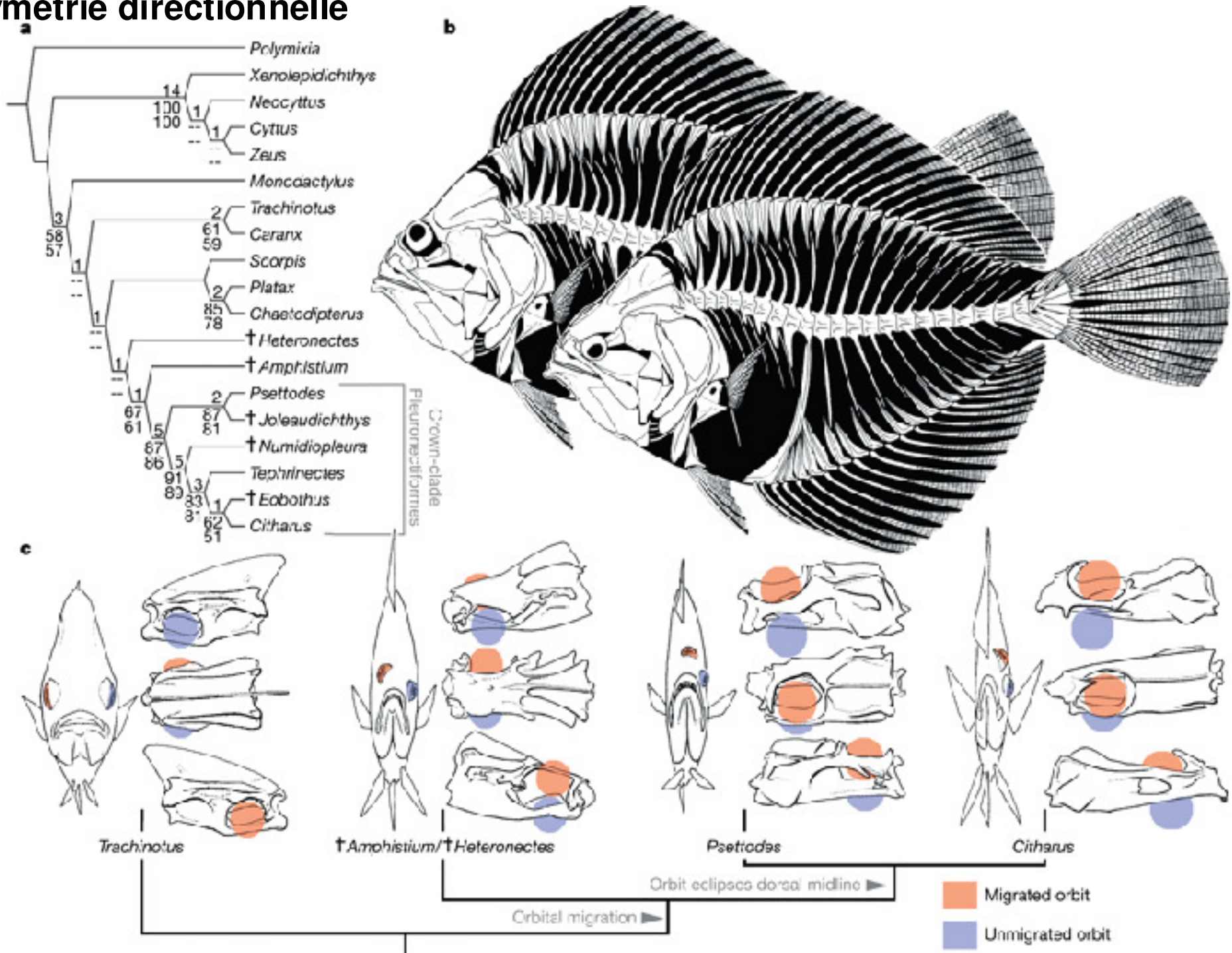
## 2 – les différents types d'asymétrie macroscopique : asymétrie directionnelle, antisymétrie et asymétrie fluctuante

= Paramètres populationnels

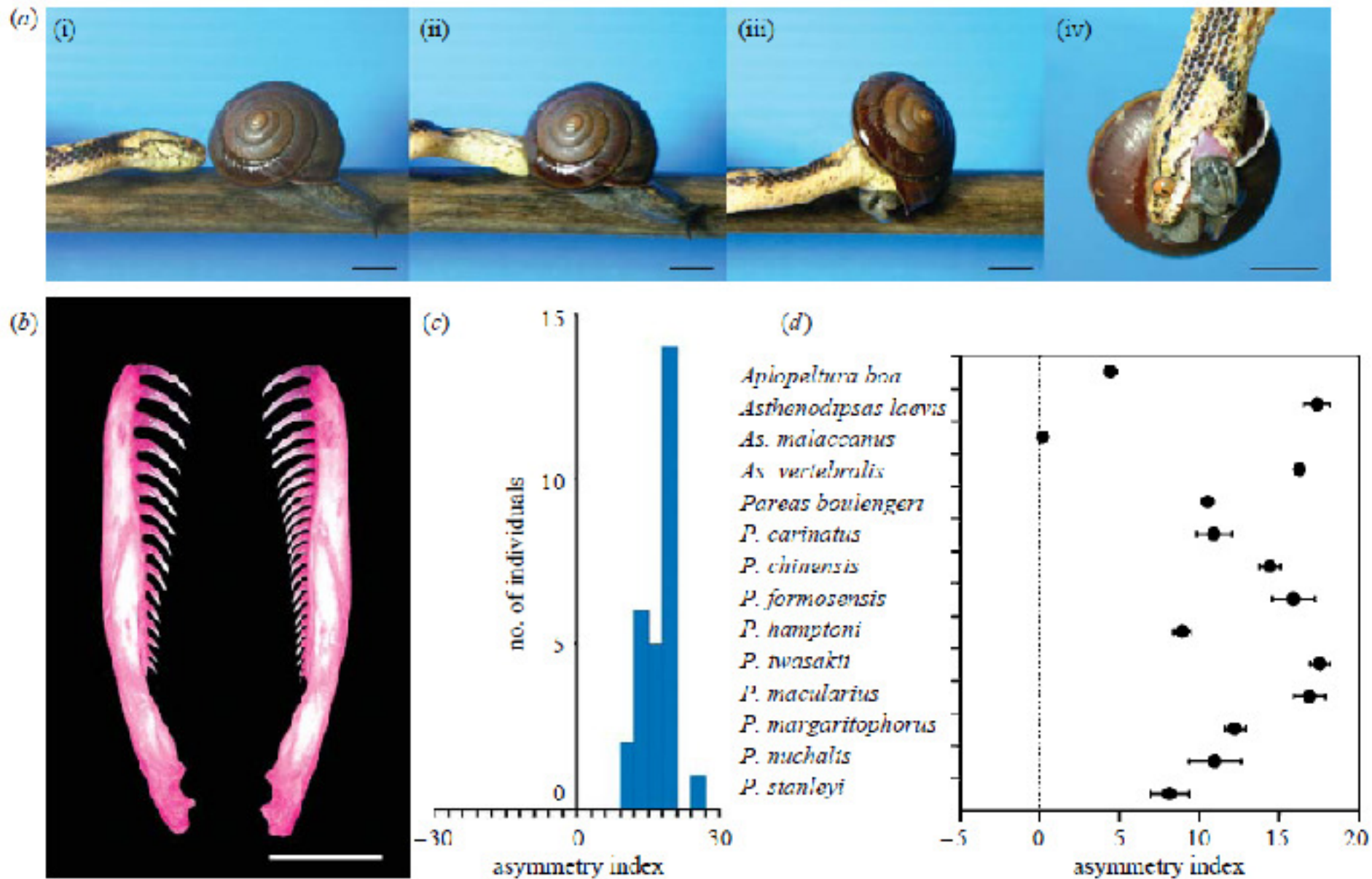
Mesure individuelle d'asymétrie :  
valeur droite – valeur gauche (D - G)



