

The page features an abstract graphic design with three blue circles of varying sizes, each composed of concentric circles in different shades of blue. These circles are connected by thin blue lines that form a triangular shape. The largest circle is at the top right, a medium one in the center, and a large one at the bottom right. The text is positioned on the left side of the page.

# La toile d'araignée

T.P.E. 2007-2008

Aujourd'hui, la toile d'araignée et plus particulièrement sa soie est étudiée en détails afin de la reproduire à des fins industrielles.

**DARRIGRAND Jean-François**

**GHEBALI Sacha**

**RIGAL Antoine**

**TO Florent**

## PLAN

**Problématique : Pourquoi l'homme s'intéresse-t-il à la toile d'araignée et à la soie qui la compose ?**

### Introduction :

- 🌀 Présentation du T.P.E. et de la problématique p.4
  
- I. **L'araignée : animal producteur de la soie**
  - A) La classe des arachnides p.5
  - B) L'ordre des aranéides p.5
  - C) Anatomie et morphologie de l'araignée p.7
  - D) Origines et production du fil de soie p.8
  
- II. **La toile**
  - A) Toiles géométriques composites p.15
    - modélisation flash p.16
    - étapes de construction
  - B) Toiles tridimensionnelles (ou irrégulières) p.19
  
- III. **La soie**
  - A) Description p.25
    - 🌀 Composition générale p.25
    - 🌀 Protéines la composant p.25
    - fibroïne sur RASTOP p.26
    - 🌀 Forme 3D p.27
  - B) Caractéristiques p.28
    - 🌀 Résistance/Résilience p.29
    - 🌀 Elasticité/Ductilité p.31
    - 🌀 Légèreté p.33
    - 🌀 Finesse p.33
    - 🌀 Mémoire de forme p.33
    - expérience du nickel-titane p.33
    - 🌀 Imputrescibilité/Propriété antiseptique p.33
    - 🌀 Adhésivité p.34
    - 🌀 Isolation thermique p.34
    - 🌀 Biodégradabilité p.34
    - 🌀 Supercontraction p.34
  - C) Application bionique p.34
    - 🌀 Historique de l'exploitation par l'Homme p.35
    - 🌀 Une production difficile... mise en suspens p.36
    - 🌀 Différents intérêts pour l'Homme dans l'avenir p.37

intéret de la soie

### Conclusion

Annexe p.39

Bibliographie & Contacts p.40

Lexique p.45

p.48

## Introduction

De nos jours, un important intérêt est porté à l'araignée et à sa soie du fait des caractéristiques très intéressantes découvertes chez cette dernière. Grâce à 400 millions d'années d'évolution et sous la diversité de ses 35 000 espèces, l'araignée a acquis une toile très résistante et élastique qui intéresse beaucoup la recherche et les différentes industries (militaires, textiles,...). Cette toile représente l'unique instrument de chasse des araignées tisseuses, leur seul moyen de survie.

Il faut savoir que toute araignée est apte à produire de la toile, même les araignées dites chasseuses ou primitives. Toute araignée ayant diverses glandes séricigènes, chaque araignée peut former des soies diverses à utilités diverses. La soie peut servir à tapisser un abri, à fabriquer un sac incubateur renfermant les œufs, à émettre des fils de traîne, ou encore à tisser des toiles.

Les protéines et la structure protidique de la soie, qui lui confère ces qualités si extraordinaires (la soie est cinq à dix fois plus résistante que l'acier) ont volonté à être reproduite pour de nombreuses applications technologiques.

Au-delà de sa composition, la toile d'araignée intéresse également par les différentes formes de constructions de sa toile (certaines à caractères géométriques, dites orbiculaires). Ces formes de constructions géométriques telles que celles de l'épeire, araignée orbitèle, jouent un rôle certain dans la solidité et la flexibilité des toiles d'araignées et peuvent faire l'objet de modélisations mathématiques.

En tant que matériau, la soie d'araignée fait rêver des générations de scientifiques et des recherches ont par exemple été menées pour l'utiliser dans la confection de gilets par balles. (Une protection telle que celle-ci pourrait arrêter une masse de 400 kg lancée à 100 km/h).

Seulement l'araignée, arachnide reconnue, n'a pas livré tous les secrets de construction et de composition de sa toile. Le caractère antisocial de la plus grande part des araignées empêche la récolte de leur soie par élevage.

## I. L'araignée : animal producteur de la soie

L'origine étymologique du mot araignée (et du mot arachnide) est le mythe d'Arachné. Arachné après avoir battu Athéna lors d'un concours de tapisserie fut transformée par celle-ci en araignée, pouvant à jamais tisser sa toile.

### A) La classe des arachnides

L'ordre des araignées, dit ordre des aranéides, fait partie de la classe des arachnides au même titre, par exemple, que les scorpionides. L'araignée est souvent considérée comme appartenant à la classe des insectes ce qui, à tous points de vue, est faux. (Les aspects morphologiques et anatomiques dissociant les deux classes seront abordés ultérieurement).

Les Arachnides (ainsi que les insectes, les crustacés,...) font partie du phylum des Arthropodes, dont les principales caractéristiques sont de posséder un exosquelette plus ou moins rigide et des appendices articulés.

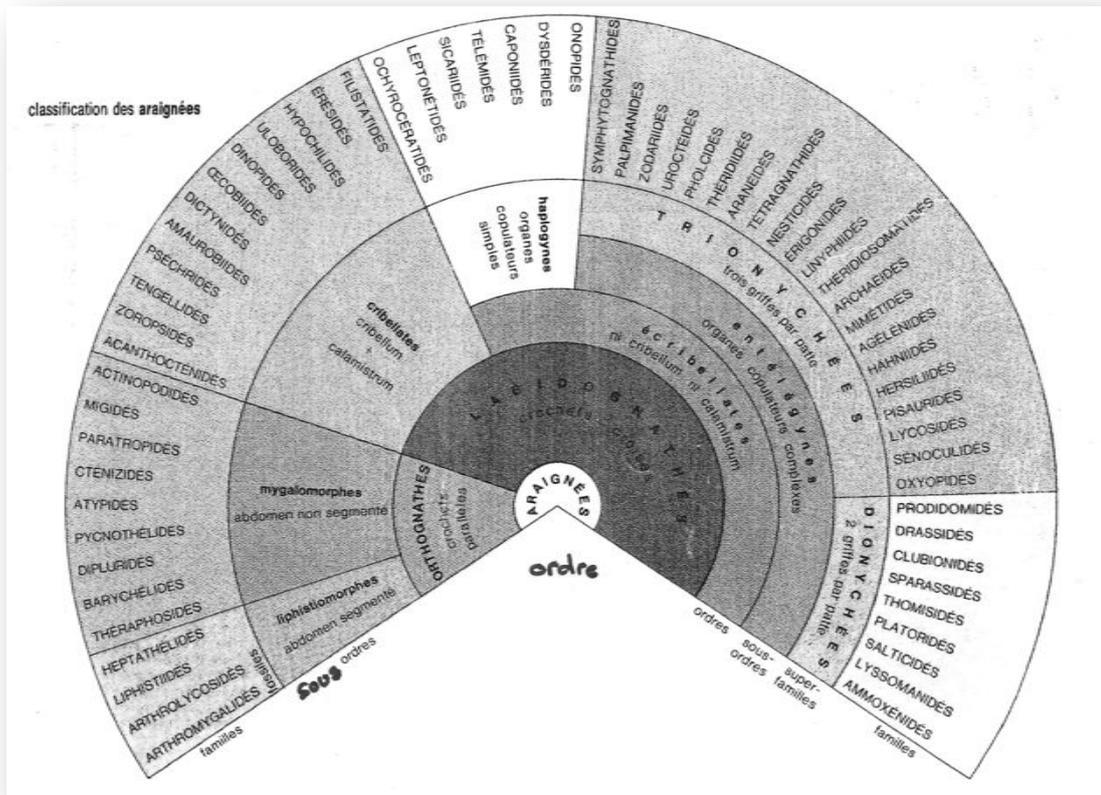
Ainsi la classe des arachnides comporte onze ordres différents dont les principaux représentants dans les régions européennes sont :

- ✦ Les scorpions
- ✦ Les pseudoscorpions
- ✦ Les acariens et tiques
- ✦ Les opilions (les faucheux)
- ✦ Les araignées

Les arachnides comptent environ 65 000 espèces connues de par le monde, les Araignées, à elles seules, totalisent 40 000 espèces dont environ 1 500 sont présentes en France.

### B) L'ordre des aranéides

Toutes les araignées sont de redoutables prédatrices d'insectes mais également de leur propre ordre, celui des aranéides. Cet ordre des aranéides compte à peu près 40 000 espèces et 110 familles, dont seul 10 d'entre elles sont capables de créer des toiles orbiculaires. De nombreuses différenciations sont possibles chez les aranéides : ainsi il existe le sous-ordre des mygalomorphes\* et celui des aranéomorphes\*. Cependant nous nous intéresserons à la différenciation des araignées au niveau de leurs mœurs, de leur type de chasse.



Classification des araignées. Article « araignée » de l'Encyclopédia Universalis

Il a été vu dans l'introduction que toute araignée est apte à produire de la soie, même si cette soie n'a pas pour but la construction d'une toile. Toutes les araignées, dont certaines ne produisent que très peu de soie (simples tapissements d'abris), ne se servent pas de toile comme outil de chasse.

Ainsi, il existe deux catégories d'araignées :

✦ Les araignées chasseuses à l'affût (également appelées araignées loup) :

Ce sont des araignées qui ne tissent pas ou peu de toile. Elles vivent à même le sol, se cachant sous des pierres ou creusant des terriers, et chassant à l'affût. (Les célèbres Mygales font partie de cette catégorie). Ce ne seront donc pas ces araignées chasseuses que nous étudierons dans le cadre de notre T.P.E.

✦ Les araignées chasseuses tisseuses de toiles (ou fileuses) :

Il existe de nombreuses formes de toiles, dont les formes changent selon les espèces. Toutes les formes de toiles, dont chacune caractérise un type de chasse, seront vues dans la partie traitant de la construction des toiles. Seulement il faut savoir qu'il existe de nombreuses toiles autres que les toiles géométriques (orbiculaires) et que chaque araignée tisseuse est capable de produire plusieurs types de soie (jusqu'à 6) pour confectionner sa toile. (Toutes les soies ne servant pas à la toile ; d'autres servent à confectionner des sacs incuba-

teurs ou encore à fabriquer des fils de traîne). On voit donc ici la nécessité pour les araignées d'avoir différentes glandes séricigènes pour confection leur toile.

Grâce à ce piège de soie les araignées seront capables de capturer des proies. La nature de la soie utilisée à la confection de la toile dépendra également de la proie que l'araignée aura volonté à capturer.

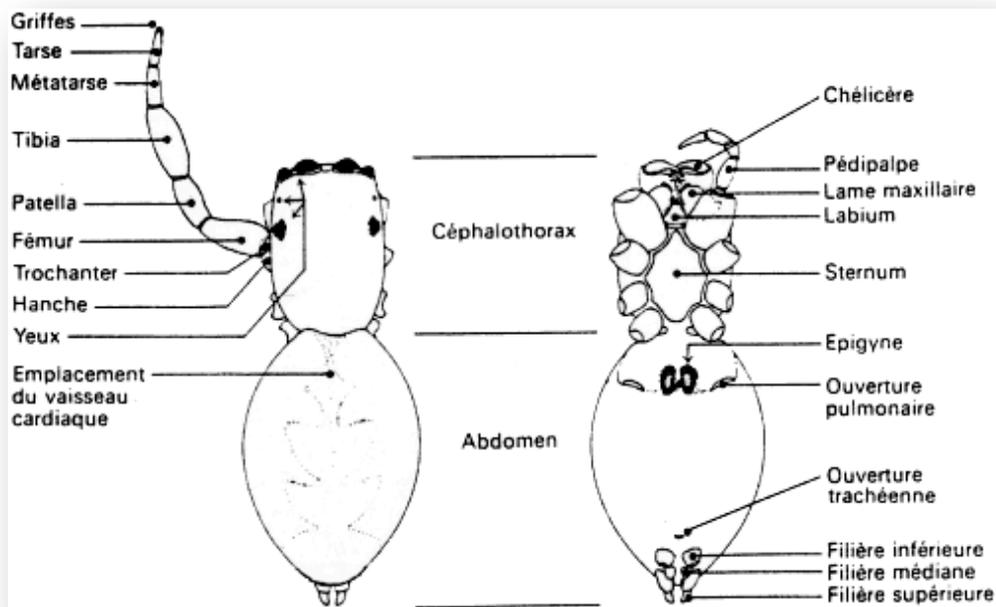
Les araignées ont une très mauvaise vue, malgré le nombre d'yeux qu'elles ont parfois en nombre impressionnant. Elles sont cependant très sensibles aux vibrations de la soie, ce qui leur permet de détecter facilement la présence d'un individu sur leur toile. On peut même souligner que lorsque les vibrations sont trop fortes, les araignées ne bougent pas car ces vibrations montrent la présence d'un individu trop imposant. Elles savent également reconnaître les vibrations dues au vent et les autres, preuve d'une réelle insertion sur leur territoire.

La toile joue le plus souvent le rôle de piège passif : lorsqu'un insecte se prend dans la toile, l'araignée se précipite sur lui, le mord, et le plus souvent l'enveloppe de soie. Cependant d'autres araignées se servent de leurs toiles activement (les lançant sur leur proie,...). (Les différentes formes de chasse seront vues ultérieurement)

### C) Anatomie et morphologie de l'araignée

À la différence des insectes, le corps des araignées est constitué de deux parties bien distinctes reliées par un pédicule.

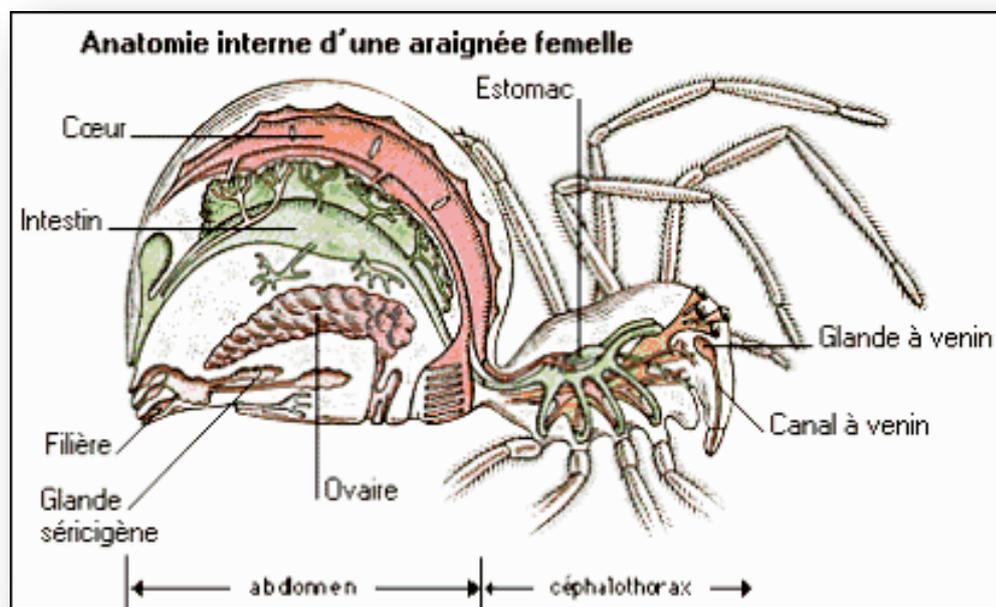
Ces deux parties sont le céphalothorax ou prosome (fusion entre la tête et le thorax) et le thorax



Morphologie générale d'une araignée

✦ Le céphalothorax porte, sur sa face ventrale, quatre paires de pattes articulées disposées autour du sternum, dont chacune est constituée de sept articles (la hanche, le trochanter, le fémur, la patella, le tibia, le métatarse et le tarse). Les pattes de l'araignée se terminent par deux ou trois griffes qui interviennent dans le déplacement sur la toile ou dans la manipulation de la soie. L'araignée est également pourvue de pédipalpes et de chélicères. Les premières jouant un rôle essentiellement tactile (examen et manipulation des proies) tandis que les secondes sont utilisées pour mordre la proie et lui injecter du venin.

✦ L'opistosoma est l'abdomen, la partie postérieure de l'araignée. Cette partie contient les principaux organes végétatifs de l'animal mais il contient également les organes qui nous intéresseront le plus durant ce T.P.E., les glandes séricigènes et les filières. Ces filières sont situées à l'extrémité postérieure de l'abdomen et sont le lieu de production de la soie.



