

La locomotion chez les Arthropodes.

Connaître les mécanismes de la locomotion permet de comprendre les origines d'un groupe animal: tout ancêtre supposé devra fonctionner de la même façon. La locomotion nécessite toujours un système squelettique transmettant une force générée par l'activité musculaire. Chez les arthropodes, c'est l'exosquelette associé à la musculature qui remplit ce rôle.

I\ L'exosquelette et l'appendice locomoteur.

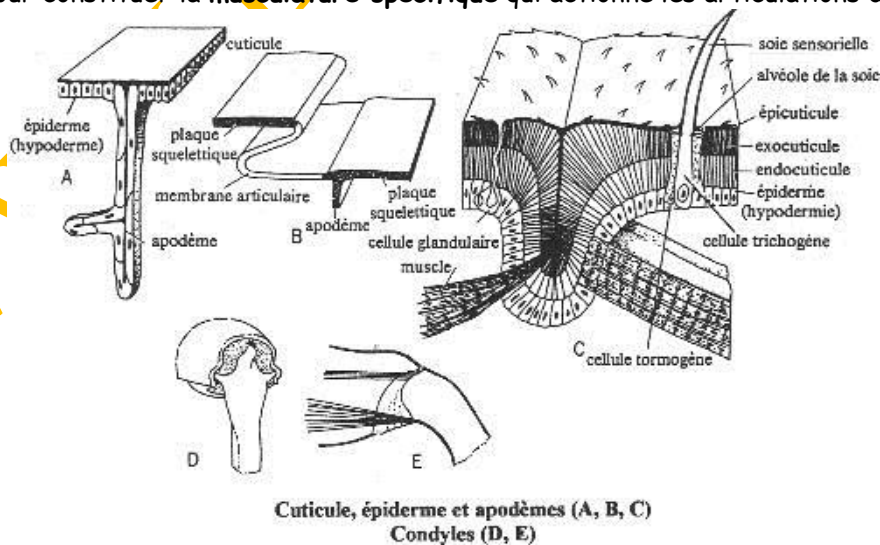
A\ L'exosquelette.

L'exosquelette permet d'avoir des **appendices articulés** : les arthropodes ont un avantage locomoteur sur tous les animaux vermiformes, d'où, leur succès écologique. Ce squelette procure la **rigidité nécessaire au mouvement**. Il fournit les **points d'appuis pour les mouvements de leviers** et fournit des points d'ancrage pour les muscles.

Les appendices permettent le **déplacement de l'animal sans avoir à utiliser toute la musculature**, comme chez les animaux à squelette hydrostatique type annélides.

Chez les **insectes ptérygotes**, la **cuticule donne les ailes**, ce qui permet un **déplacement sur de grandes distances**. Par exemple, certaines libellules sont capables de traverser la méditerranée.

La **paroi du corps** comprend la **cuticule**, l'**épiderme** et une **membrane fondamentale**. Toutes les **couches musculaires circulaires, diagonales des annélides se sont transformées** et se sont dispersées pour constituer la **musculature spécifique** qui actionne les articulations du corps.



La cuticule est formée de **trois couches** :

- La couche externe ou épicuticule. Cette couche est **très fine, imperméable, inextensible**, constituée de **lipoprotéines associées à des cirres et des composés phénolés limitant les pertes d'eau**.

- La couche moyenne ou exocuticule. Cette couche est souvent pigmentée et forme des plaques squelettiques (les sclérites) qui sont constituées de scléroprotéines associées à de la chitine.
- La couche interne ou endocuticule. Cette couche est continue, flexible et forme les membranes articulaires entre deux sclérites successives. Elle est essentiellement composée de chitine associée à des polysaccharides.