# Asymétrie directionnelle



# AD adaptative : le cas des serpents droitiers



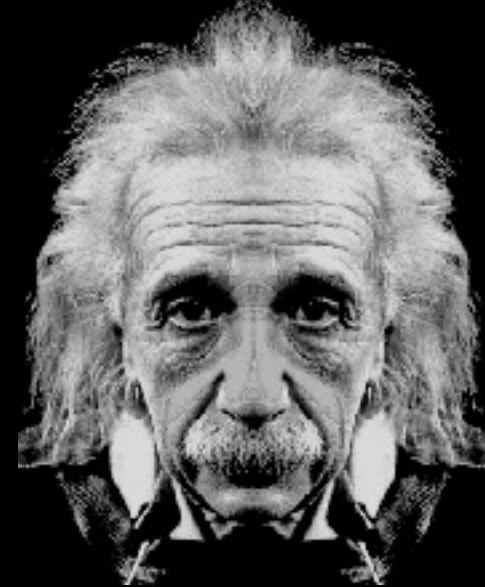
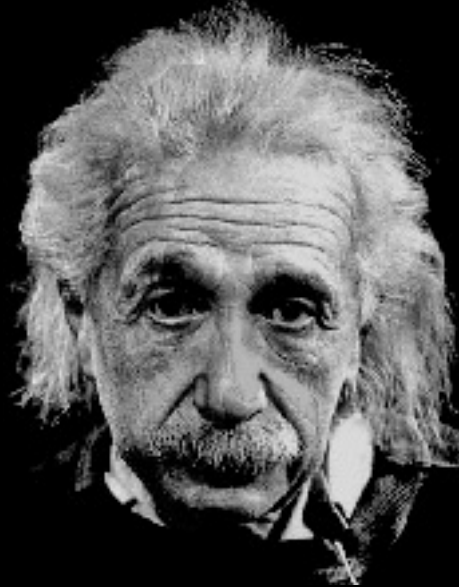
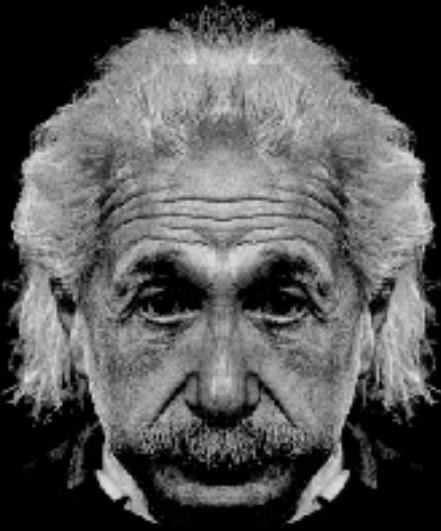


**Antisymétrie**



Photo by Artour (on Flickr)

Asymétrie fluctuante : Même génotype, même environnement

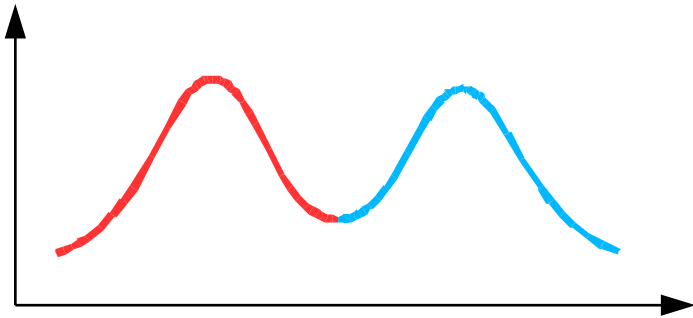


### 3 – Evolution de l'asymétrie : un exemple d'assimilation génétique?

Palmer *Science* 2004

Dans tous les exemples d'asymétrie directionnelle, la phylogénie montre que l'état ancestral est l'antisymétrie.

Or, la sélection artificielle, chez des groupes antisymétriques, ne donne pas de résultat.