Coupe transversale d'une araignée femelle

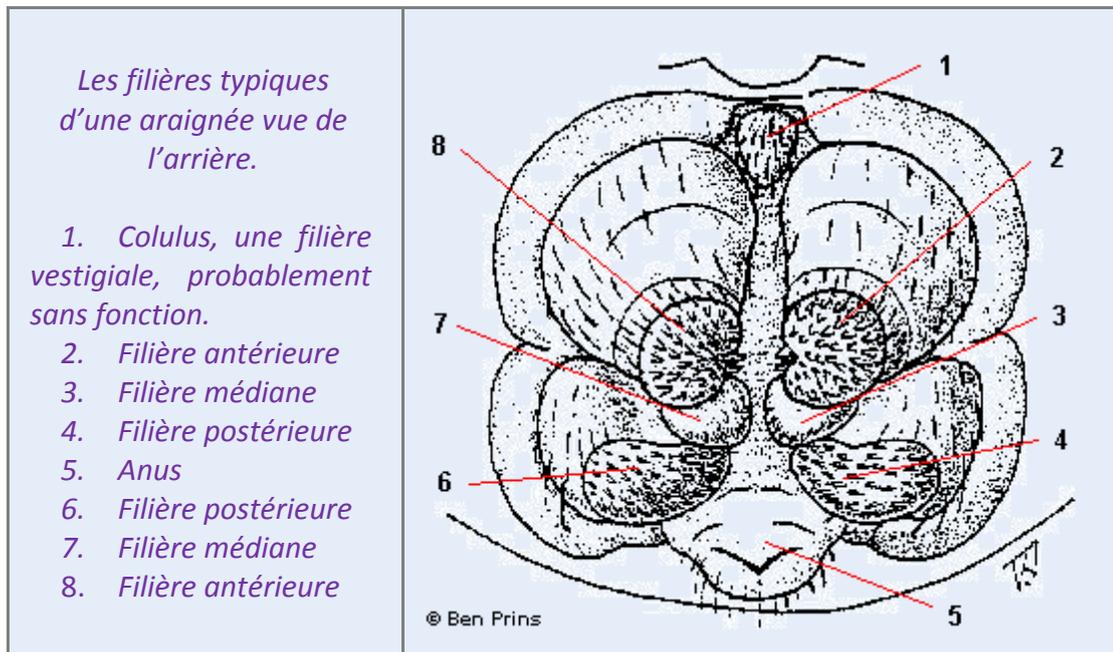
De plus le corps de l'araignée est recouvert de poils de diverses sortes (chimiorécepteurs, mécanorécepteurs, trichobotries, ...). Ces poils sont des organes sensitifs qui permettent à l'araignée de repérer les vibrations. Les épines par exemple, de grands poils épais, servent à détecter les vibrations sur sa toile.

#### D) Origines et production du fil de soie

##### ✦ L'animal producteur de soie : l'araignée :

On connaît la diversité des soies tissées en fonction des espèces d'araignées et des fins auxquelles cette soie sera utilisée. Ainsi chaque araignée doit être dotée de plusieurs glandes séricigènes pour pouvoir produire différents types de soie. La plupart des araignées possèdent 6 glandes séricigènes, qui toutes, correspondent à une filière précise (3 paires de fi-

lières). En effet les filières, (dont nous avons vu, qu'elles étaient situées à l'extrémité postérieure de l'abdomen), sont les organes producteurs de la soie.



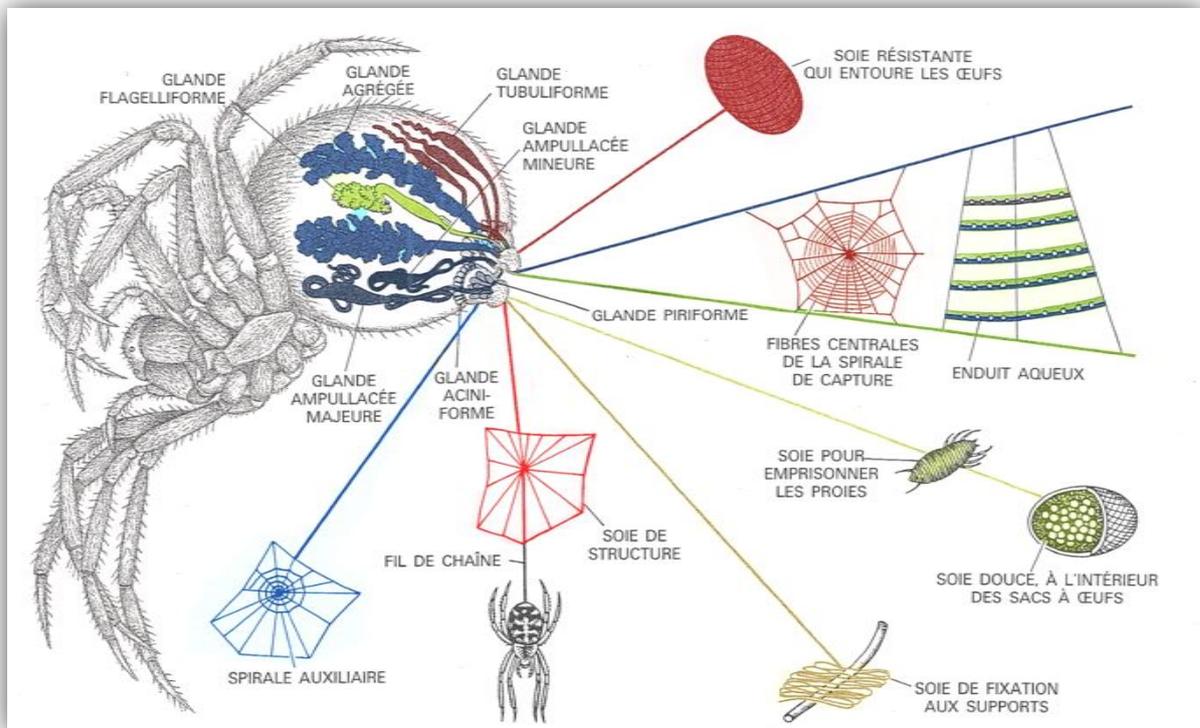
Gros plan sur les filières

L'araignée est capable de produire diverses sortes de soie pour des fonctions variées. Ces fils de soie diffèrent par leur constitution et leur tissage et n'ont donc pas les mêmes propriétés. Certains seront plus résistants et élastiques tandis que d'autres seront plus adhésifs. Il y a donc une spécificité de chaque glande séricigène.

✦ Un système glandulaire complexe :

Voyons la diversité de fonctions de la soie d'araignée :

⚠ Attention ⚠ : les couleurs ne sont pas d'origine : nous avons colorié certaines parties de ce document pour en faciliter la lecture

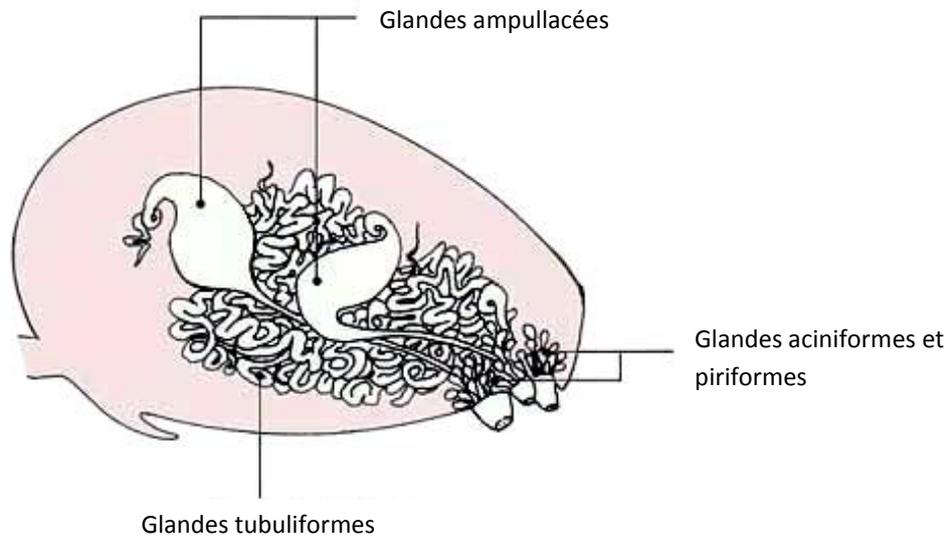


L'araignée des jardins dispose de soies de diverses compositions en acides aminés, produites à divers fins. On voit également que chaque production de soie est faite par une glande séricigène spécifique.

Chaque araignée sécrète différents types de soie à diverses fonctions :

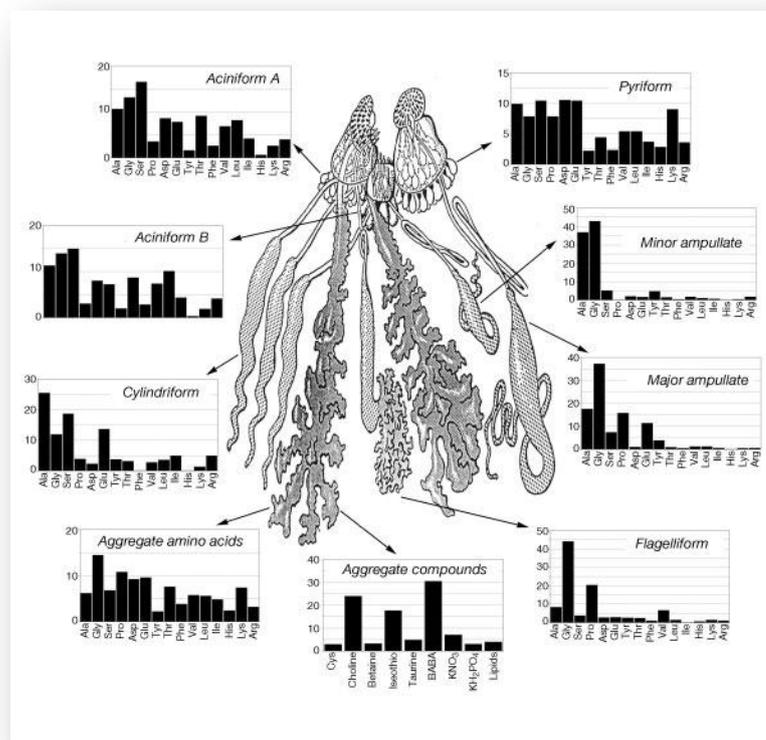
- ✦ pour se déplacer ; fils de traîne (ou de sécurité) qui leur permettent de se lâcher de très haut pour ensuite reprendre leur position initiale.
- ✦ pour délimiter son territoire.
- ✦ pour confectionner des sacs incubateurs (cocons) protégeant les œufs.
- ✦ pour construire des toiles (orbiculaires ou irrégulières). Cependant il faut noter qu'une toile n'est pas formée que d'un seul type de soie. Ainsi le fil de structure de la toile n'est pas le même que le fil gluant qui forme la spirale de capture de la toile.
  - ✦ pour emprisonner les proies après les avoir mordues.
  - ✦ pour tapisser un abri (araignées non-orbitèles).
  - ✦ pour dévider un « fil de la vierge » (fils lâchés par de petites araignées, utilisé pour se déplacer en se laissant emporter par le vent, parfois même sur plus de cent kilomètres.)
  - ✦ pour construire de petites toiles spermatiques propres aux mâles (qui leur permettent après avoir déposé une goutte de sperme sur cette toile, de la transférer dans leurs bulbes copulateurs.)

Pour confectionner ces divers types de fil de soie, l'araignée possède plusieurs types de glandes séricigènes. (cf. schéma précédent)



Coupe de l'abdomen de l'épeire fasciée représentant la diversité des glandes séricigènes.

On voit chez cette épeire quatre glandes séricigènes différentes (bien que la plupart des araignées tisseuses en possède six). Il existe différents types de glandes qui ne produiront pas des soies à propriétés similaires. Une dizaine de ces types de glandes - qui sont toujours rattachés à une filière précise - sont connus chez l'araignée. Jusqu'à huit glandes peuvent être présentes chez une araignée, sécrétant chacune une soie spécifique.



Représentation de glandes spécifiques et de leurs différentes compositions d'acides aminés.

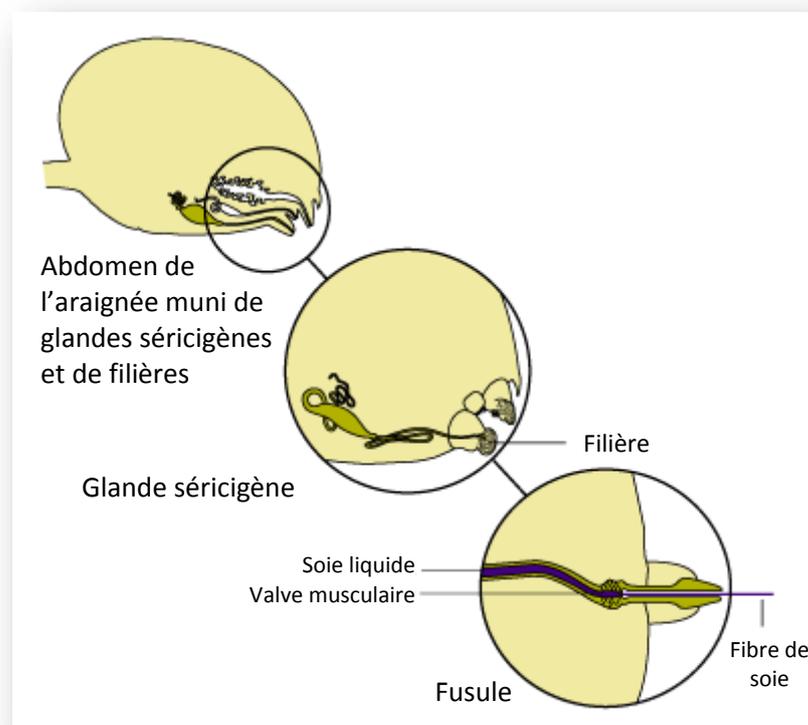
On a vu précédemment les diverses utilités des fils de soie. Ces fils auront une composition d'acides aminés différente et seront tissés différemment par l'araignée selon leur utilité future. Chaque type de glandes produit une soie à composition différente, chaque glande d'un aranéide a donc une production particulière.

Ainsi :

- ✦ les glandes piriformes fournissent la sécrétion adhésive de la toile et les attaches de la toile.
- ✦ les glandes flagelliformes et les glandes agrégées produisent l'enduit aqueux qui recouvre la toile et les fibres de la spirale de capture.
- ✦ les glandes tubuliformes sécrètent la soie qui sert à construire les sacs incubateurs à œufs.
- ✦ les glandes ampullacées majeures fournissent les fils de la spirale auxiliaire. (cf. partie sur la construction des toiles)
- ✦ les glandes ampullacées majeures sécrètent la soie de structure, les fils de soutien des toiles.
- ✦ et les glandes aciniformes qui produisent la soie utilisée pour emprisonner les proies en les enroulant dans des sortes de cocons.

✦ l'appareil séricigène et sa production :

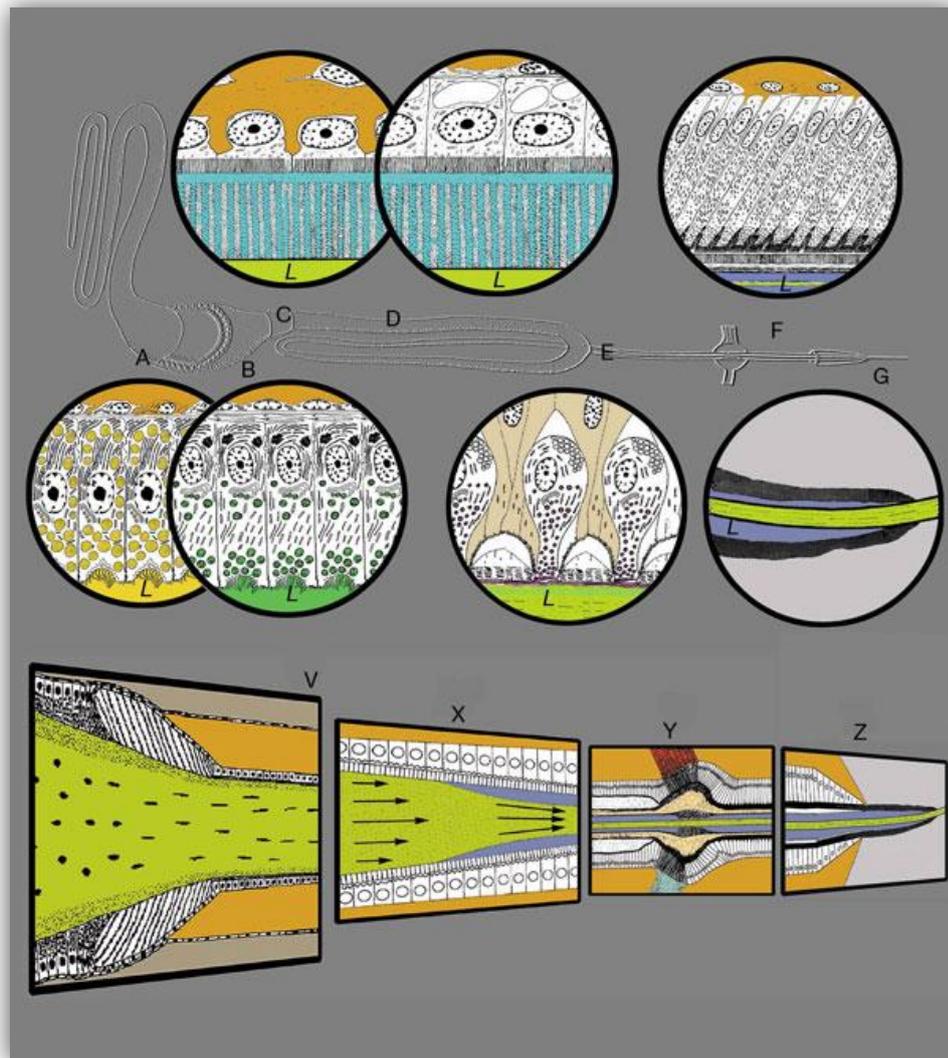
Retraçons le parcours de la production de la soie dans le corps de l'araignée :



Schémas montrant les trois organes principaux utilisés dans la production de la soie

Le fil de la toile d'araignée est une soie qui est, à l'origine, sécrétée sous forme liquide dans les glandes séricigènes. Le système glandulaire de l'araignée qui occupe une grande partie de son abdomen lui permet bien évidemment de produire des types soies spécifiques mais également de stocker cette soie à l'état liquide.