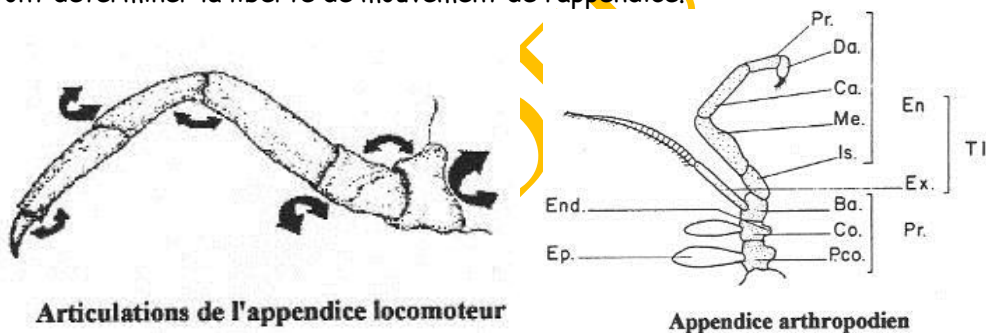
Il existe également des structures fines aux endroits où l'épiderme s'invagine en formant des apodèmes.

Les sutures mobiles pourront montrer deux types d'adaptation. Les sclérites protecteurs se chevauchent alors que l'endocuticule forme une membrane articulaire repliée vers l'intérieur du corps. L'articulation des appendices est différente : s'il n'y a qu'un repli de l'endocuticule, tout le poids du corps reposerait sur une structure fragile : la surface d'articulation va être renforcée par des points de contact → les condyles.

Face aux condyles, la membrane articulaire (plus souple) assure la jonction entre les deux éléments squelettiques. La membrane ne sert qu'à refermer les espaces entre les deux articles.

B\ Les appendices locomoteurs.

Les articulations des pattes comprennent entre un et trois condyles. Leur forme et leur position vont déterminer la liberté de mouvement de l'appendice.



Sur l'ensemble de l'appendice, les articulations ne permettent que des mouvements de flexion et d'extension : ce sont des mouvements de type charnière. Seule l'articulation de la base est capable de rotation ; elle est responsable du mouvement vers l'avant.

Le corps des arthropodes est suspendu entre les appendices ; la marche n'implique ni élévation ni abaissement du centre de gravité. Les muscles qui animent les appendices sont situés à l'intérieur du corps.

La structure est uniforme. L'appendice est constitué d'une série d'articles qui s'affinent en allant vers l'extrémité. Les articulations fonctionnent chacune comme une charnière mais sont orientées dans des plans différents. Ce système permet à l'extrémité de l'appendice de se déplacer dans toutes les directions.

L'appendice est biramé ; il comporte une région basale : le protopodite. Cette région est constituée de trois articles : le pré-coxa, le coxa et le basis.

On retrouve ces trois articles chez les crustacés mais les insectes ne conservent que le basis qui sera appelé « la hanche ». Dans ce cas, on suppose que les deux articulations précédentes se sont intégrées au pleurite.

A partir des protopodites se sont développés des expansions, les épipodites, à rôle surtout respiratoire.

Ensuite on trouve une *rame externe*, l'*exopodite*, qui prend une *fonction respiratoire* en se transformant en *branchies*. Cette expansion n'existe **que chez les crustacés et les trilobites**.

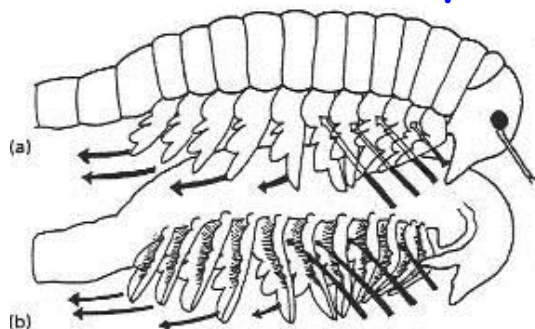
Finalement, on a une *rame interne*, l'*endopodite*, qui est composée de **cinq articles** :

- | | | |
|-------------|---|--------------------|
| - Ischion | } | Articles proximaux |
| - Meros | | |
| - Carpos | } | Articles distaux |
| - Propodos | | |
| - Dactylos. | | |

Chez les *insectes*, le *propodos* forme le *tarse* et se divise en *plusieurs articles*.

II\ La locomotion chez les crustacés.