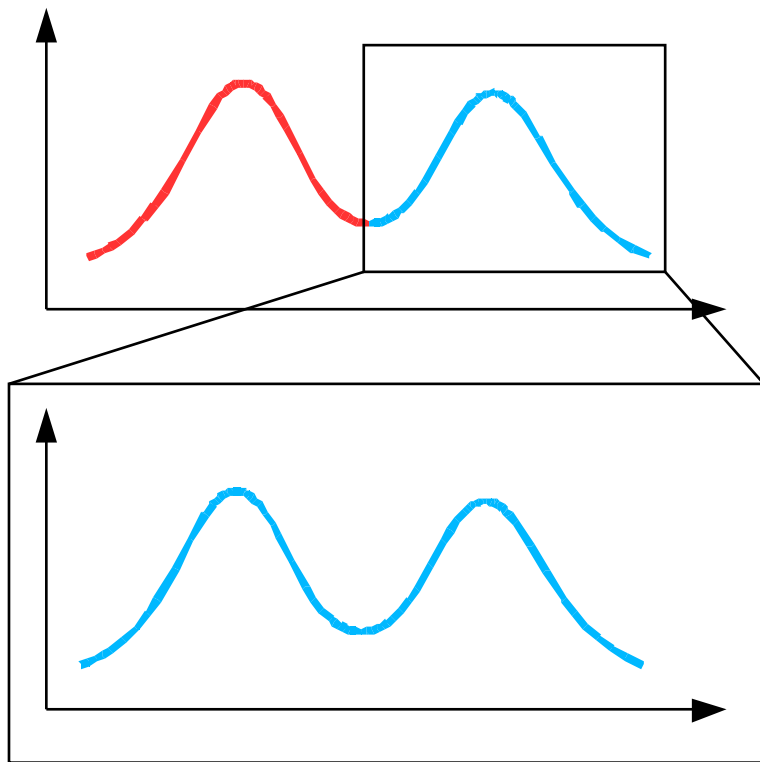


### 3 – Evolution de l'asymétrie : un exemple d'assimilation génétique?

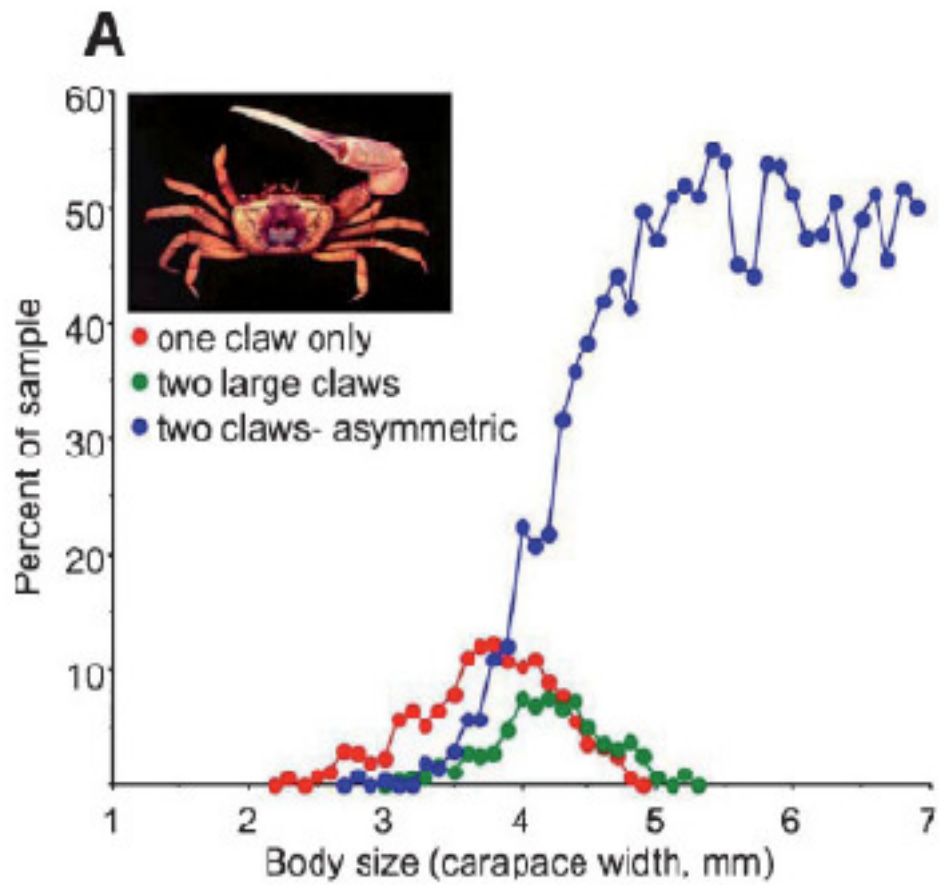
Palmer *Science* 2004

Dans tous les exemples d'asymétrie directionnelle, la phylogénie montre que l'état ancestral est l'antisymétrie.

Or, la sélection artificielle, chez des groupes antisymétriques, ne donne pas de résultat.

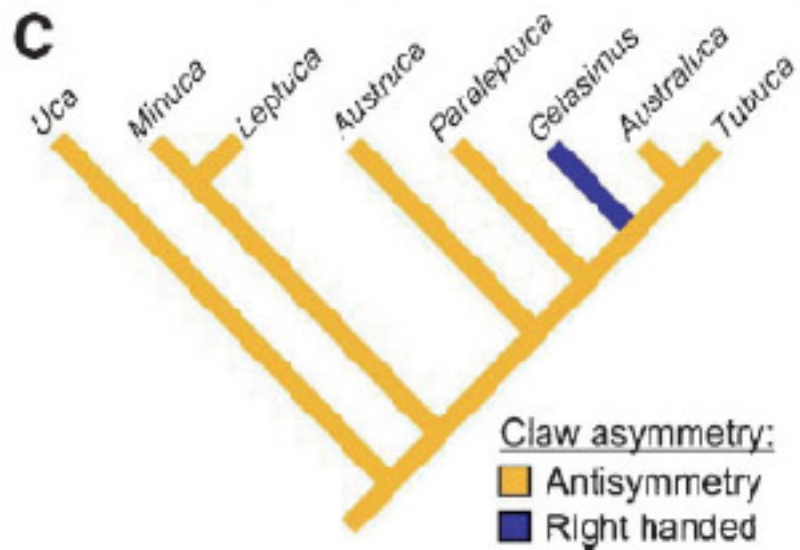


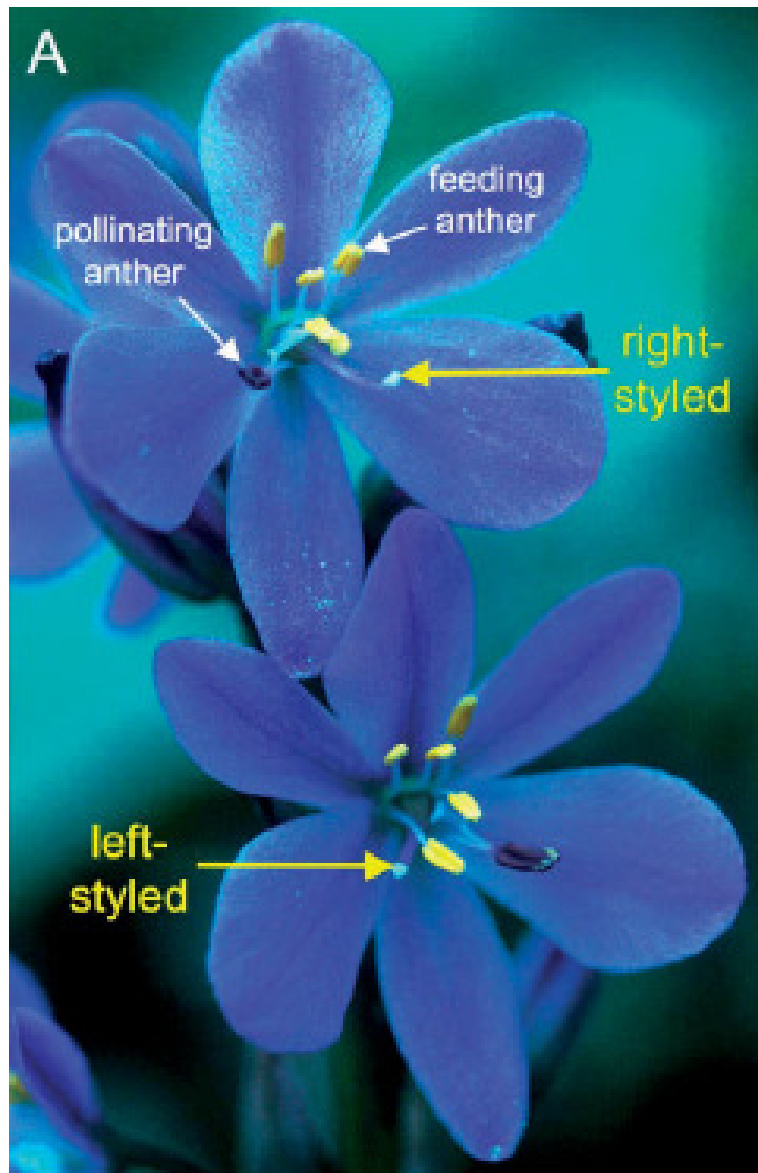
Cela suggère que la fixation de l'orientation de l'asymétrie (le passage AS à AD) se fait d'abord par une détermination environnementale, qui est ensuite fixée génétiquement : Il s'agit donc d'assimilation génétique.