Le fil de la toile d'araignée est une soie qui est, à l'origine, sécrétée sous forme liquide dans les glandes séricigènes. Le système glandulaire de l'araignée qui occupe une grande partie de son abdomen lui permet bien évidemment de produire des types soies spécifiques mais également de stocker cette soie à l'état liquide.



### Production de la soie dans l'appareil séricigène de l'araignée

- Zone A : zone de production des protéines formant le noyau, les fibres centrales du fil de soie.
- Zone B : zone de production de l'enveloppe liquide de la soie (parfois à propriété adhésive). Cette enveloppe (propre à certains fils) qui couvre les fibres centrales d'un film continu à la sortie des filières, se fragmente en gouttelettes, après avoir absorbé la vapeur d'eau de l'atmosphère.
- Zone C et D : Zone du canal à soie liquide (en forme de S) se rétrécissant de plus en plus. Comme la proportion de tissus épithéliaux augmente progressivement, l'absorption de l'eau est plus importante.
- Zone E : Zone pouvant contribuer à un supplément de revêtement du fil.
- Zone F : Zone de pompage de l'eau restante. (Zone de filtrage).
- Zone G : Zone de sécrétion de la soie (fusule).

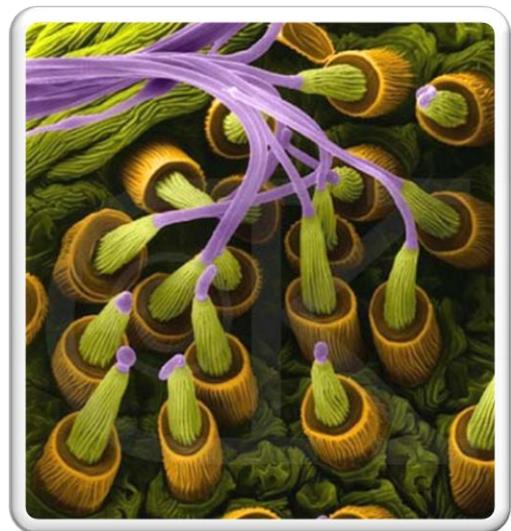
La fabrication de la soie liquide est divisée en deux zones de productions. En premier lieu sont secrétées les protéines du corps de la soie et en deuxième lieu celles de son enveloppe. Ces protéines dont la nature et la structure seront étudiées ultérieurement sont alors sous forme de cristaux liquides dans le système glandulaire. La soie, après être sortie des glandes séricigènes, suit un canal en forme de S se rétrécissant pour arriver aux organes sécréteurs. Au cours de son passage dans les filières - organe producteur étudié précédemment -, la soie commence à se solidifier grâce à l'action d'ions injectés pour faciliter la séparation entre le solvant et les protéines. Lorsque les protéines circulent dans le canal en S, elles s'étirent et s'alignent les unes derrière les autres. Ces protéines possèdent alors toutes les caractéristiques des cristaux liquides (liquide dont les molécules sont ordonnées), ce qui lui donne les caractéristiques d'un matériau solide et souple.

Au niveau des fusules l'eau restante est extraite ce qui aide à convertir des structures protéiques liquides en une fibre solide. Les fusules sont les articles terminaux des filières et ont une taille minuscule.

La soie perle sous forme de gouttelettes à l'extrémité des fusules. Ces gouttelettes sont ensuite étirées sous la traction de l'araignée pour se transformer en fibrilles. Sous l'effet d'une technique de filage, la soie devient un fil de soie solide et élastique. Un très grand nombre de fibrilles élémentaires de  $0,05 \mu\text{m}$  de diamètre s'entrelacent pour former un fil de soie de  $25$  à  $75 \mu\text{m}$ . Les propriétés du fil dépendront (au-delà de la composition et du tissage de la soie) de la proportion relative de fibrilles de soie différentes, secrétées par une glande séricigène spécifique.

Il semble que les araignées peuvent commander leur système de production de soie. Certaines d'entre elles sont capables de modifier le diamètre, la résistance ou encore l'élasticité de leur fil au cours du tissage, en agissant vraisemblablement davantage sur les filières que sur la composition chimique de la soie.

Nous savons que les propriétés de la soie dépendent de sa composition mais également de son tissage. En effet l'araignée tisse son fil selon l'utilité qu'elle lui donnera. Ainsi l'araignée fera par exemple varier la vitesse de sécrétion de son fil de soie pour en faire varier l'élasticité ou encore l'adhésivité. Le tissage fait par l'araignée est donc primordial dans les caractéristiques de la toile. A cause de cela la reproduction industrielle de la soie d'araignée est rendue encore plus difficile.



Gros plan sur des fusules sécrétant des fibrilles de soie

## II. La toile

### ✦ La chasse au piège (majoritairement grâce à une toile) :

Certaines araignées ont recourt à des toiles de différentes formes pour mettre en œuvre des méthodes très variées de construction. Pour y arriver, elles utilisent à la fois leurs filières qui produisent de la soie et leurs huit pattes leur permettant des mouvements et des déplacements précis et rapides. Les toiles d'araignées sont tissées et sont en fait des réseaux de fils constitués par la soie en tension que secrètent les araignées.

Bien que les toiles que construisent les araignées soient toutes bâties selon les mêmes principes, il se présente bien des différences de structure et de taille entre les 40 000 espèces connues, ainsi qu'en fonction de la proie visée. Une toile d'araignée a pour but premier d'être un piège efficace : se devant d'arrêter les insectes en vol et de les retenir en les immobilisant assez longtemps pour que l'araignée ait le temps de les repérer, de les examiner et de les tuer. On estime qu'il faut en moyenne une heure de travail et trente mètres de fil de soie pour bâtir une toile, et comme l'araignée ne peut pas projeter son fil, elle doit compter sur le vent ou sur les plus légers déplacement d'air. La soie ne peut pas être éjectée sous pression mais elle doit être aspirée par les moyens extérieurs, par une force comme le vent ou la gravité.

### ✦ La chasse à la poursuite :

Il existe des araignées qui ne tissent pas de toile et qui utilisent leurs yeux pour chasser. Elles se baladent sur un peu tous les types de terrain à la recherche de proies. Lorsqu'elles ont trouvé une proie, elles s'avancent et finissent par bondir dessus pour la mordre et l'immobiliser avant de la manger. Ces araignées ont une mobilité impressionnante, certaines mêmes, sont capables de faire de grands sauts par rapport à leur taille. Cette faculté leur est utile pour fuir un prédateur. Les araignées utilisant cette technique de chasse possèdent en plus de leur vue d'autres capteurs chimiques et/ou mécaniques faisant appel à des poils spécialisés ou des organes présents sur les pattes.

### ✦ La chasse à l'affût :

La chasse à l'affût est une autre technique de chasse utilisée en particulier par les *Misumena vatia* de la famille des *Thomisidae*, qui, la plupart du temps se mettent sur les fleurs et attendent patiemment l'arrivée d'un insecte pollinisateur (surtout hyménoptères et diptères).

## A) Toiles géométriques composite

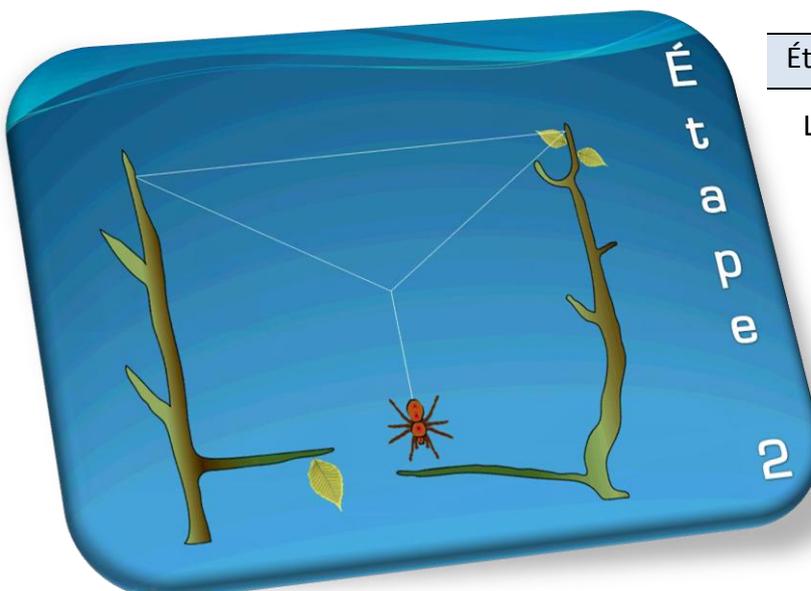
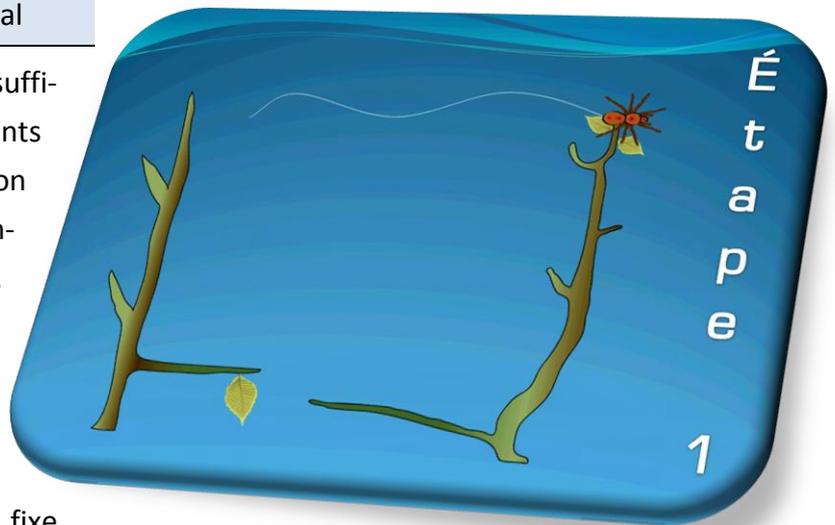
L'une des toiles les plus emblématiques est celle dite orbiculaire ou en forme circulaire qui est un piège redoutable pour capturer les insectes volants. L'une des premières qualités que l'on peut lui attribuer réside dans sa régularité géométrique. Étant produite par les araignées dites orbitèles, il en existe de nombreuses variantes qui comportent toujours des rayons et des fils spiralés. Selon les espèces d'araignées orbitèles, la toile est plus ou moins grande, mais les principes généraux restent les mêmes. Chez une araignée plus jeune la toile est plus petite, en proportion d'ailleurs de ses besoins en proies.

Prenons l'exemple de l'épeire diadème (Aranéide). Pour construire sa toile, elle procède en différentes étapes suivant un déroulement très précis qui peut se décomposer de la façon suivante :

### Étape 1 : un câble horizontal

L'animal choisit un site ayant suffisamment d'espace et de points d'appui. La première opération consiste à tendre un fil horizontal provisoire. En effet, l'araignée dévide un léger brin de soie qui, par un mouvement de l'air, s'accroche par son extrémité dans la végétation. L'araignée tend le fil et fixe

l'autre extrémité près de l'endroit d'où il a été émis. Celle-ci va ensuite suivre ce fil et tout en le parcourant dévide un autre fil beaucoup plus résistant afin de constituer la partie supérieure du cadre de la toile. Le fil provisoire qui ne sert plus à rien est mangé.



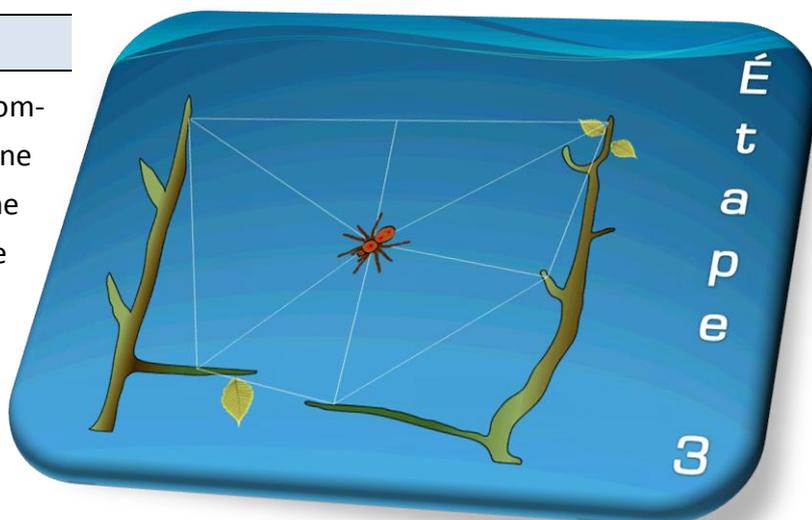
### Étape 2 : les trois premiers rayons

Le fil permanent est ensuite doublé par un fil identique très tannique. L'araignée se positionne au milieu de ce second fil horizontal, y accroche un fil et se laisse tomber. Le fil tannique se déforme et constitue les deux branches supé-

rieures d'un Y, notre araignée étant accrochée à sa troisième branche. L'épeire fixe alors son dernier fil à un point de la végétation, au niveau de la partie basse de la future toile. A ce stade, nous avons donc un Y surmonté d'une barre, le point d'intersection du Y correspondant au centre de la future toile orbiculaire et les trois branches du Y à ses trois premiers rayons.

### Étape 3 : six rayons

Les étapes suivantes sont plus complexes. L'araignée grimpe sur une des trois branches du Y. Comme précédemment, elle la double par un fil élastique, se positionne à mi-parcours sur ce dernier et y accroche un nouveau fil. Elle remonte le long de l'autre branche du Y en restant accrochée au nouveau fil. L'araignée va ensuite exercer



une tension sur le fil dont elle fixe l'autre extrémité ce qui permet de construire un nouvel Y. L'araignée va faire de même sur les deux autres branches du premier Y pour terminer la trame générale de la toile. Un cadre pourvu de six rayons a ainsi été bâti.

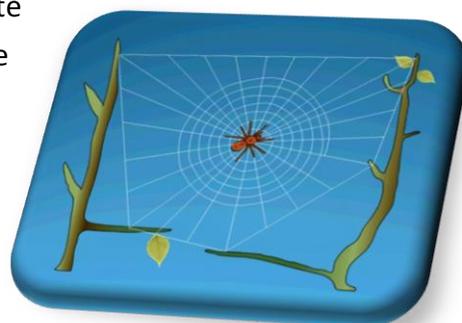


### Étape 4 : deux spirales

Après avoir choisi un point de départ, l'araignée ajoute une vingtaine de rayons supplémentaires.

Puis, en partant approximativement de ce point, elle dévide un fil en se déplaçant selon une spirale croissante permettant donc de renforcer la structure sur un disque de 20 à 25 centimètres de dia-

mètre. Enfin, elle construit une autre spirale, décroissante cette fois, à l'aide de fils de soie gluante. Cette structure de forme géométrique permet de dissiper et d'absorber l'énergie cinétique des insectes capturés grâce aux propriétés intrinsèques de la soie et, notamment, des fils de capture.