A\ Les crustacés primitifs.



Nage des Crustacés primitifs (Céphalocarides, Branchiopodes).

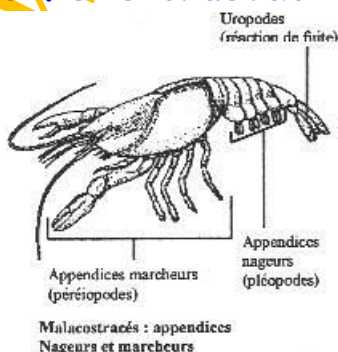
L'appareil locomoteur agit comme une **pagaie** et la surface présentée à l'eau est maximale à l'impulsion et minimale au reploiement.

La *nage* est favorisée par la *contraction* des *espaces* formés entre les *appendices*. L'eau est aspirée entre les *appendices* dans la *région antérieure* puis est expulsée latéralement dans la *région postérieure*. Le *mouvement d'eau* est *unidirectionnel* et ne peut s'inverser car, une fois que l'eau est aspirée dans la *région antérieure*, les **exopodites** (externes) vont jouer un rôle de *valve*.

Les *particules* sont captées au passage par les *soies* de l'*endopodite* ; elles passent ensuite vers une **gouttière médio-ventrale**, puis sont **dirigées vers la bouche**.

→ Les *appendices* servent à la fois à la *locomotion* et à la *nutrition* : ils ne sont que peu *spécialisés*. Les crustacés sont *uniquement nageurs*.

B\ Les crustacés supérieurs : les malacostracés.



Chez ces crustacés, on observe le *passage* à la *marche benthique*, ils conservent quand même une *capacité à nager*. Ils conservent à la fois des *appendices marcheurs thoraciques* (les **péréiopodes**) et des *appendices nageurs* (les **pléopodes**).

Une *tendance évolutive* peut conduire à une *réduction*, voir même une *perte*, de la *capacité à marcher* : c'est le cas des **Eucarides**. D'autres espèces peuvent *perdre la capacité à nager*, par *réduction ou disparition des pléopodes* : cas chez les **décapodes Brachyours** (crabe) et les **Macroures** (langouste).

Chez les *macroures*, les **pléopodes** sont **réduits** et ne peuvent pas servir à la nage. Les animaux ont *développé une rame caudale, formée du pléopode 6 et du telson*. Un **retour brutal** de cette rame permet la réaction de **fuite vers l'arrière**.

Chez les *crabes*, l'*abdomen* est très *réduit*. Ces animaux *marchent sur le fond grâce à leurs péréiopodes*. Il y a quelques **exceptions** car certains crabes nageurs (genre *Callinectes*) ont *modifié la forme du péréiopode 5 qui devient aplati à son extrémité*. La nage est réalisée par la rotation de ces péréiopodes.

III\ La locomotion en milieu terrestre.

Les arthropodes sont plus denses que l'air et leur exosquelette va interagir avec le support. Les appendices supportent des forces de flexions orthogonales à leur axe et des forces de torsion qui agissent dans l'axe de l'appendice.

D'un point de vue physique, la structure qui supporte le mieux ces contraintes est un cylindre creux.

On reconnaît **trois types de locomotion** : la *marche*, le *saut*, le *vol*.

A\ La marche.

La **marche** implique une **rotation axiale de l'appendice**, réalisée par l'*article basal* (hanche). On distingue **quatre phases** :

- **Élévation** de l'appendice.
- Mouvement **vers l'avant**.
- **Abaissement**.
- **Rétraction** vers l'arrière du corps (*l'extrémité de la patte reste en contact avec le sol*). L'animal *se déplace en avant de ce point fixe*.

C'est le jeu des diverses articulations de l'appendice qui maintient le corps à la bonne hauteur.

Chez les *myriapodes*, on distingue les *Diplopodes*, herbivores (mille-pattes) et les *Chilopodes*, carnivores (Scolopendre).