**B**

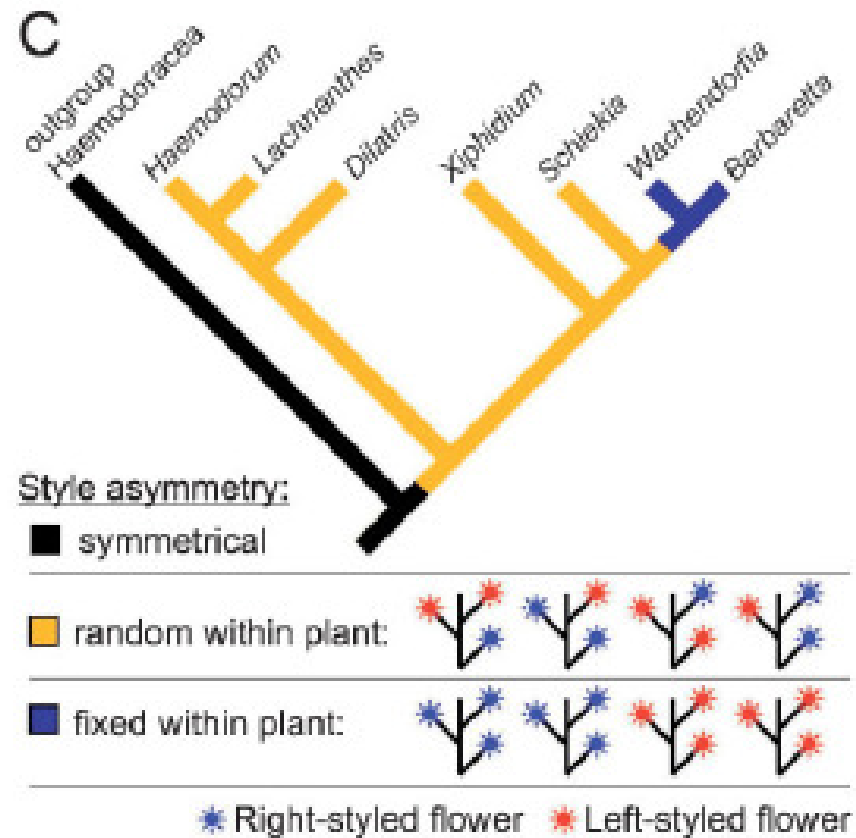
Treatment	Body size when claw was removed	Final side of large claw		
		Left	Right	Neither
Right cheliped removed	megalopa	33	0	0
	1.3 - 2.9 mm	284	0	0
	3.0 - 4.5 mm	72	1	1





**B** Direction of style bend in F2

	Cross number						
in F2	1	2	3	4	5	6	total
left	0.26	0.27	0.22	0.22	0.17	0.25	0.24
right	0.74	0.73	0.78	0.78	0.83	0.75	0.76
N	34	62	27	81	18	20	242



## 4 – Asymétrie fluctuante, stress et fitness : « symmetry is beauty »?

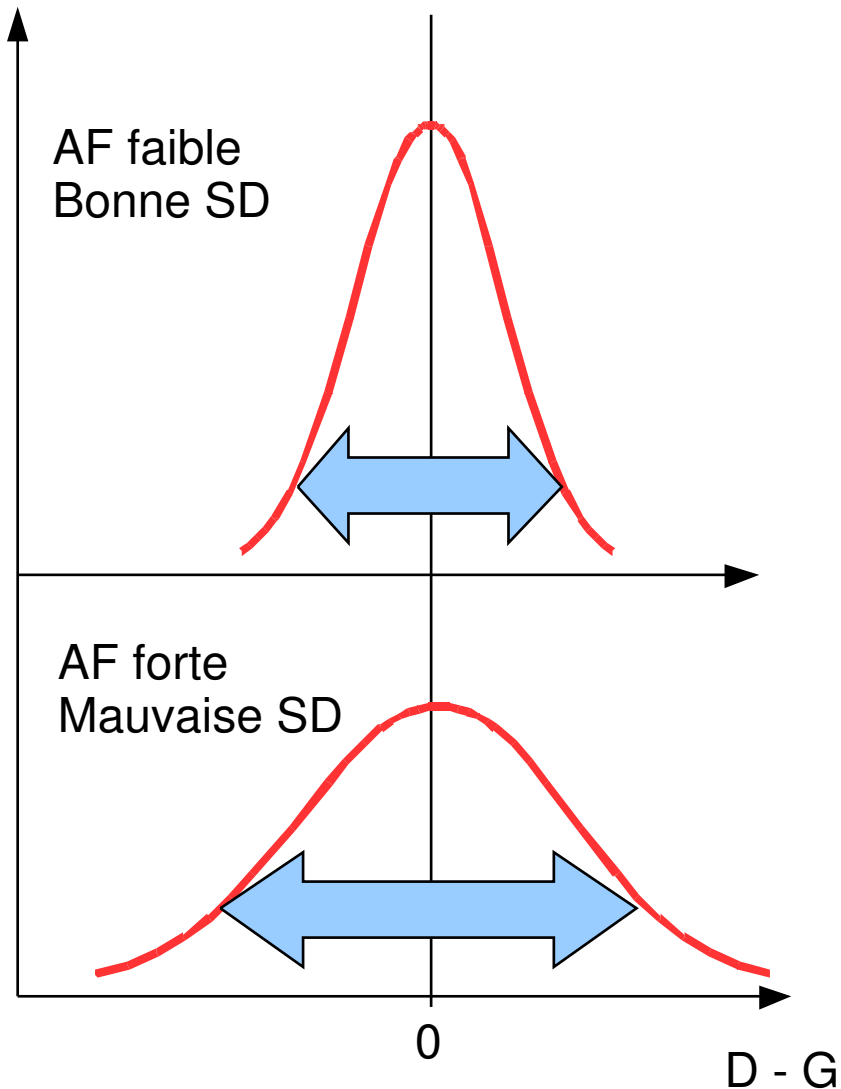
AF: marqueur de l'équilibre stabilité de développement – erreurs aléatoires