Liste des familles européennes que l'on peut classer parmi les Orbitèles :

*Araneidae*

*Tetragnathidae*

*Uloboridae*

*Theridiosomatidae*



Quelques fois l'araignée dispose un fil d'alarme, destiné à transmettre les vibrations d'une proie vers son refuge. Ceci se fait particulièrement pour les araignées ne restant pas sur leur toile. Ces dernières vont dans une « retraite » et sont reliées à la toile par ce fil qui doit être tendu, leur permettant d'être averties de l'arrivée d'une proie, et ainsi de rester en contact avec leur piège. Selon la nature des vibrations, l'araignée décode s'il s'agit d'une prise de grosse ou de petite taille et intervient en conséquence : elle se précipite ou bien prend son temps. Dans tous les cas, la victime est mordue, paralysée puis enveloppée dans un cocon de soie. Pour consommer sa proie, l'araignée, incapable d'ingérer des substances solides, lui injecte des sucs digestifs et sa salive corrosive pour l'absorber à l'état fluide. Parfois, elle garde en réserve ses victimes ainsi enveloppées.

Exemples d'araignées confectionnant une retraite :

*Araneus diadematus*

*Araneus quadratus*

*Araneus alsine*

*Larinioides cornutus*

*Agalenatea redii*

...

Les araignées orbitèles reconstruisent régulièrement leur toile. Pour cela, elles mangent le fil qu'elles démontent et en même temps le reconstruisent par derrière. Tout cela en avançant ! De plus, les fils qui constituent la toile doivent être en même temps résistants et élastiques. Toutefois le niveau d'élasticité de la toile est différent suivant les endroits.

Plaçons-nous dans différents cas de figures pour comprendre l'importance de cette élasticité :

✦ Par exemple si le niveau d'élasticité des fils était moins élevé que ce qui est exigé, un insecte heurtant la toile dans son vol rebondirait et rebrousserait chemin.

✦ Ou bien si l'élasticité des fils était plus élevée que ce qui est exigé, l'insecte allongerait trop la toile, les fils collants adhèreraient les uns aux autres et la toile perdrait sa forme.

Cependant l'épeire a su parer à ces difficultés, étant donné que les fils de la spirale de capture se rétractent rapidement ou s'allongent jusqu'à quatre fois leur longueur sans que leur tension ne devienne excessive.

Les modifications de la toile dues aux déplacements d'air engendré par le vent ont aussi été prises en considération dans le calcul de l'élasticité des fils. Par conséquent une toile tendue par le vent peut reprendre sa forme précédente. Ceci s'appelle l'auto mémoire de forme de la soie d'araignée.

Exemples d'araignées restant au centre de la toile :

*Argiope bruennichi*

*Argiope lobata*

*Uloborus walkenearius*

*Mangora acalypha*

*Zilla diodia*

Ce qui sert de support à la toile est un autre facteur important qui peut faire varier le niveau d'élasticité.

Par exemple, si elle est attachée à une plante, l'élasticité doit pouvoir absorber n'importe quel mouvement causé par la plante.

Les fils de capture en spirale sont très proches les uns des autres. Ceux qui collent et qui ont une grande élasticité, sont placés par-dessus des fils secs de faible élasticité car sinon le plus petit balancement pourrait coller les fils de capture les uns aux autres, créant de larges ouvertures dans le champ du piège. Ce système est une précaution contre la formation de trous d'évasion potentiels.

● modélisation flash (cf. [www.araignee.fr.nf](http://www.araignee.fr.nf) ou CD)

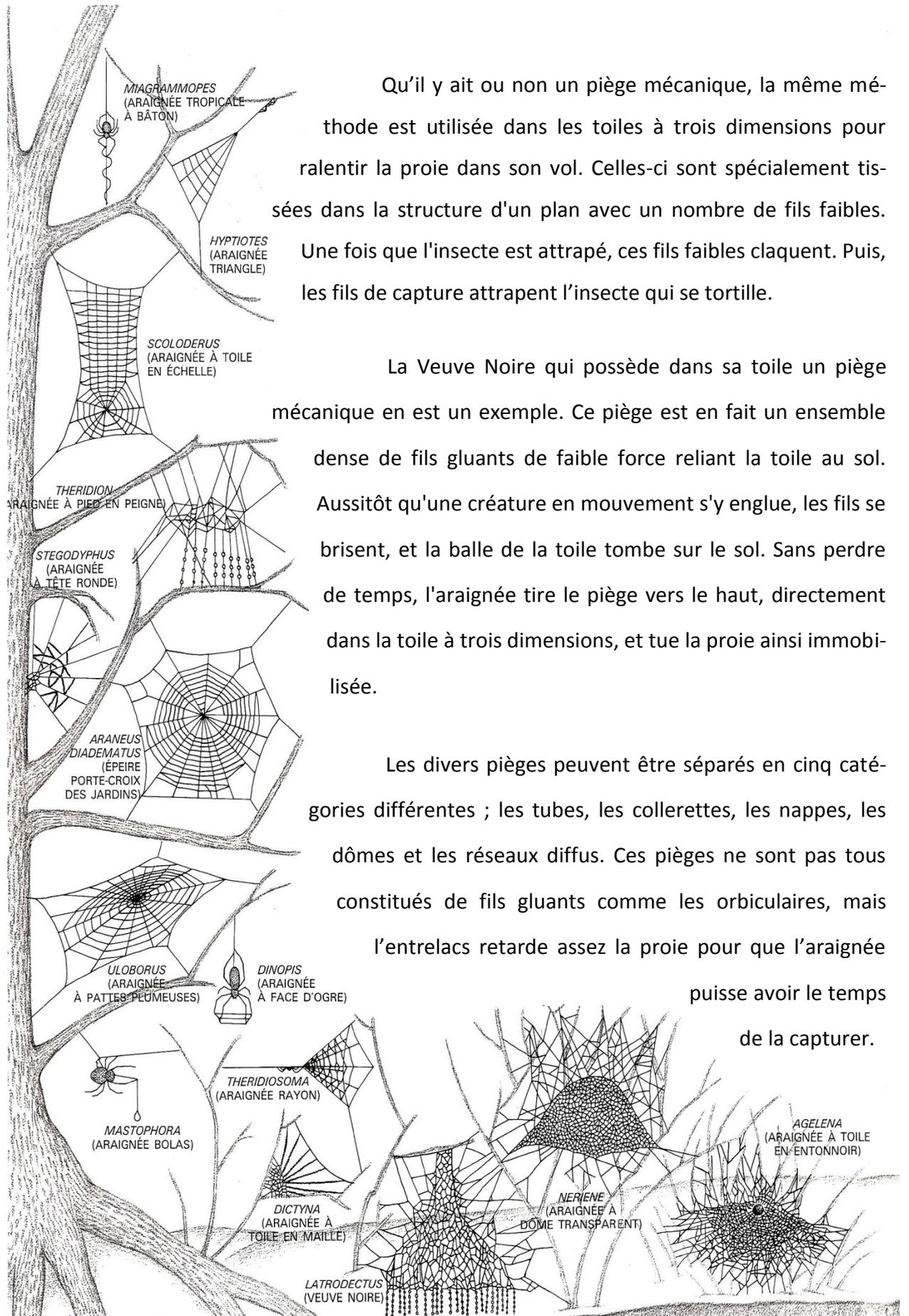
● étapes de construction (cf. CD)

## B) Toiles tridimensionnelles (ou irrégulières)

Les araignées construisant des toiles tridimensionnelles représentent la majeure partie des araignées tisseuses. Elles sont par conséquent plus nombreuses que les araignées qui tissent des toiles géométriques composites. À l'inverse des orbitèles, ces pièges ne sont jamais détruits et reconstruits, ils sont simplement réparés et consolidés un peu plus chaque jour.

Il existe différents types de toiles ayant une structure en trois dimensions mais ces derniers n'appartiennent pas à une famille en particulier.

Les toiles à trois dimensions se distinguent des toiles géométriques de par leur structure nettement plus grande et compliquée. En effet, lorsque des petits parasites sont attrapés dans la toile, l'araignée a plus de travail à faire ce qui l'incite à faire sa toile dans des lieux bien précis. Le plan du piège à trois dimensions et la méthode employée par l'araignée sont soigneusement planifiés par cette dernière.



Qu'il y ait ou non un piège mécanique, la même méthode est utilisée dans les toiles à trois dimensions pour ralentir la proie dans son vol. Celles-ci sont spécialement tissées dans la structure d'un plan avec un nombre de fils faibles. Une fois que l'insecte est attrapé, ces fils faibles claquent. Puis, les fils de capture attrapent l'insecte qui se tortille.

La Veuve Noire qui possède dans sa toile un piège mécanique en est un exemple. Ce piège est en fait un ensemble dense de fils gluants de faible force reliant la toile au sol. Aussitôt qu'une créature en mouvement s'y engluie, les fils se brisent, et la balle de la toile tombe sur le sol. Sans perdre de temps, l'araignée tire le piège vers le haut, directement dans la toile à trois dimensions, et tue la proie ainsi immobilisée.

Les divers pièges peuvent être séparés en cinq catégories différentes ; les tubes, les collerettes, les nappes, les dômes et les réseaux diffus. Ces pièges ne sont pas tous constitués de fils gluants comme les orbiculaires, mais l'entrelacs retarde assez la proie pour que l'araignée puisse avoir le temps de la capturer.



### Les pièges en Tubes :

Ces pièges sont propres à la famille des *Atypidae*.

La partie souterraine de cette toile sert de retraite tandis que la partie aérienne sert de piège.

Etant dissimulé dans les débris végétaux, ce piège passe inaperçu pour des proies éventuelles. L'araignée capture les proies qui s'y posent en les mordant à travers la soie. Les proies sont ensuite entraînées à l'intérieur pour y être dévorées.

### Les pièges en collerettes :

Ils sont de structures réduites et sont le prolongement de la retraite de l'araignée. Tout d'abord, l'araignée recherche un trou, une fissure, une écorce ou une pierre pour s'installer. Puis elle dispose, à l'entrée, des fils de soie sur les supports environnants qui lui permettront d'être avertie de l'éventuelle proie se présentant à l'extérieur. Celle-ci sera capturée et entraînée à l'intérieur pour y être mangée.

Familles utilisant ce piège :

*Amaurobiidae*

*Segestriidae*

*Agelenidae*

...

Famille la plus typique :  
*Agelenidae*

### Les pièges en nappes :

Le piège est composé d'une nappe de soie horizontale, souvent disposée à la façon d'un hamac et surmontée de tout un enchevêtrement de fils. Ces pièges sont installés à des hauteurs différentes selon l'espèce et l'habitat. Ils sont généralement posés sur la végétation (herbes, buissons, encoignures, murs,...), et forment une surface épaisse très fournie. Cette construction peut atteindre une structure considérable étant supérieure à cinquante centimètres. Le support végétal soutenant la structure est assisté de fils verticaux qui tendent et supportent la toile. Ces derniers servent aussi d'obstacles pour gêner et faire tomber les proies sur la toile. La soie sécrétée n'est pas collante. Tout insecte tombant sur la nappe trébuche et s'empêtre dans les multiples fils entrecroisés. L'araignée sort de sa retraite, tire sa proie vers elle à travers la toile, puis l'emmailotent avant de la piquer et de l'emporter pour la manger. Parfois, la retraite peut être ouverte aux deux bouts pour une éventuelle fuite de l'araignée.



#### Les pièges en dômes :

Les pièges en nappes et en dômes sont de conception identique bien que les premiers sont concaves alors que les derniers sont plus convexes. En effet, les pièges en dômes sont aussi appuyés sur la végétation avec des fils de soutien au-dessus mais aussi en dessous. Les fils supérieurs servent également à intercepter le vol des éventuelles proies. L'araignée se trouve dans la partie inférieure qui est dégagée. Elle vit à l'envers et mord ses

Famille la plus typique :  
*Linyphiidae*

proies à travers la toile. Les proies étant consommées sur place, il n'y a pas de retraite.



### Les pièges de fils diffus :

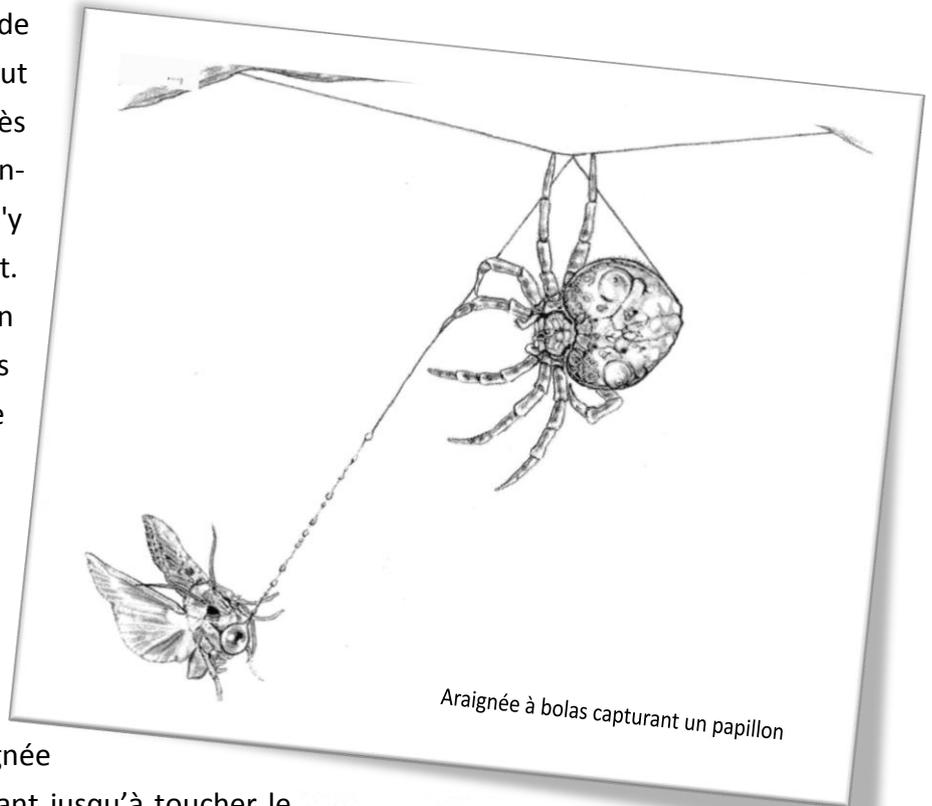
Comme l'évoque le nom de ces constructions, elles ne sont que des entrelacs de fils sans réelle organisation. Les araignées sont généralement à l'envers, sur des fils invisibles. Trois familles d'araignées utilisent ce genre de piège à leur manière.



## Les dispositifs simples de capture :

Certaines araignées utilisent simplement un dispositif de capture avec de la soie sans pour autant faire appel à une toile...

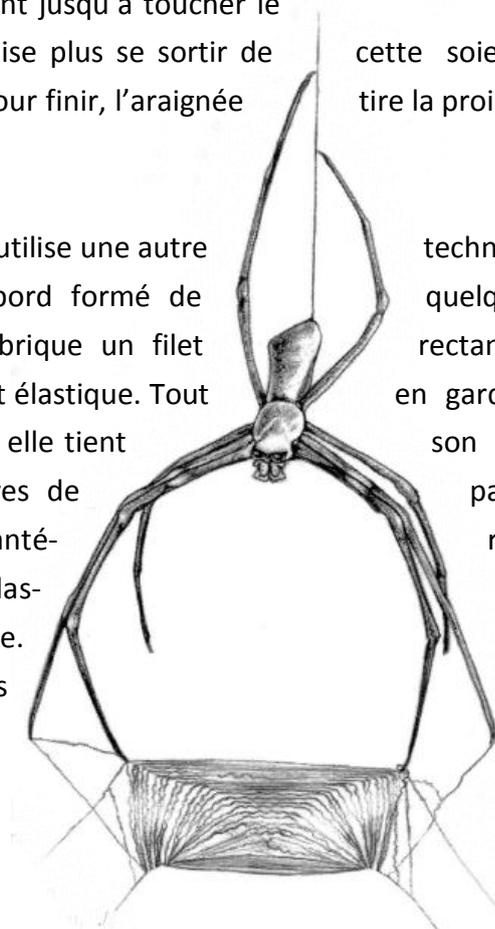
Prenons l'exemple de l'araignée à bolas qui tout d'abord tend un fil très solide le long d'une brindille horizontale et s'y accroche fermement. Ensuite, elle sécrète un second fil de quelques centimètres qu'elle leste de gouttelettes (très collantes et attractantes pour les papillons de nuit) et qu'elle laisse pendre. Lorsqu'un papillon de nuit s'approche, l'araignée



fait tourner ce fil gluant jusqu'à toucher le papillon afin qu'il ne puisse plus se sortir de gouttelettes collantes. Pour finir, l'araignée

cette soie recouverte de tire la proie à elle afin de la mordre.