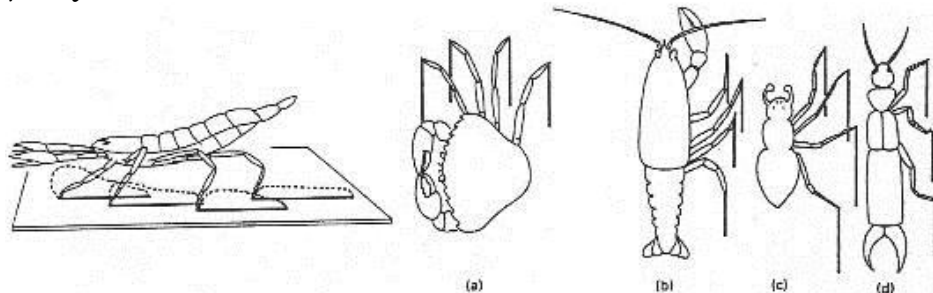
Chez les **diplopodes**, il y a un **grand nombre d'appendices courts**, chacun entrant vers l'avant juste après celui qui le précède. Il se forme une **onde locomotrice** dirigée vers l'avant, qui *ne déplace qu'une patte à la fois*. Ce mécanisme ne permet qu'une **locomotion très lente** car une force assez importante s'exerce vers la patte antérieure pour obtenir une vitesse faible. Le type de locomotion convient à ces animaux herbivores qui vivent souvent dans le bois en décomposition ou dans la terre meuble.

Les **chilopodes** (prédateurs actifs), *doivent être capables d'une grande vitesse de déplacement*. *Plus la vitesse augmente, plus le nombre d'appendices en contact avec le sol va diminuer et les ondulations du corps s'amplifient*. Le but des ondes est d'*accroître l'enjambée*. Ce type de locomotion demande une **grande dépense énergétique** vu que le corps est mis en jeu. Le problème est résolu par l'accroissement de la longueur des pattes et par la réduction du nombre de pattes. C'est une tendance évolutive très marquée chez les arthropodes.

Les crustacés décapodes ont cinq paires de péréiopodes mais 3 ou 4 servent à la marche. Les autres sont transformés en pinces.

Les arachnides ont quatre paires de pattes. Les insectes ont trois paires.

La trajectoire de chaque appendice est différente pendant la marche et ces trajectoires ne se recoupent jamais.



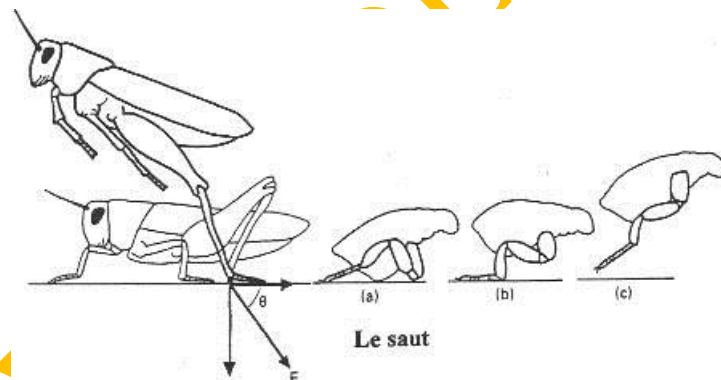
Trajectoire des appendices chez divers Arthropodes

Moins il y a de pattes, plus il est difficile d'obtenir la stabilité.

Chez les hexapodes, la séquence de marche fait qu'il y a **toujours trois pattes en contact avec le sol**, formant ainsi un **trépied**. Le centre de gravité de l'insecte se projette toujours dans le triangle formé par les extrémités des pattes.

Les crabes se déplacent latéralement. La traction est réalisée par les articulations inférieures de l'appendice.

B\ Le saut.



Certains insectes présentent une **adaptation au saut** qui est avant tout une **réaction de fuite**. Pour sauter, un insecte doit exercer une force sur le support afin d'obtenir une vitesse de décollage qui soit en accord avec sa masse.

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2 = m \times g \times h.$$

v est la vitesse au décollage, m est la masse de l'insecte.