Photo courtesy N. Gompel

Mêmes gènes, même environnement.  
Différences = erreurs aléatoires de développement non corrigées par la  
stabilité de développement

## AF = variance de la distribution D – G, estimateur de SD



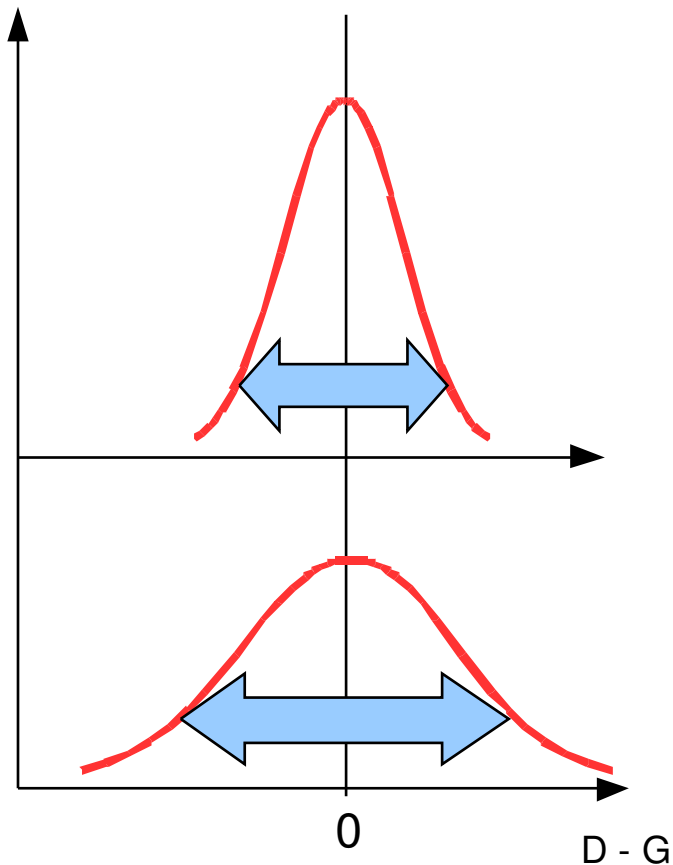
Cette variance est plus ou moins importante :

- (1) Soit + d'erreurs de développement
- (2) Soit – bon contrôle du développement  
(soit les deux)

Si on considère que la 2) est juste,  
**qu'est-ce qui peut affecter la stabilité de développement??**

**Conditions environnementales et/ou  
génétiques stressantes**

## Relation stress/AF/Fitness



**Stress environnemental** : conditions environnementales inhabituelles, éloignées des conditions optimales

Coût comportemental, énergétique, développemental pour s'adapter.

L'énergie utilisée se fait au dépend de la précision du contrôle développemental : augmentation de l'AF!

**Stress génétique** : des conditions génétiques comme la consanguinité ou au contraire l'hybridation ont été associées à une augmentation de l'AF.

*Consanguinité* : mutations délétères homozygotes

*Hybridation* : rupture de coadaptation génomique

**Dans tous les cas, l'augmentation d'AF est supposée accompagner (résulter? Générer?) une baisse de fitness**

# L'asymétrie fluctuante, marqueur de fitness?

Biologie de la conservation – Sélection sexuelle

**Conservation** : estimateur bon marché de « l'état de santé » d'une population...

**Sélection sexuelle** : Hypothèse : les mâles les plus '*fit*' sont les plus symétriques = '*good genes hypothesis*'.

Les femelles vont choisir les plus symétriques. => Les mâles vont développer des ornements qui leur permettent de montrer leur symétrie...

Problème majeur de cette hypothèse : Pour que l'AF soit un bon indicateur de la condition génétique, elle doit être héritable (en même temps que ces « bons gènes »).



Photo: Hannes Mitchell

Or l'héritabilité de l'AF est... pour le moins faible!

## AF et sociobiologie



Evolution and Human Behavior 24 (2003) 113–117

Evolution  
and Human  
Behavior

### Fluctuating asymmetry and romantic jealousy<sup>☆</sup>

William M. Brown\* – Chris Moore



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Intelligence 35 (2007) 41–46

INTELLIGENCE

### Fluctuating asymmetry and intelligence

Timothy C. Bates\*

*Apim Behav*, 1995, **50**, 1601–1615

### Human female orgasm and mate fluctuating asymmetry

RANDY THORNHILL<sup>+</sup>, STEVEN W. GANGESTAD<sup>†</sup> & RANDALL CÔMER<sup>‡</sup>

*\*Department of Biology, University of New Mexico*

*ity of New Mexico*

*since 16 January 1995,  
number A7105)*

*Arch Sex Behav* (2008) 37:150–157

DOI 10.1007/s10508-007-9256-2

ORIGINAL PAPER: MINOT SPECIAL ISSUE

## Fluctuating Asymmetry and Sexual Orientation in Men and Women

© 2008 Springer Science+Business Media B.V.

## 5 – bases génétiques de l'asymétrie fluctuante

Héritabilité nulle, ou presque (Controverse vive, fraude scientifique?)

Recherche de QTL : nombreux QTL interagissant de manière épistatique

Seul gène identifié = Notch, chez la droso... '*Lucila story*' (Clarke 1998)

### *Lucila story*

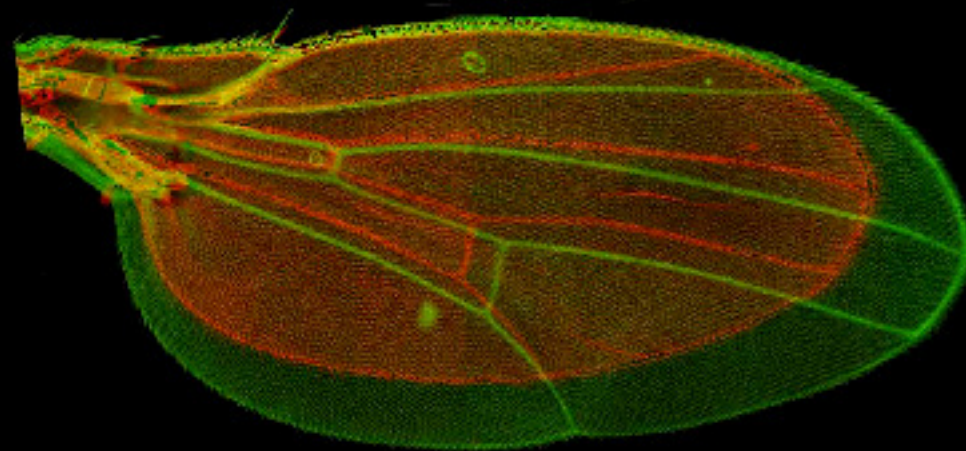
---

- **Lucilie bouchère = sale bête**
- Traitement par insecticides
- Résistance aux insecticides => AF
- Certaines souches résistantes récupèrent des niveaux d'AF normaux.
- Analyse génétique = restauration de la symétrie due à un gène homologue de Notch chez la droso...