L'araignée gladiateur utilise une autre technique. Un cadre est tout d'abord formé de quelques fils attachés à un support. Puis l'araignée fabrique un filet très gluant et fortement élastique. Tout fixé à la toile support, elle tient l'aide de ses deux paires de pattes antérieures lorsqu'une proie passe à sa portée. Le filet élastique est alors déployé et projeté sur la victime. Cette manière de chasser est efficace lorsque les proies sont nombreuses.



Une araignée gladiateur et son filet

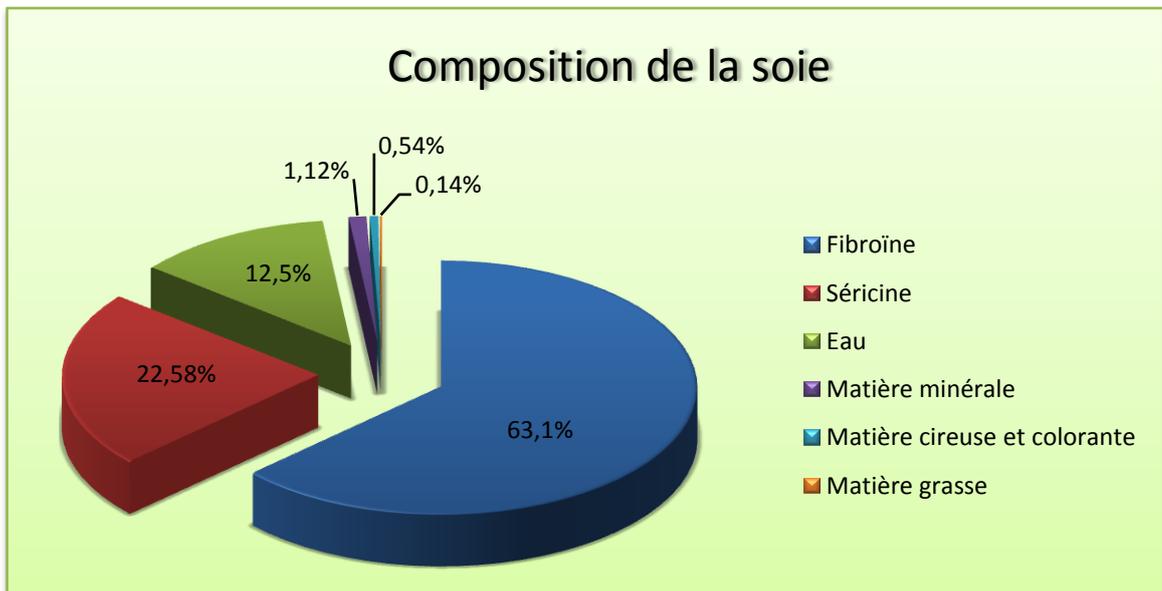
### III. La soie

#### A) Description

La soie d'araignée tient de sa composition, de sa forme, mais aussi de la façon dont elle est tissée, de nombreuses propriétés extraordinaires. Mais quelle est donc la composition et la forme qui rendent la soie d'araignée si particulière ?

#### Composition générale

La soie d'araignée est composée en majorité de deux protéines qui sont la fibroïne et la séricine. La fibroïne est le plus gros constituant de la soie d'araignée car il représente à lui seul 63,1% de la composition de la soie d'araignée, suivit de la séricine avec 22,58%. Il faut savoir cependant que la composition de la soie d'araignée peut varier suivant son utilisation. Par exemple, l'épeire fasciée a différentes glandes séricigènes et produit donc des soies différentes. Ensuite, la composition de la soie d'araignée peut aussi varier suivant l'espèce qui la tisse : nous verrons plus tard que chez les cribellates, la soie est utilisée différemment que chez les écribellates. Ces différences de composition de la soie d'araignée sont dues à des évolutions parallèles de la soie d'araignée depuis plus de 120 millions d'années, d'après les premières traces de soie fossile retrouvées. Voici un exemple de composition de soie :

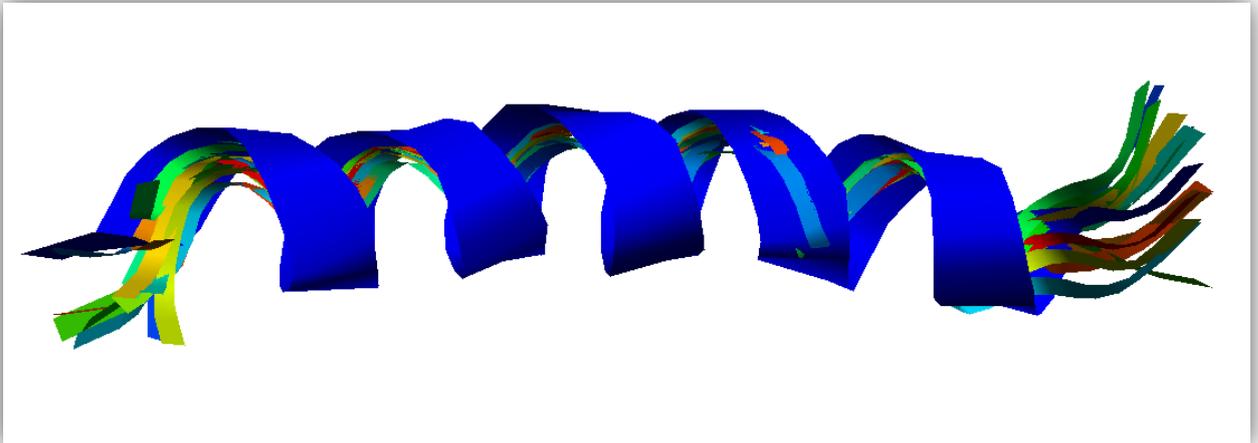


#### Protéines la composant

Comme nous l'avons déjà vu, la soie d'araignée est composée en majorité de fibroïne et de séricine. La protéine la plus importante est la fibroïne, qui donne une grande partie des particularités à la soie d'araignée. La fibroïne est aussi appelée « spidroïne », terme provenant des États-Unis (en anglais, spider = araignée). La fibroïne contient la fameuse protéine kératine (présente dans nos cheveux) qui serait utilisée chez les araignées depuis 180 mil-

lions d'année, au départ pour protéger les œufs et c'est surtout cette protéine qui intéresse les chercheurs en raison de son rôle important dans les propriétés de la soie. Ci-dessous, la molécule de fibroïne observée sur RASTOP.

● fibroïne sur RASTOP (cf. CD)



Molécule de la fibroïne sur RASTOP, affichage rubans, coloration par chaîne

Lorsqu'on observe la soie au microscope, on peut voir des fibres ; ces fibres sont composées d'un enchevêtrement de fibroïne comme le montre le schéma ci-dessous. C'est justement cet enchaînement qui donne une soie très résistante.

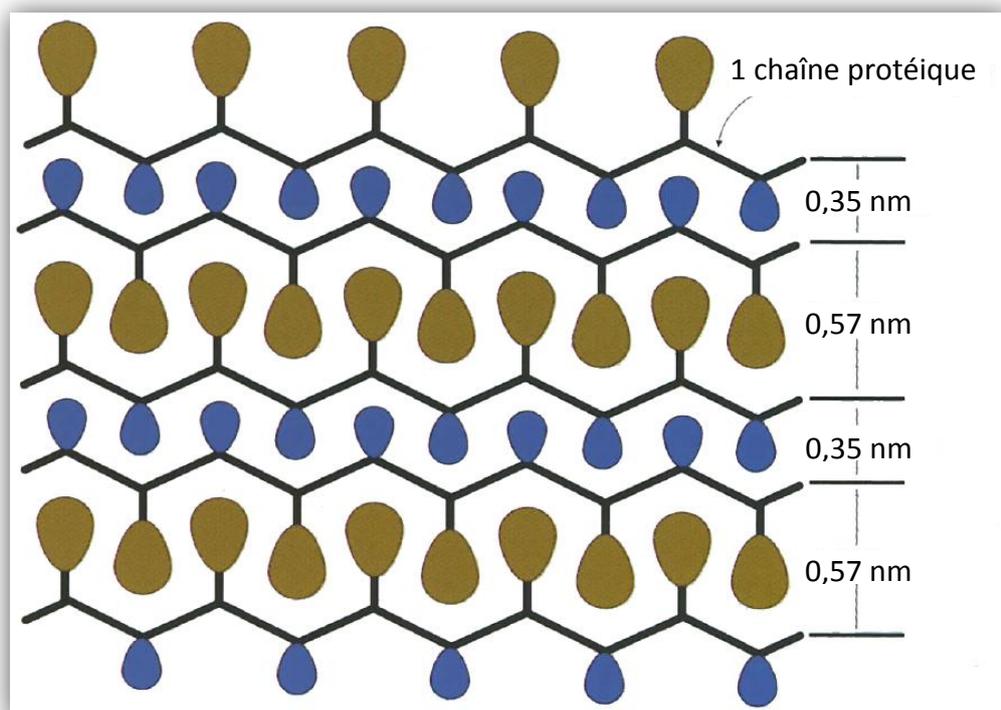
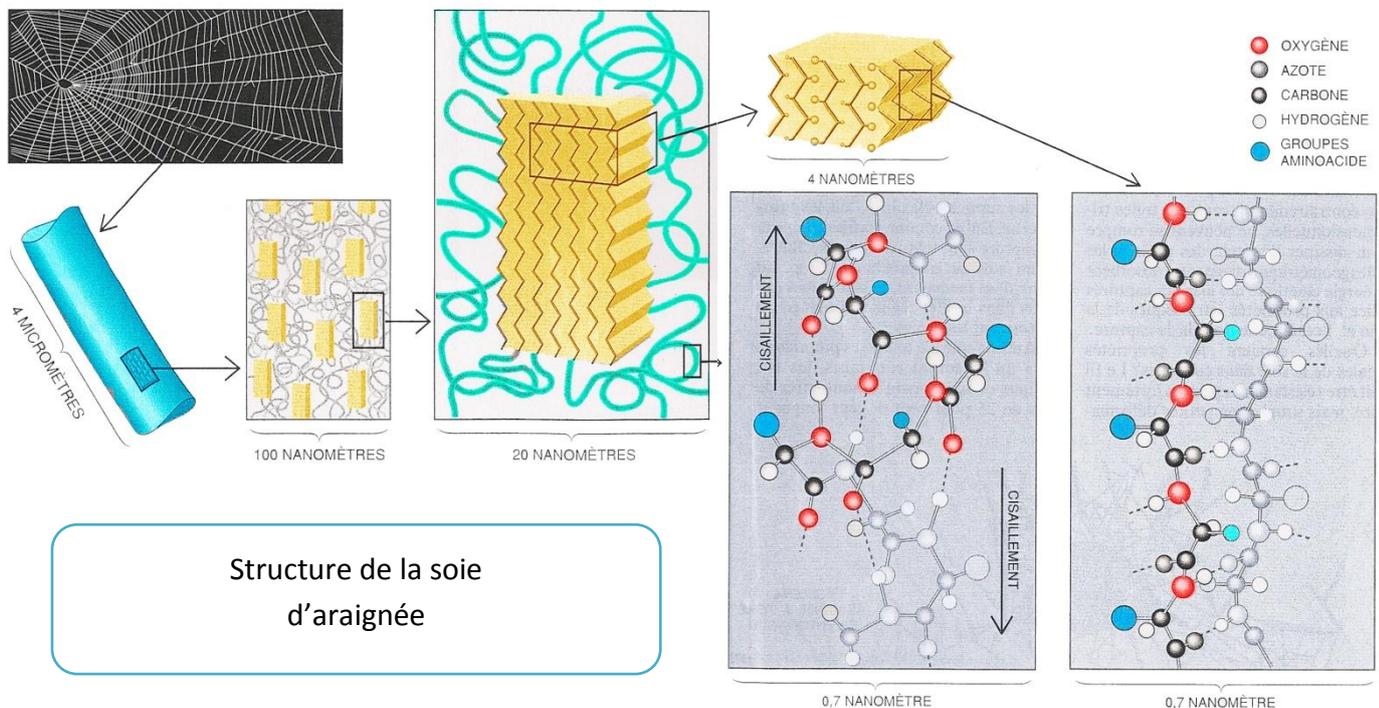


Schéma de l'assemblage des macromolécules de fibroïne

## Forme 3D

Nous avons vu précédemment que la soie d'araignée tenait ses propriétés fantastiques en grande partie des protéines la composant dont la fibroïne, contenant de la kératine, et la séricine qui permet la cohésion du fil de soie en servant de « colle » entre les fibrilles. Cependant, seulement une partie des propriétés sont dues à la composition de la soie : le reste des propriétés, encore impossible à reproduire aujourd'hui, réside dans le « tissage » du fil de soie : comme nous l'avons vu précédemment, la soie passe dans des filières où elle subit des forces de cisaillement, rompant les liaisons hydrogènes de certaines chaînes  $\alpha$  d'acides aminés pour les transformer en feuillets  $\beta$ . La soie est ainsi composée de chaînes  $\alpha$  désordonnées autour de cristaux sous forme de feuillets  $\beta$  (ordonnés) comme vous pouvez le voir dans le document ci-dessous :

⚠ Attention ⚠ : le document que nous possédons étant une photocopie en noir et blanc, les couleurs ne sont pas d'origine : nous avons colorié certaines parties de ce document pour en faciliter la lecture ; de plus, tous les atomes d'oxygène ne sont pas coloriés ainsi que les groupes aminoacide).



Le fil de soie peut avoir différentes formes 3D suivant l'espèce qui l'a tissé, reprenons l'exemple des écribellates et des cribellates : les cribellates ont joué sur l'association des fibrilles pour augmenter la solidité du fil, les écribellates, profitant d'une faiblesse du matériau, ont entouré le fil de soie d'un enduit aqueux, provoquant des treuils et augmentant l'élasticité du fil (cf. **B**). D'autres espèces, au contraire, l'ont entouré de lipides pour éviter le contact avec l'eau, mais il existe d'autres moyens développés par les araignées pour améliorer les capacités du fil de soie.

## B) Caractéristiques

Qu'est-ce qui caractérise la soie d'araignée ou le fil ?

La production de la soie est un mécanisme présent chez de nombreux insectes tels que les bombyx, en effet, ceux-ci produisent aussi de la soie de composition assez proche dans leur stade de transition entre chenille et papillon, en effet, on retrouve les mêmes composants (cf. II A)) mais la séquence primaire, celle d'acides aminés n'est pas identique dans la soie du bombyx et dans celle de la soie d'araignée, ce qui explique les différences assez importantes entre les propriétés de la soie du bombyx et celle des araignées (cf. Courbe contrainte-déformation et tableau-bilan page 32)

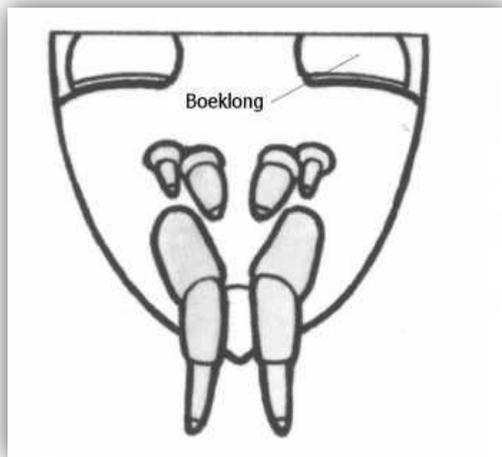
En réalité pour l'araignée, il n'existe non pas un type soie mais de plusieurs types de soies (jusqu'à huit) dont les caractéristiques diffèrent. (cf. I D)). Dans le cadre de ce dossier, des généralités communes à toutes ces soies ont été énoncées auxquelles on ajoutera quelques propriétés caractéristiques de certaines soies spécifiques. On différenciera aussi les araignées cribellates des écribellates (cf. I D)).

Les découvertes de propriétés très intéressantes ainsi que l'essor de la recherche ces cinquante dernières années ont permis le regain d'intérêt pour la soie d'araignée. Ces propriétés mécaniques de la soie d'araignée sont impressionnantes et surpassent celles des matériaux fabriqués artificiellement...