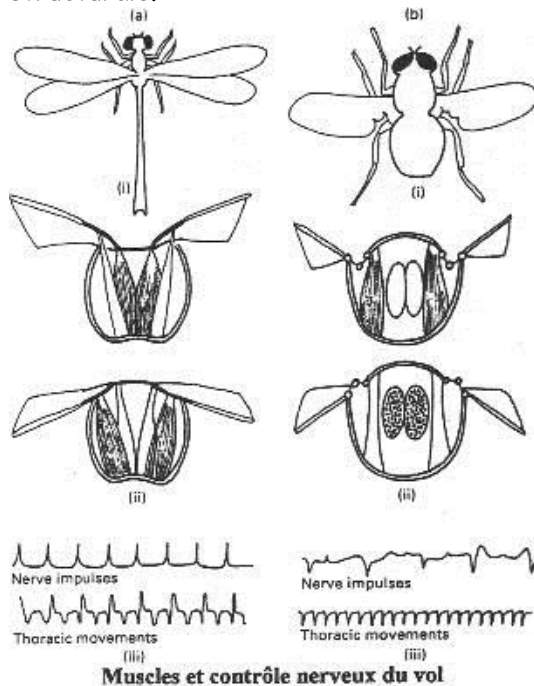
$$H = v^2 / 2g ; h = Ec / m \times g.$$

La force transmise aura une composante verticale et une composante horizontale. La résultante donne la direction du saut. **L'accélération continue tant que les pattes sont en contact avec le sol.** C'est pour cela que les insectes sauteurs ont des **pattes IIII allongées** ; elles augmentent le temps d'action de saut et contribuent à accroître l'accélération.

C\ Le vol.

La cuticule va jouer un rôle important, elle comprend les propriétés idéales pour former une aile.

C'est toujours une **membrane fine**, à la fois **légère et flexible**, supporté par des **nervures chitinisées**. Les *insectes ailés* sont des **ptérygotes**. On distingue deux types d'adaptation structurale.



Chez les formes primitives comme les Odonates (Libellules), les ailes sont animées par des **muscles directs** : ils sont directement **rattachés à la base des ailes**. Il existe une relation entre les impulsions et les mouvements d'air : **une contraction provoque un battement**. On observe entre 20 et 40 battements par seconde, le **contrôle nerveux étant synchrone**.

Chez les formes évoluées (la majorité), le mouvement des ailes est obtenu par l'action de **muscles indirects** qui vont s'attacher aux **sclérites thoraciques**. Ces muscles changent la forme du thorax, ce qui provoque les battements. Les ailes sont articulées sur le thorax. Le moustique peut atteindre **2 218 battements par seconde**. Les muscles jouent sur les propriétés élastiques du thorax. Le **contrôle nerveux est asynchrone**. Une contraction déclenche donc plusieurs battements.

Le mécanisme du vol.

Le vol est induit par des **flux d'air**, générés par les battements d'ailes. Les battements induisent des **vortex** (masses de fluide en rotation annulaire). Le vortex est ensuite rejeté vers l'arrière avec une direction donnée et libère de l'énergie.

Le battement des ailes génère la circulation de l'air à partir de la surface ; l'air est rejeté vers l'arrière quand l'aile se replie ou simplement quand elle change d'inclinaison.

L'insecte est propulsé par la force de réaction qui résulte de l'expulsion du vortex.

Exemple des différentes phases de vol du décollage d'un papillon.

- 1- Les ailes sont accolées en position haute.
- 2 et 3- Les ailes s'écartent et une circulation d'air est induite sur le bord d'attaque et est dirigée vers la face dorsale.
- 4- La masse d'air accélère, ce qui aspire l'insecte qui décolle du support.
- 5 et 6- Les ailes atteignent la position basse et l'air en circulation est projeté vers le bas sous la forme d'un vortex qui va à la fois soutenir et propulser l'animal.

Les insectes capables de vol présentent un **avantage écologique** : ils se déplacent très **rapidement** sur de **grandes distances**. Ils pourront coloniser des aires très vastes. Certains acquièrent des **capacités de migration** (recherche de conditions favorables).