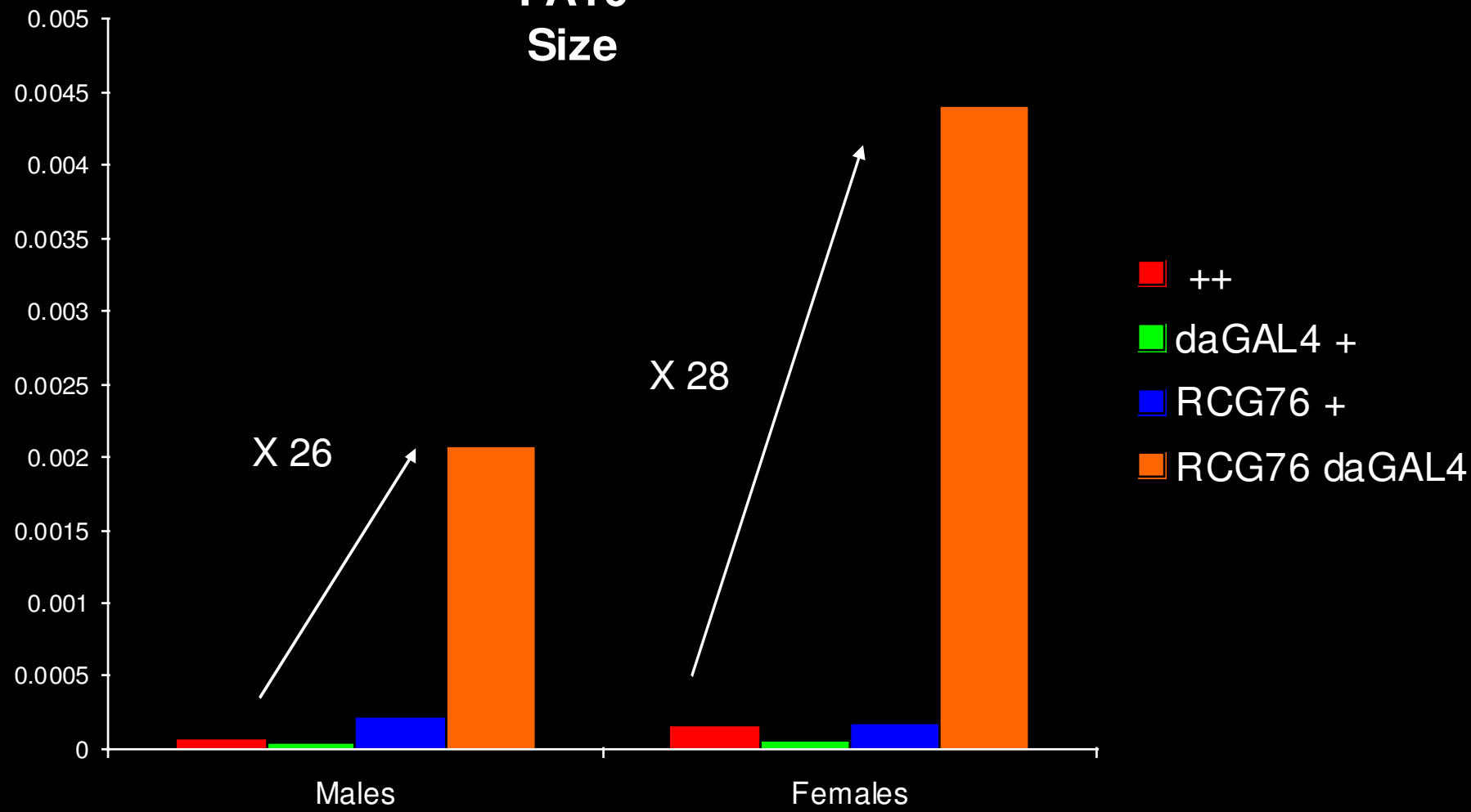


# Cycline G et asymétrie fluctuante

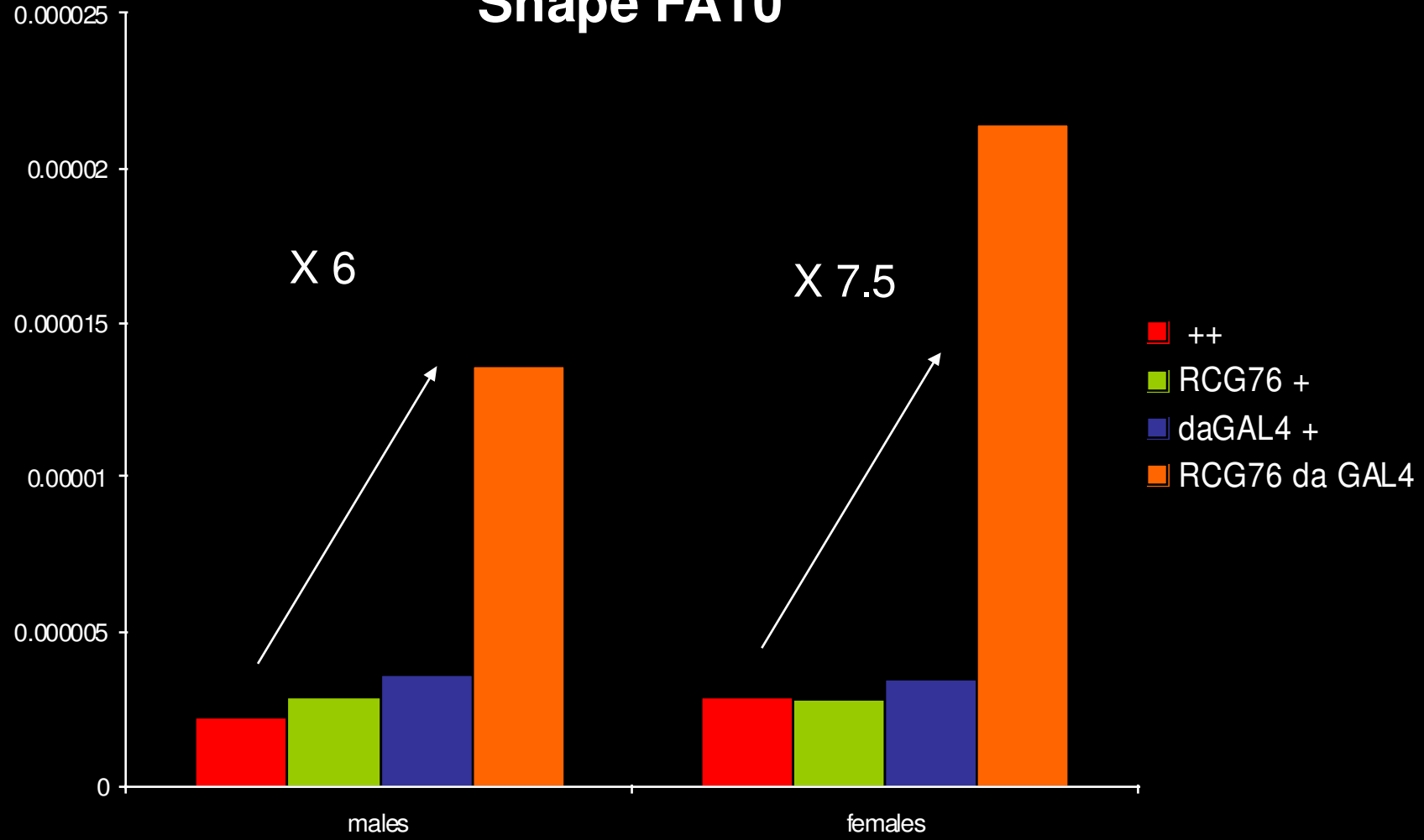
Debat V., Bloyer S., Peronnet F. et J. Deutsch