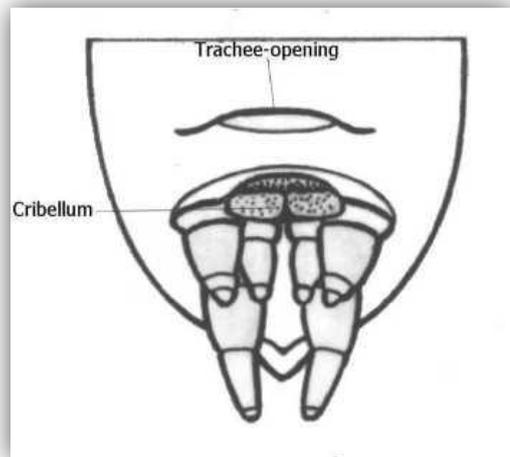
---

### Avant-propos

---



Filières d'une écribellate



Filières d'une cribellate

Chez les écribellates (comme les épeires) tous les fils sont protégés (ou gainés) : l'araignée écribellate recouvre ses fils « secs » d'une pellicule de lipides et les fils de la spirale de capture (cf. Schéma I D)) d'un enduit de solution aqueuse. L'enduit, qu'il soit aqueux ou lipide, est sécrété par des glandes particulières à la sortie des filières (voir schéma ci-dessus). Chez les cribellates tous les fils sécrétés ne possèdent pas d'enduit mais, l'araignée cribellate

sécrète une multitude de fibrilles qui, à l'aide du cribellum, se joignent pour former le fil principal (voir schéma de la page précédente).

### 🌀 Résistance / Résilience

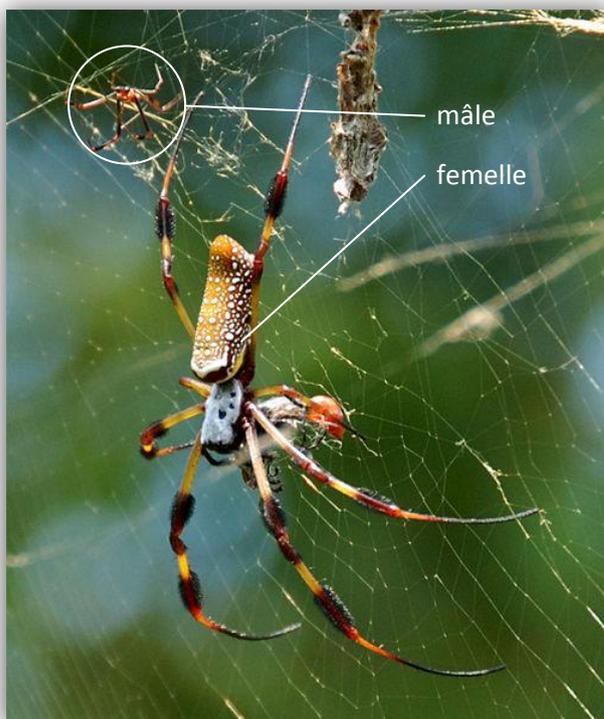
La soie d'araignée, toutes espèces confondues, est une fibre très solide qui résiste très bien à la rupture. Possédant une exceptionnelle qualité de résistance, la soie à diamètre égal est cinq à dix fois plus résistante que l'acier et jusqu'à trois fois plus résistante que le kevlar pourtant considéré comme l'un des matériaux synthétiques les plus résistants de nos jours.

C'est ainsi que certaines araignées comme les araignées sociales guyanaises *Anelosimus eximius* peuvent capturer des proies sept cent fois plus lourdes qu'elles. Cette propriété, une des principales, s'explique par le fait que la soie d'araignée est un matériau composite. D'un côté elle est formée de cristaux en feuillets  $\beta$  stables. De l'autre, les cristaux de feuillets  $\beta$  sont entourés de chaînes  $\alpha$  désordonnées (cf. A)) ce qui donne le



Construction commune d'*Anelosimus eximius*

caractère élastique comme le caoutchouc. C'est grâce à l'interaction entre les régions cristallines, et les régions amorphes que la soie d'araignée possède des propriétés extraordinaires.



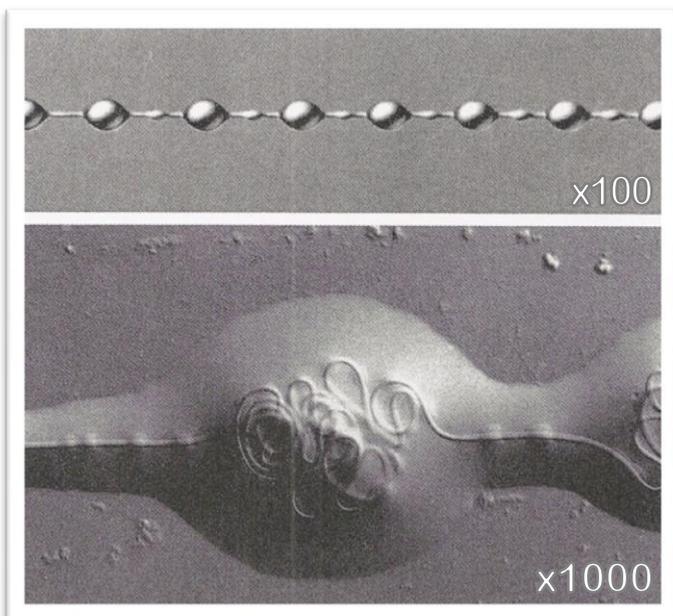
*Nephila clavipes* (néphiles)

En physique, on parlera aussi de résilience pour tester l'énergie cinétique absorbée nécessaire provoquant la rupture directe d'un volume de matériau. La soie d'araignée, possède une résilience allant jusqu'à  $1,3 \cdot 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $= 130 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) pour les néphiles dont certaines tissent des toiles de plus d'un mètre de diamètre avec un fil de soie aux nuances dorées (cf. photo ci-dessous). Ainsi la résilience importante de la soie fait que 1 kg de soie peut arrêter une masse de 400 kg lancée à 100 km/h. En comparaison, 1 kg de kevlar pour une même vitesse ne peut arrêter qu'une masse de 120 kg et seulement de 70 kg pour l'acier.

Chez les écribellates grâce au gainage aqueux ou lipidique (cf. avant-propos), la résistance de la soie est remarquable. On n'étudiera ici en détail que la soie de la spirale de capture qui est la seule soie, chez les écribellates, à posséder un enduit aqueux. Cette soie possède par ses caractéristiques particulières les propriétés les plus intéressantes.

Ainsi, après le dépôt uniforme du liquide aqueux par l'araignée sur le fil de capture, le liquide aqueux se fragmente en gouttelettes par le phénomène d'instabilité de Rayleigh\*, c'est par ce phénomène que l'on observe la rosée sous forme de gouttelettes sur les toiles. La formation de gouttelettes sert ainsi à la création de microtreuils (par une force de traction minimes des gouttelettes) qui sont des petits amas (ou pelotes) de fils enroulés dans les gouttelettes. Si besoin, les microtreuils se tendent progressivement pour permettre au fil de résister par exemple à un choc d'une proie comme une mouche ou plus généralement à une contrainte. Aussi, l'enduit fonctionne comme une sorte de gaine pour protéger le fil comme lors de l'apparition d'une fissure où l'enduit permet au fil de résister ainsi que de limiter la propagation de la fissure. Ainsi la soie de la spirale de capture des écribellates possède en-

core une résistance supérieure aux autres soies produites par la même famille d'araignée.

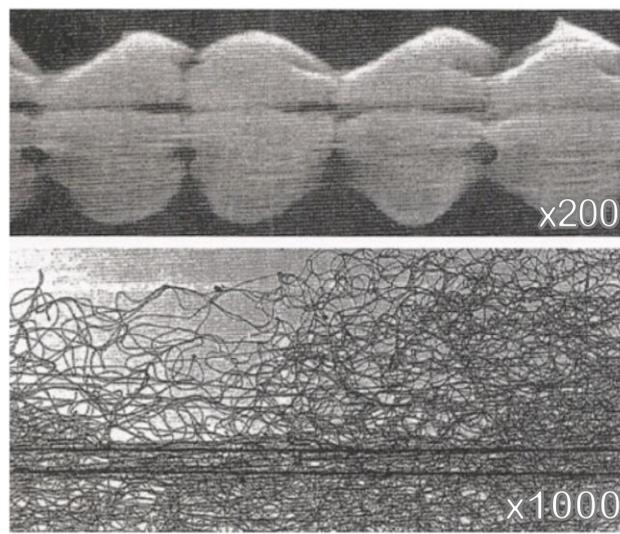


Le fil de capture des araignées écribellates est recouvert d'un enduit aqueux. A un grossissement égal à 100, on voit comment cet enduit se répartit en gouttelettes sous l'action de la tension qu'exerce l'araignée. Cette force regroupe les fibrilles en microtreuil (*en bas*) qui s'allongent en cas de besoin.

La résistance des fils de capture des cribellates est comparable à celles des

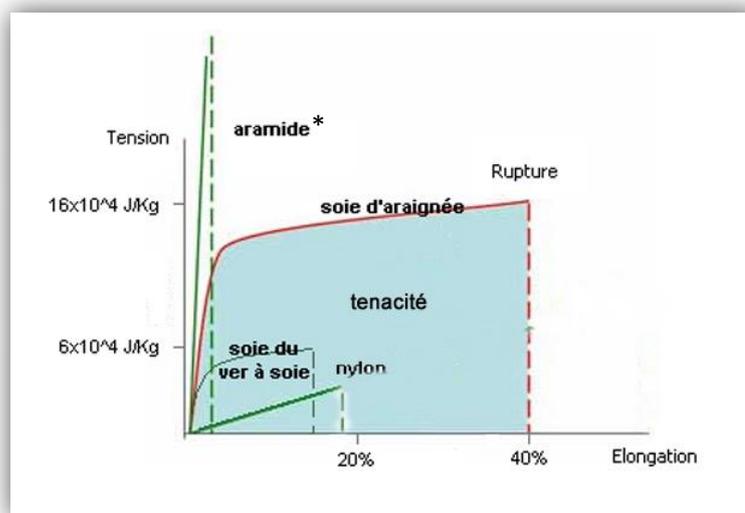
écribellates, en effet, les fils des araignées cribellates résultent d'un tissage minutieux et très dense de fibrilles effectué par leur cribellum. C'est par cette structure très dense de fibrilles entrelacées que la résistance entre les fils de captures cribellates et écribellates est équivalente.

Le fil des araignées cribellates est constitué d'une centaine de fibrilles. Ces fils sans enduits captent aussi efficacement les proies que les fils couverts des araignées écribellates.



Le seul problème avec le fil des cribellates est que la fabrication nécessite davantage d'énergie et de temps par rapport au fil des écribellates : pour une production d'une même longueur de fil, il faut quatre fois plus de temps aux cribellates. Ce sont ces « problèmes économiques » qui expliquent le nombre 100 fois supérieur d'araignées écribellates telles que les épéires.

La soie d'araignée possède une ténacité record, c'est-à-dire qu'elle peut résister très bien à la propagation brutale d'une fissure.



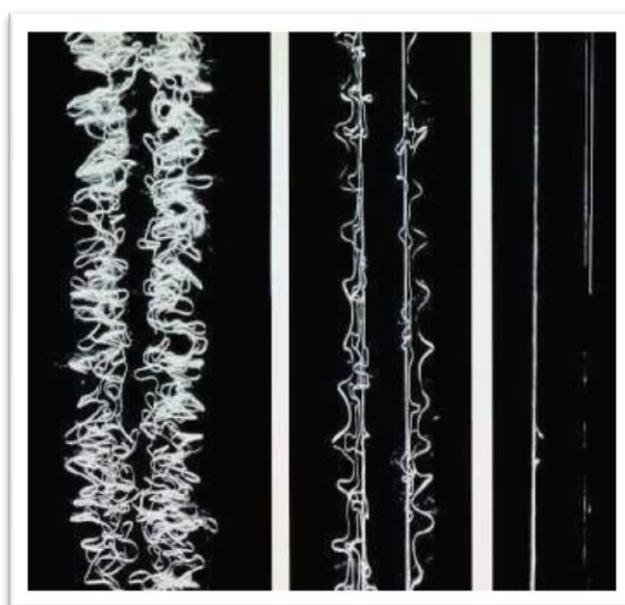
Courbe contrainte-déformation

### 🌀 Élasticité / Ductilité

Peu de fibres ont une résistance à l'étirement comparable à celle de la soie d'araignée, déjà la soie de structure dit « sèche » d'une écribellate comme l'épéire peut subir un étirement de plus de 40% avant de se rompre, elle est ainsi deux fois plus élastique que le nylon. Mais en réalité si l'on prend la soie de la spirale de capture des écribellates on peut atteindre des étirements allant généralement jusqu'à 476% en raison de leur enduit aqueux qui permet le phénomène de supercontraction développé plus bas.

La soie d'araignée de *Steatoda Grossa*, une cribellate, en raison de son tissage, peut être étirée jusqu'à 20 fois sa taille d'origine avant la rupture. On dit que la soie est élastique : elle peut se déformer de façon importante de manière réversible.

Le fort pourcentage d'allongement à la rupture de la soie d'araignée montre que la soie d'araignée est ductile, c'est-à-dire qu'elle a la capacité de se déformer de façon importante



Soie de *Steatoda Grossa* (cribellate) étirée successivement 1, 5 puis 20 fois :

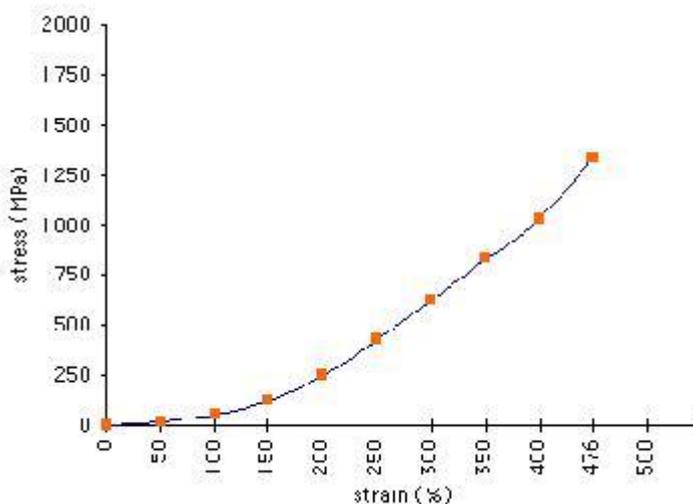
avant de rompre ce qui n'est pas le cas pour le kevlar ou l'acier qui ont des étirements n'excédant pas 3% pour le premier et 2% pour le second. Cette ductilité de la soie est liée au fait que la soie est un matériau composite. (cf. résistance)

Tableau de synthèse des propriétés précédemment énoncées :

Valeurs moyennes des propriétés mécaniques de la soie et des fibres hautes performances fibres synthétiques					
Type de fibre	Densité (g / cm <sup>3</sup> )	Module de Young E (GPa)	Résistance à la traction $\sigma_R$ (GPa)	Allongement à la rupture $\epsilon_R$ (%)	Résilience (MJ / m <sup>3</sup> )
Soie d'araignée					
<i>Argiope trifasciata</i>	1,3	1-10	1,3	5 à 476	100
<i>Nephila clavipes</i>	1,3	1-10	1,8	5 à 476	130
Vers à soie					
Bombyx mori	1,3	5	0,6	14	50
Autre					
Nylon « 6,6 »	1,1	5	0,9	18	80
Kevlar « 49 »	1,4	130	3,6	3	50
Acier	7,8	200	3,0	2	6

La soie d'araignée a l'avantage d'être peu dense, de posséder un module de Young\* peu élevé ce qui signifie qu'elle est très élastique. La résistance à la traction de la soie d'araignée est assez inférieure à l'acier ou au kevlar si on le compare au niveau des fils de diamètre, mais il est bien plus important que celui de l'acier ou du kevlar, si on le compare au niveau du poids du fil. La soie d'araignée possède un allongement possible record, signe d'une formidable élasticité. Enfin la résilience de la soie d'araignée montre encore le caractère très résistant du matériau.

La courbe contrainte-déformation ci-dessous montre comment une faible contrainte engendre un étirement élevé sur la soie de la spirale de capture d'une épeire sans que celle-ci se rompe :



## 🌀 Légèreté

La soie d'araignée est extrêmement légère.

Fritz Vollrath – professeur à l'Institut de zoologie de l'Université de Bâle, et chercheur dans le Département de zoologie de l'Université d'Oxford – précise que « la soie est si légère qu'un fil pour faire le tour de la Terre ne pèserait que 420g. ». Elle a une densité six fois plus faible que l'acier tout en étant cinq à dix fois plus résistante que celui-ci.

## 🌀 Finesse

Le fil que l'on voit à la sortie des filières mesurant environ 2 à 70  $\mu\text{m}$  de diamètre suivant espèce résulte d'un tissage de nombreuses fibrilles. Le diamètre d'une fibrille de soie seule est en moyenne de 0,05  $\mu\text{m}$ , ce qui est inférieur au diamètre de notre cheveu en comparaison (80 $\mu\text{m}$ ).