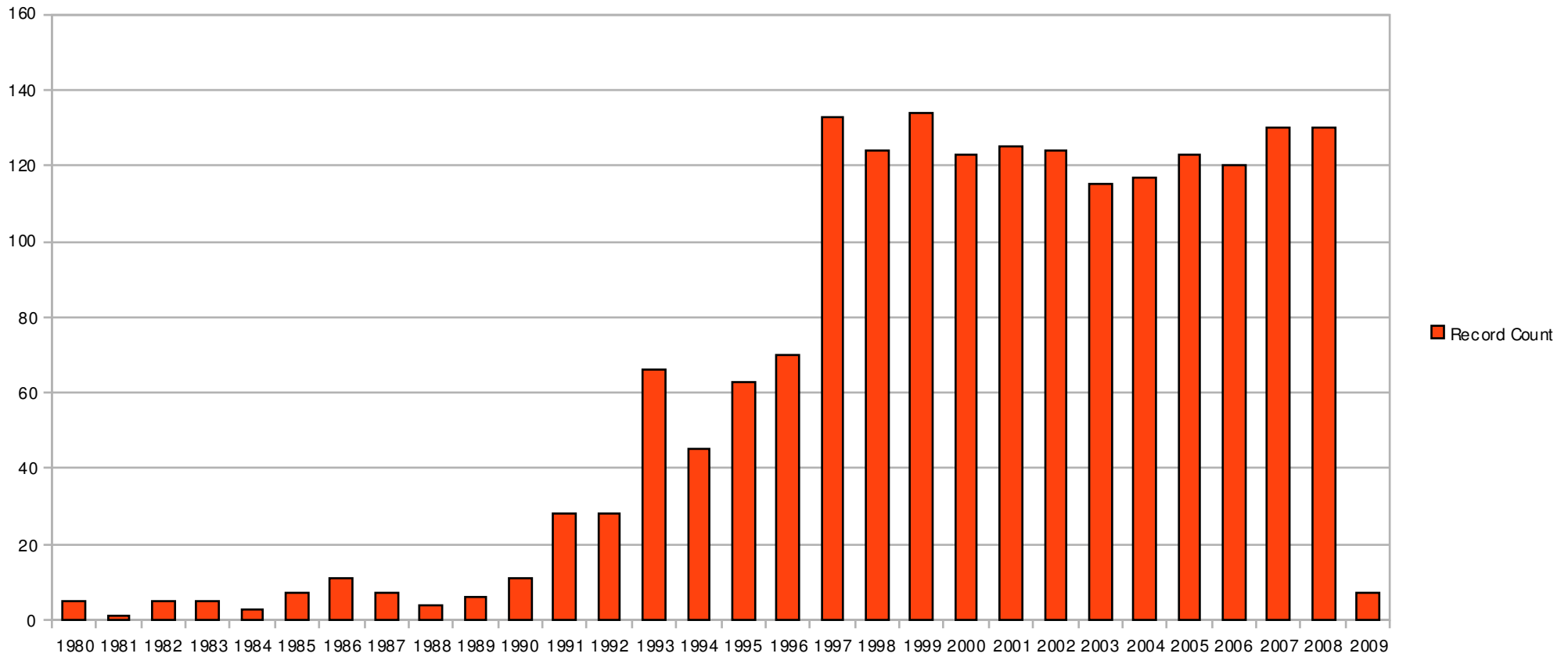
# FA10 Size



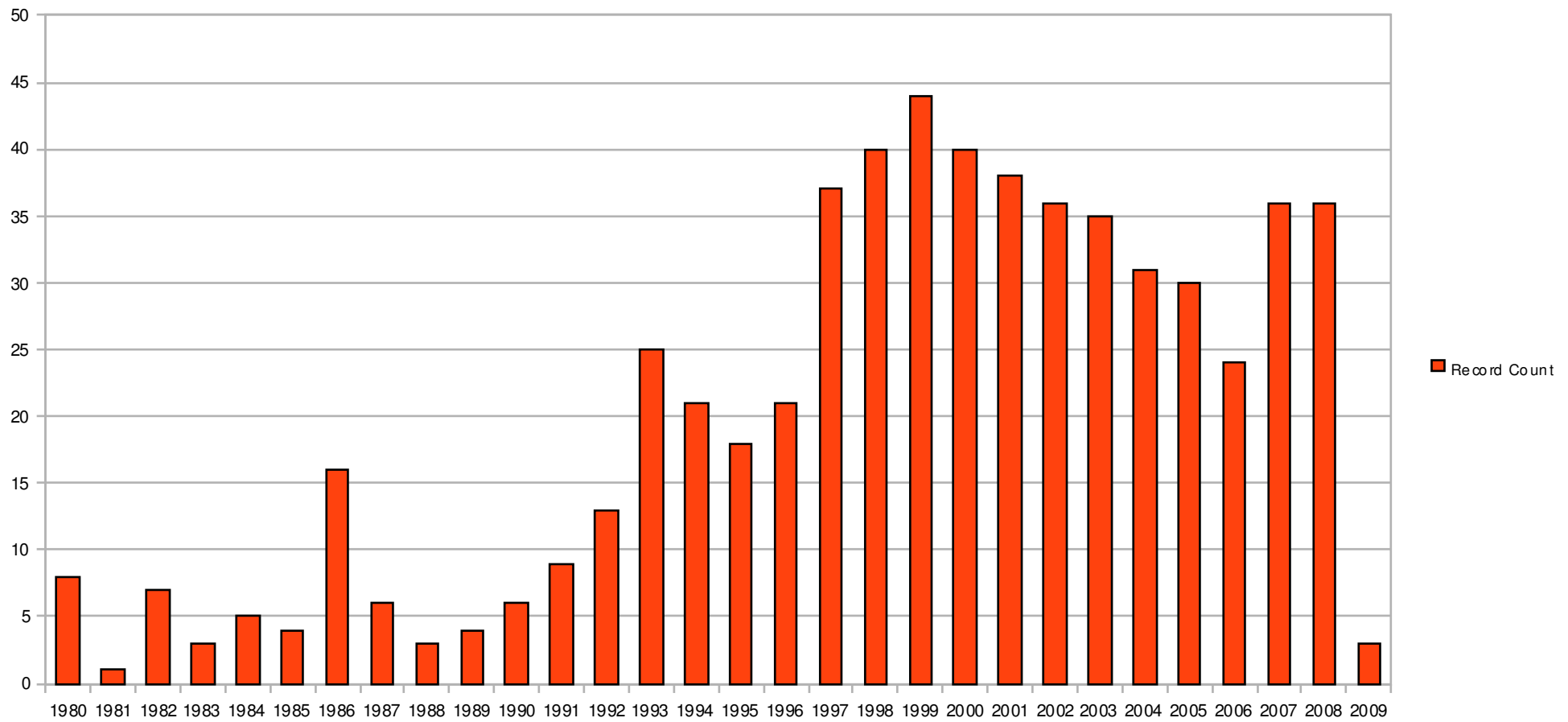
# Shape FA10



## Nombre de publications avec « asymétrie fluctuante » comme « topic »



## Nombre de publications avec « asymétrie fluctuante » dans le titre



L'asymétrie : comment faire un *Nature* en partant en vacances...  
(Güntürkün, 2003)

## brief communications

# Adult persistence of head-turning asymmetry

A neonatal right-side preference makes a surprising romantic reappearance later in life.

A preference in humans for turning the head to the right, rather than to the left, during the final weeks of gestation and for the first six months after birth<sup>1,2</sup> constitutes one of the earliest examples of behavioural asymmetry and is thought to influence the subsequent development of perceptual and motor preferences by increasing visual orientation to the right side<sup>3,4</sup>. Here I show that twice as many adults turn their heads to the right as to the left when kissing, indicating that this head motor bias persists into adulthood. My finding may be linked to other forms of sidedness (for example, favouring the right foot, ear or eye) that do not become established until long after the newborn head-turning preference has disappeared<sup>5,6</sup>.