## 🌀 Mémoire de forme

### 🔴 expérience du nickel-titane (nitinol)

Propriété découverte par les chercheurs du CNRS de la Direction Nord-Ouest. Le fil de soie permet à l'araignée de s'équilibrer. En fait, le fil de quelque façon qu'on le torde revient dans la position initiale sans changement. Par conséquent, on dit de la soie d'araignée qu'elle est à auto-mémoire de forme, ainsi elle n'a besoin de rien pour retrouver sa forme initiale, chose qu'aucun matériau ne peut faire sauf la soie d'araignée.

D'après les tests de torsion à 90° du CNRS sur un fil sur lequel on pose un poids :

Le kevlar est élastique, le cuivre oscille moins mais ne retrouve pas bien sa forme initiale, le nitinol (alliage nickel-titane) est à mémoire de forme mais doit être chauffé pour retrouver sa forme initiale. Par conséquent, la toile d'araignée est le seul matériau résistant et souple qui retrouve sa forme initiale naturellement.

## 🌀 Imputrescibilité / propriété antiseptique

Certes la soie d'araignée est composée de protéines ce qui signifierait qu'elle peut être décomposée par des champignons ou des bactéries. Mais en réalité, ce n'est pas le cas, en effet, la soie d'araignée possède trois substances importantes qui permettent son imputrescibilité : pyridine, hydrogène phosphate de potassium et du nitrate de potassium. Ces trois substances sont introduites dans l'enveloppe liquide de la soie par l'araignée. La pyridine ( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ) est hygroscopique (qui a tendance à absorber l'eau) ce qui permet à la soie de garder une certaine humidité, l'hydrogène phosphate de potassium rend la soie acide avec un pH de 4 par libération de protons dans l'enduit aqueux ce qui empêche donc la croissance bactérienne et fongique (des champignons), enfin le nitrate de potassium permet aux protéines constituant la soie de ne pas se dénaturer en milieu acide.

Ainsi grâce à ces substances, la soie possède des propriétés antiseptiques

### 🌀 Adhésivité

Dans la plupart des cas, la soie de la spirale de capture est la seule posséder cette propriété. Cette adhésivité par la présence d'une sorte de colle sur la soie de la spirale de capture. Chez les écribellates, le produit adhérent se trouve dans l'enduit aqueux. Chez les cribellates, l'explication est plus complexe puisqu'elles n'utilisent pas d'enduit, en fait, en sortant de cribellum, les fibrilles sont précontraintes (comme les rubans de cadeau que l'on boucle à l'aide des ciseaux), c'est-à-dire qu'ils sont électriquement chargés. C'est grâce au filage de centaines de fibrilles électrostatiques que la soie criblée adhère aux proies comme du « velcro ».

### 🌀 Isolation thermique

Certaines soies que produit l'araignée possèdent cette propriété particulière notamment la soie des cocons que l'araignée tisse pour ses petits comme protection face à l'environnement extérieur en particulier pour résister à l'hiver. (Ici on peut voir un cocon d'épeire).

### 🌀 Biodégradabilité

Les fils de soie se décomposent rapidement dans la nature.

### 🌀 Supercontraction

Une propriété remarquable. En effet, lorsque la soie d'araignée atteint un degré d'humidité important, ses fibres raccourcissent de moitié et doublent de diamètre ce qui augmente considérablement l'élasticité de la soie.

N.B. : Les propriétés énoncées ici peuvent plus ou moins varier selon l'espèce, le type d'araignée (cribellate ou écribellate), la nature du fil, la vitesse de sécrétion du fil, les contraintes de cisaillement exercées par l'araignée lors de l'émission et la composition de la kératine alpha pour former la kératine bêta (cf. III A)) ou encore en agissant sur les filières pour faire varier la concentration des protéines, le pH, la pression, le diamètre pour obtenir le fil que l'araignée veut. C'est donc un mécanisme complexe qui est à l'origine de l'émission de la soie.

## C) Application bionique

Les soies d'araignées présentent ainsi des caractéristiques très intéressantes qui sont synonymes d'un important intérêt industriel pour l'Homme.

Il est possible de retrouver ces caractéristiques dans d'autres matériaux, mais il est rare de les retrouver combinées dans un même matériau à la fois résistant et élastique. En effet, les câbles d'acier sont résistants mais ne sont pas aussi élastiques que le caoutchouc qui, lui,

risque de se déformer avec le temps. Au contraire, les cordons de caoutchouc qui ne se déforment pas facilement ne sont pas suffisamment résistants pour supporter de lourdes charges. Cependant, à cause de nombreux problèmes, déjà au niveau de l'animal:

- Instinct territorial et carnivore qui empêche un élevage en groupe,
- Le faible rendement de chaque araignée,

L'exploitation de la soie d'araignée a plutôt été limitée dans l'Histoire jusqu'à ces cinquante dernières années...

### 🌀 Historique de l'exploitation de la soie d'araignée par l'Homme

Tout d'abord, les Grecs de l'Antiquité utilisaient la soie d'araignée comme fil de suture pour fermer les plaies et comme pansement en raison du caractère antiseptique et biodégradable de cette soie. Ensuite il y a eu les aborigènes de Nouvelle-Guinée qui utilisaient la soie d'araignée pour créer des filets de pêche ou des chapeaux pour protéger les chefs de la pluie. Les aborigènes d'Australie et les polynésiens fabriquaient aussi avec la soie d'araignée le fil de leur canne à pêche.

En 1709, un Français, François Xavier Bon de Saint Hilaire (1678-1761), démontra la possibilité de faire à partir de la soie d'araignée du tissu. Beaucoup de cocons ont été bouillis, lavés et séchés pour créer de quelques beaux peignes, chaussettes et gants en soie d'araignée que l'on peut toujours voir au muséum d'histoire naturelle de Lyon. Malheureusement, une étude sur cette méthode, menée par René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) quelques années plus tard, a montré que ce ne serait jamais rentable. En effet, il a calculé que 1,3 millions cocons d'araignée étaient nécessaires pour produire un kilogramme de soie, or, chaque araignée devant être élevée séparément dans une cage individuelle en raison de leur caractère territorial voire cannibale, le coût de production, ainsi que son rythme, étaient incompatibles avec une exploitation commerciale. C'est ainsi que cette production a été abandonnée. Par contre, la soie a été longtemps employée dans certains instruments d'optique, où deux fils croisés servaient de réticule.

Pour trouver une alternative à la soie naturelle il faut attendre la deuxième moitié du XXe siècle et l'essor de la recherche qui initieront la transgénèse : un moyen de produire la soie de façon artificielle. À partir de la guerre du Viêt-Nam en 1960 l'armée américaine s'interroge sur le meilleur moyen de protéger ses troupes c'est ainsi que dans les années 70 elle se penche sur les fibres antibalistiques et la soie d'araignée.

C'est au milieu des années 80 que Randy Lewis qui travaille à l'*US Army Soldier and Biological Chemical Command* à Natick (État-Unis) arrive alors à identifier 2 gènes qui codent pour la production de la soie d'araignée et dépose le brevet sur ces gènes. En travaillant avec l'Université du Wyoming, Lewis tente d'insérer alors ce gène dans les bactéries, mais le rendement qu'elles fournissent est trop faible. En effet, la séquence insérée dans les bactéries est coupée ce qui rend la résistance de la soie produite beaucoup trop faible.

C'est alors qu'en 1993, Jeffrey Turner découvre des similitudes entre les glandes séricigènes et les glandes mammaires d'où l'idée de transférer le gène de la soie d'araignée à un mammifère, comme la chèvre. L'entreprise *Nexia Biotechnologies Inc.* dans laquelle il travaille acquiert alors le brevet de Lewis. En 1996, *Nexia* parvient alors à implanter les gènes de la soie d'araignée dans douze chèvres et commence à recueillir le lait de ces douze chèvres transgéniques qui cohabitent dans une ferme à Montréal où vivent 1000 autres chèvres dites « saines ». Une fois purifiée cette soie produite est filée par l'entreprise pour obtenir un fil. On la nomme alors « *Biosteel®* » ou bio-acier.



🌀 Une production difficile... mise en suspens

Le lait des chèvres a un niveau de production insuffisant pour pouvoir exploiter la soie à grande échelle. En 2002 on compte seulement environ 150 chèvres et brebis qui produisent chacun 20g de soie par litre de lait. En outre, le *Biosteel®* produit par les chèvres, bien que qualité relativement acceptable, n'est encore pas assez performant par rapport à la soie naturelle produite par l'araignée.

En effet, les propriétés résultent qu'en position, pour table soie de imiter les mé-effectués dans le tels que la capacité nomères (des molé-mer de longues chaines traintes de cisaillement l'émission et la composition la kératine bêta (cf. Chapitre III processus des filières pour faire le pH, la pression pour obtenir soie naturelle. De du complexe du fil système de micro-un enduit pour les filage dense et complexe lates. (cf. vue au microscope du fil de soie dans « Résistance »).



de la soie d'araignée ne partie de sa com-obtenir la véri-l'araignée il faut canismes internes corps de l'araignée à polymériser des mo-cules simples) pour for-de protéines, les con-exercées par l'araignée lors de de la kératine alpha pour former Partie A) ou encore tels que les varier la concentration des protéines, nir une soie la plus proche possible de la plus la structure met en jeu un treuils créés par écribellates ou un pour les cribel-lates.

Reproduire ces processus complexes en laboratoire s'avère difficile. *Nexia* tente d'utiliser

une méthode qui consiste à faire pression sur la solution de protéines par le biais de petits trous dans un conduit afin de simuler le comportement des filières, mais c'est insuffisant pour organiser correctement les fibres.

En effet, on ne comprend toujours pas les mécanismes internes très complexe et en particulier comment la polymérisation qui se déroule dans le corps de l'araignée permet à un liquide, principalement constitué de fibroïne, de passer d'un poids moléculaire de 20 000 - 30 000 à 200 000 - 300 000 lorsque la fibroïne s'est solidifiée à la sortie des filières. Ainsi, il y a deux ans, *Nexia* a abandonné la recherche sur la soie d'araignée artificielle, bien qu'elle ait produit des fibres de soie d'un diamètre allant de 10 à 60  $\mu\text{m}$ , la production de soie pour le commerce n'a pas aboutit car on n'arrive toujours pas à imiter les mécanismes internes ainsi que le filage effectués par l'araignée.

Une autre option consiste à utiliser des plantes sur lesquelles on aura au préalable inséré le gène de la soie (toujours par transgénèse) afin qu'elles produisent la soie d'araignée. Des chercheurs canadiens ont réussi à introduire le gène de la soie d'araignée dans des plants de tabac mâles-stériles en vue de produire de grandes quantités de protéines de soie. C'est une production bon marché lorsqu'on la compare aux systèmes traditionnels de production de bactéries et de cellules de mammifères axés sur la fermentation. Cette autre option est pour l'instant encore au stade de l'étude, on songe aussi à utiliser des sojas ou des pois.

Pendant, la soie d'araignée la plus résistante produite jusqu'à maintenant, hormis évidemment celle de l'araignée, provenait du lait des chèvres de *Nexia*.

## 🌀 Différents intérêts pour l'Homme dans l'avenir

### ✦ Industrie

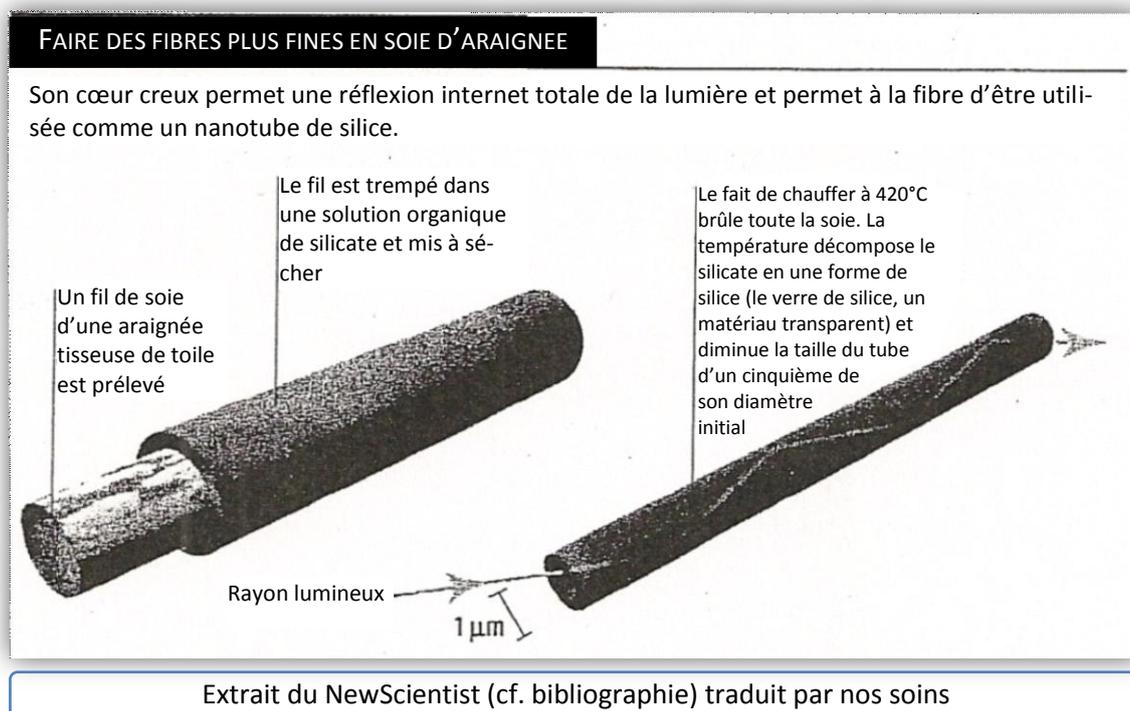
La soie d'araignée filée permettra la fabrication de structures ou de câbles plus résistants, plus souples et plus légers que l'acier ou le kevlar.

De plus cette production de câbles de soie d'araignée nécessitera des infrastructures beaucoup moins lourdes et coûteuses que celles pour l'acier ou le kevlar.

Le kevlar, inventé par l'entreprise américaine Dupont de Nemours en 1965, impose des matériaux dérivés du pétrole et des acides sulfuriques, l'énergie utilisé pour sa fabrication est considérable et les produits utilisés très toxiques. La soie d'araignée réduirait l'utilisation de ces produits et ainsi la diminution de la pollution.

La soie d'araignée sert déjà à la fabrication de réticules (croisement de fils qui définissent l'axe de visée d'un instrument d'optique) pour nombre d'instruments optiques, notamment des microscopes, des télescopes et des systèmes de visée optique, du fait qu'un seul brin de soie d'araignée est plus fin que tous les autres matériaux utilisables. En effet, cette soie d'araignée sert alors de support à un silicate et après traitement thermique la soie disparaît et on obtient ainsi un tube de fibre optique. Pour l'instant on arrive à produire des ainsi des

fibres de 25 nm mais les chercheurs espèrent bientôt produire des fibres optiques de seulement 2 nm de diamètre !



#### ✦ Médical

La soie permettra de faire des sutures sans cicatrices, des greffes artérielles, système de filtrage pour les fluides biologiques voire des restaurations d'organes où elles fourniront le matériau de base pour la reconstruction de certains organes d'articulation endommagés tels que des muscles ou encore des tendons artificiels. Et ce grâce à l'aspect biodégradable, antiseptique, élastique et résistant de la soie.

#### ✦ Militaire

Des chercheurs essayent aussi de créer des équipements en soie d'araignée pour l'armée tels que des gilets pare-balles ou des parachutes. Ainsi, on pourra améliorer ces équipements le plus souvent lourds et peu flexibles. Pour l'instant en kevlar, ces équipements deviendront plus légers, souples et résistants grâce à la soie d'araignée. De récentes recherches

#### ✦ Textile

Sur le même plan que le gilet pare-balles on pourra produire une nouvelle fibre à la fois chaude (propriété isolante), légère et résistante pour des vêtements comme cela a été déjà fait au XVIIIe siècle avec Bon de Saint-Hilaire (cf. historique exploitation) mais cette fois-ci de façon industrielle.

#### ✦ Sports

On pourra produire du matériel sportif de haute performance à la fois élastique, résistant et léger comme des raquettes ou autres.

## Conclusion

Il a fallu déterminer pourquoi l'homme s'intéresse à la toile d'araignée et à la soie qui la compose.

Tout d'abord, nous nous sommes référés à l'animal producteur de la soie et ses spécificités anatomiques afin de comprendre la production de la soie. Cette production repose sur un appareil séricigène complexe propre à l'araignée. De ce système glandulaire, l'araignée sécrète un fil unique par sa composition et ses propriétés.

Sa composition particulière à base de fibroïne et de séricine, combinée au tissage réalisé par l'araignée, donne un fil de soie aux qualités exceptionnelles. Ces propriétés que l'homme cherche à reproduire pour des applications technologiques sont principalement la résistance, l'élasticité, l'auto-mémoire de forme et la capacité anti-septique et biodégradable, synonymes d'un intérêt industriel.