I observed kissing couples in public places (international airports, large railway stations, beaches and parks) in the United States, Germany and Turkey. The head-turning behaviour of each couple was recorded for a single kiss, with only the first being counted in instances of multiple kissing. The following criteria had to be met to

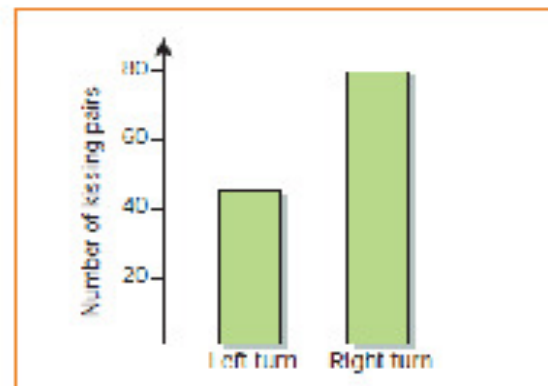


Figure 1 The number of couples who turn their heads to the right rather than to the left when kissing predominates by almost 2:1 (74.5%: 25.5%;  $n = 124$  couples).

example, if the individual bias is also 2:1 to the right and if couplings are random, then four of nine pairs would be right kissers, one of nine would be left kissing, and four of nine would be mixed: if choice is random in the last group (that is, two of these four pairs are right-turning and two are left-turning), the result for the nine couples would be a right turn kissing bias in six of them. This presumed 2:1 distribution for individuals thus predicts the observed 2:1

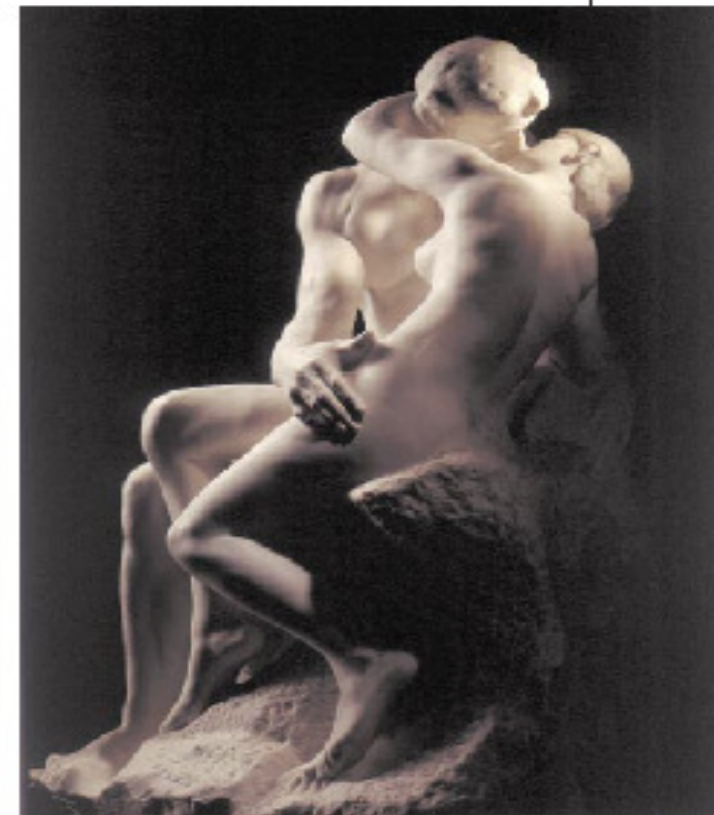


Figure 2 *The Kiss*: the couple in Auguste Rodin's masterpiece are turning their heads to the right to kiss each other

## Références:

Site de A. Richard Palmer <http://www.biology.ualberta.ca/palmer/palmer.html>

Levin and Palmer 2007. Left-right patterning from the inside out : widespread evidence for intracellular control. *BioEssays* 29.3