On remarquera que chaque araignée a la capacité de produire différentes sortes de soie à différentes fins. En effet, l'araignée adapte la production de la soie en fonction de son utilisation comme les cocons ou les fils spécifiques de sa toile. L'utilité majeure de la soie chez les araignées tisseuses est la confection de la toile qui leur sert de piège pour capturer les proies.

Malgré les nombreuses études sur la soie d'araignée et une importante possibilité d'application bionique, l'Homme reste aujourd'hui dans l'incapacité de reproduire les mécanismes internes du système glandulaire de l'araignée ainsi que son filage.

En conclusion, la production de soie d'araignée artificielle reste un défi pour la recherche mais on peut d'ores et déjà affirmer que l'exploitation de la soie d'araignée par l'Homme contribuera à des avancées techniques et technologiques majeures.

# Annexe

---

## Des questions encore en suspens

---

- Comment choisir la soie idéale pour les besoins industriels (étant donné que l'araignée est apte à produire différente soie) ?
- Comment réussir à imiter les mécanismes internes qu'effectue l'araignée dans ses filières ?
- Comment réussir à imiter le tissage qu'effectuent les fusules ?
- Comment résoudre le problème de la supercontraction ?
- Comment produire une soie d'araignée industriellement ?

---

## Petite remarque

---

Les chercheurs sur la soie d'araignée et les aranéologues apprécient l'intérêt qu'a généré le film Spider Man pour les araignées et leur soie, comme le chercheur Jeffrey Turner de l'entreprise *Nexia*. Mais il estime qu'Hollywood a mal représenté la résistance de ces fibres ! Le super héros n'a pas besoin de toiles aussi épaisses qu'une corde pour escalader les gratte-ciels et capturer les bandits! Une corde bien plus fine suffirait !

---

## E l a r g i s s e m e n t

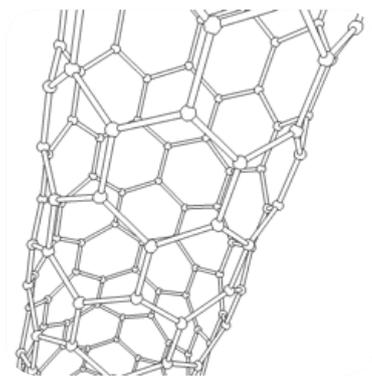
---

La soie d'araignée n'est pas la seule à susciter un vif intérêt chez les scientifiques. On voit aussi l'émergence des nanotechnologies sur le même plan que la soie d'araignée.

On peut parler ainsi des nanotubes comme vu plus haut avec la fibre optique en nanotube de silice. En ce moment, les chercheurs s'intéressent en particulier au nanotube de carbone qui offre une résistance cent fois plus grande que l'acier (cinq à dix fois plus grande que la soie d'araignée) alors que son poids est six fois inférieur pour une même quantité.

Comme les nanotubes sont fixés sur des fibres pour augmenter leur résistance, ceci ne diminuera pas leur flexibilité. Ce qui signifie que ces nanotubes pourraient être fixés sur des vêtements, tissus, combinaison. Devinez alors l'usage que l'on pourrait faire d'un matériau qui combinerait et la soie d'araignée et la technologie du nanotube !

On aurait alors un matériau énormément résistant ! Cependant, la production du nanotube est encore trop onéreuse pour l'envisager dans un avenir proche.



Nanotube de carbone\* en monofeuillet

## **L'araigné, la chèvre et le savant**

L'araignée d'or. Elle construit son nid avec le matériau le plus résistant du monde. Aucun acier, aucune fibre synthétique à ce jour ne présente une stabilité comparable à celle de la soie d'araignée. Mais l'homme n'a pas encore réussi à exploiter ce matériau, car les araignées sont impossibles à domestiquer.

Des scientifiques viennent de décrypter le code génétique de ce fil de soie, ouvrant la voie à sa synthèse artificielle.

### **Jeffrey TURNER, Nexia, Montréal**

"Voici une analyse chimique détaillée d'un gène de la soie d'araignée naturelle. Il faut d'abord isoler les gènes de la soie et en caractériser les constituants chimiques de base. Nous nous intéressons à la soie car la soie d'araignée naturelle ou artificielle est à la base de tout le concept du bio-acier, c'est-à-dire de la fabrication artificielle de soie d'araignée."

C'est ici à Montréal, après cinq années de recherches intenses, que Jeffrey Turner a réussi à introduire le gène de la soie d'araignée dans le code génétique de chèvres. Dans ce laboratoire, la mise au point du bio-acier a débuté avec une chèvre artificielle.

### **Jeffrey TURNER**

"Nous testons soigneusement chaque gène de soie d'araignée dans ce système. Il s'agit d'une chèvre artificielle. Tout ce que nous avons fait, c'est introduire les gènes dans des cellules contenues dans ces cartouches. Nous introduisons ensuite de l'oxygène dans les cartouches, afin de simuler les poumons de la chèvre, avec des pompes qui simulent en même temps l'action du cœur. Nous sommes capables ici de produire de la soie d'araignée en faible quantité avant de passer aux chèvres."

De la soie d'araignée au laboratoire ? Mais pourquoi a-t-on encore besoin d'une chèvre ?

### **Jeffrey TURNER**

"Ce type de système peut produire de l'authentique soie d'araignée synthétique, mais le coût en est très élevé : des dizaines de milliers de dollars, alors qu'une petite chèvre peut produire ce matériau pour un coût nettement inférieur, à peine quelques cents (prononcer centts) ou dollars."

Jeff Turner rend de très fréquentes visites aux chèvres à leur étable, à une heure de voiture au nord de Montréal. Le site est totalement coupé du monde extérieur, comme l'impose la législation canadienne en matière de génie génétique. Les rares voisins connaissent les particularités des animaux élevés ici et acceptent ces recherches.

Dans cette étable, 150 chèvres et une poignée de brebis sont maintenues en bonne santé par cinq assistants. Elles produisent de la protéine de soie d'araignée dans leurs glandes mammaires. Les chercheurs essaient actuellement de trouver la race de chèvre qui serait la plus adaptée à la production de soie. Pour Jeff Turner, la chèvre est l'animal le mieux approprié.

### **Jeffrey TURNER**

"Les chèvres sont très intéressantes, car elles combinent la faculté de produire une descendance rapidement et de donner du lait en grande quantité. C'est donc une situation très avantageuse. Les vaches produisent une grande quantité de lait, mais les périodes de croissance sont très longues. Il faut beaucoup de temps pour passer du veau au lait."

Les chèvres ignorent tout de la valeur de leur lait, mais elles connaissent très bien le chemin de la trayeuse. Un litre de lait contient environ 20 grammes de protéine de soie d'araignée. Après filtration, le lait reste propre à la consommation. Jeffrey Turner espère commercialiser les premiers produits à base de soie d'araignée d'ici un ou deux ans, sous le nom de bio-acier. Pour cela, il lui faudra environ dix fois plus de chèvres qu'aujourd'hui. De nouvelles étables sont déjà en construction.

Après son isolement et sa purification, la protéine est filée pour obtenir des fils de soie. Un procédé secret, qui se déroule derrière des portes fermées.

Voici les premiers fils au monde de ce super matériau qui est censé éclipser tout ce qui existe à ce jour.

### **Jeffrey TURNER**

"Un faisceau de filaments de ce type, torsadés pour former un câble de la taille de votre doigt, aurait une résistance suffisante pour arrêter un avion en plein vol."

Ou une balle. L'armée canadienne investit actuellement dans le développement du bio-acier, car la soie d'araignée augmenterait considérablement le confort des gilets pare-balles.

### **Jeffrey TURNER**

"Les protections balistiques actuelles sont extrêmement lourdes et peu flexibles, car elles contiennent des plaques en céramique. Grâce à la soie d'araignée synthétique, nous espérons pouvoir supprimer ces plaques et fabriquer un gilet qui serait beaucoup plus souple, plus confortable à porter, mais qui aurait les mêmes performances en matière d'arrêt des balles."

À condition que la soie d'araignée tienne en pratique les promesses de la théorie.

À l'université de la Colombie britannique, à Vancouver, le physicien Carl Michal étudie actuellement les propriétés de la soie d'araignée. Pour cela, il a construit un champ magnétique ultra-puissant, qui lui permet d'analyser la structure des minces filaments à des températures extrêmement faibles. Il est également convaincu de l'extraordinaire résistance du matériau, mais le regard qu'il porte actuellement sur la soie d'araignée n'est pas aussi euphorique que celui de Jeffrey Turner.

**Carl MICHAL, Physicien, Université de Colombie Britannique**

"La soie présente d'excellentes propriétés qui intéressent l'industrie. Mais d'autres sont négatives pour une demande commerciale, elle a aussi certaines caractéristiques que l'on ne souhaite pas dans une optique commerciale. Ces fibres présentent un phénomène appelé supercontraction. Quand elles absorbent de l'eau, elles se contractent à environ la moitié de leur longueur. Ce n'est sans doute pas très favorable pour une ceinture de sécurité."

Il reste donc beaucoup à faire avant d'imiter les araignées. Et la Néphila a désormais également de la concurrence en Allemagne. Dans une serre de l'institut de phytogénétique et de recherches botaniques de Gatersleben, près de Magdeburg, on cultive en effet du tabac à soie d'araignée. Le tabac, plante favorite des généticiens, incorpore très facilement un matériau génétique étranger, pousse et se reproduit rapidement. Mais il peut produire seulement quelques millièmes de gramme de protéine de fil d'araignée. Les chercheurs envisagent donc de passer bientôt au soja ou à des pois.

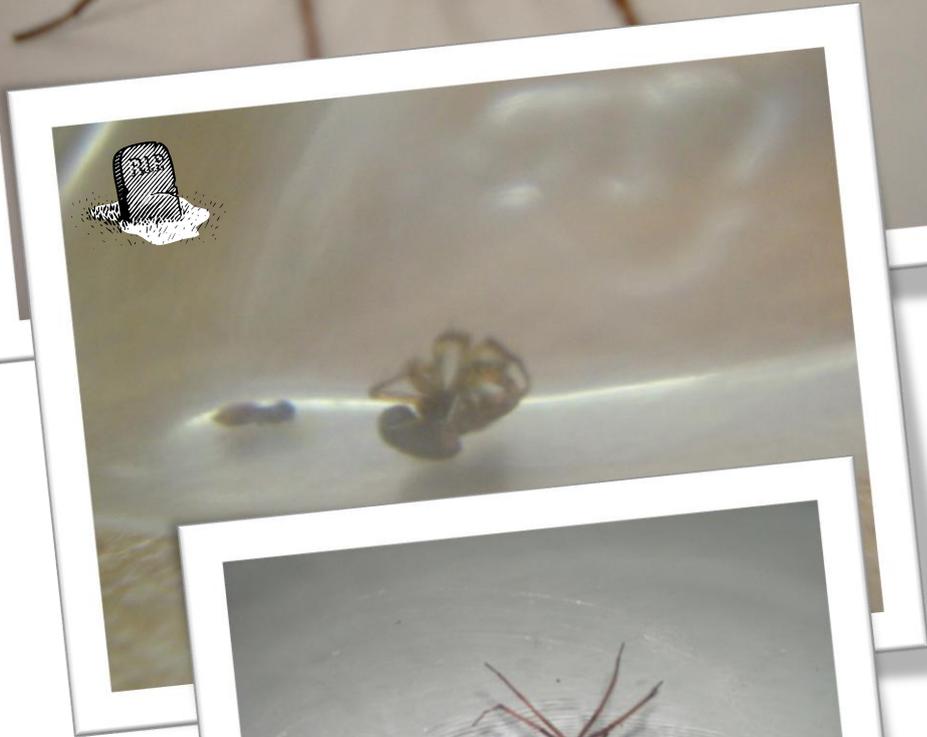
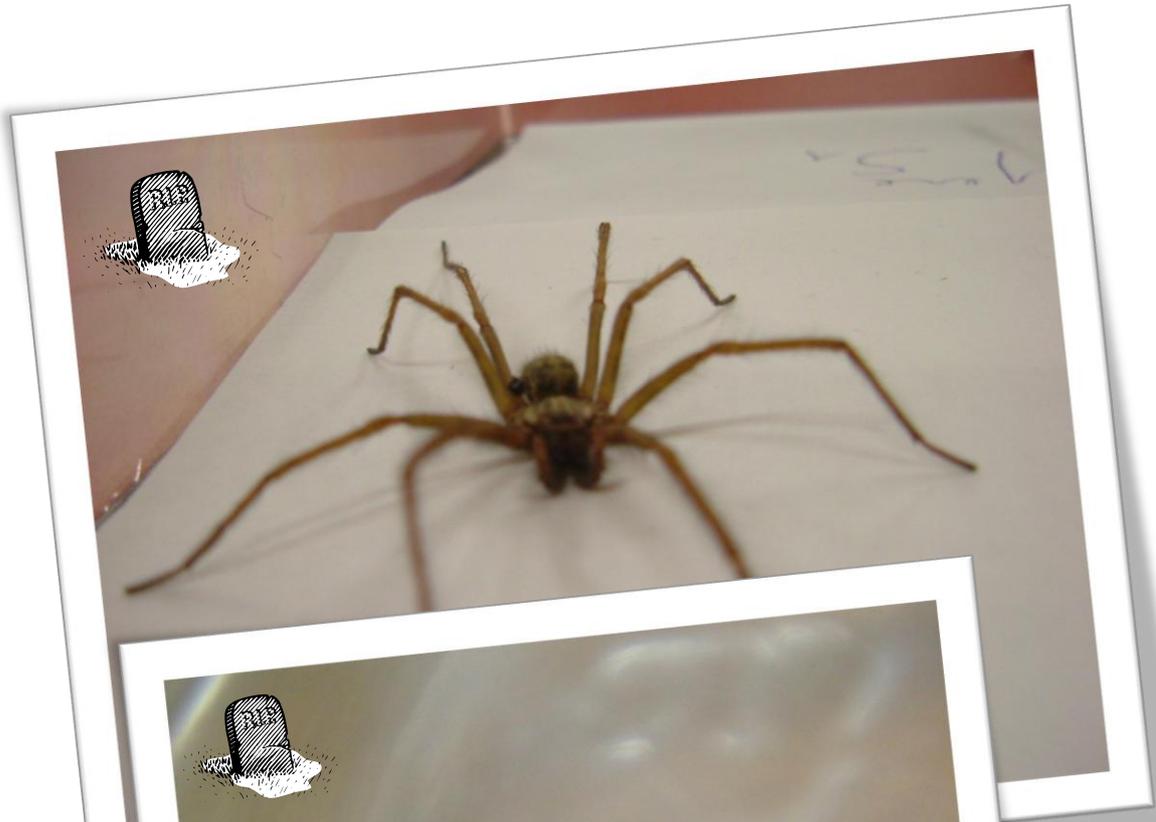
Mais le législateur interdit toute plantation en champ. Les chercheurs ne disposent donc que d'une petite serre pour leur tabac à soie ; trop peu pour produire des quantités suffisantes de protéine. Aussi ils n'ont encore produit aucun fil de soie d'araignée.

La course pour la soie d'araignée a débuté au niveau mondial. Mais à ce jour, l'araignée d'or reste la seule créature capable d'utiliser le matériau miracle. Combien de temps conservera-t-elle ce privilège ?

Sur la piste des gènes du cancer.

Quand des cellules cancéreuses dégénèrent et donnent naissance à des tumeurs, ce sont finalement toujours les gènes présents sur les chromosomes du code génétique qui en sont responsables. Tout ce qui provoque un cancer est inscrit dans les gènes de la cellule. L'étude des gènes pourrait donc être à l'origine d'un futur traitement individualisé du cancer.

N o s a r a i g n é e s



 Araignée décédée

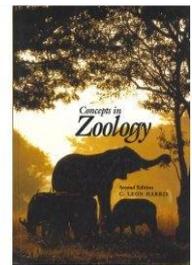
# Bibliographie

---

## L i v r e s

---

- MECQUENEM, Charles de. *L'Araignée Epeire Diadème et la confection de sa toile*. Bourges : Imprimerie de Dusser et Larchevêque, 1924. 32 pages.
- RABAUD, Étienne. *Livre du Centenaire*. Paris : Société entomologique de France, 1932. *Construction et structure de la toile d'Argiope Bruennichi*. Pages [523]-535.
- TILQUIN, André. *La toile géométrique des araignées*. Paris : Presses Universitaires de France, 1942. 536 pages.
- CROMPTON, John. *L'Araignée : (The spider)* Traduit de l'anglais par Mme Irène RADCLIFFE. Paris : Corrêa, 1951. 276 pages.
- *Grand dictionnaire encyclopédique*. Paris : Larousse, 1982. Tome 1, articles « araignée » et « arachnides ». 736 pages.
- SHEAR, William A. *Spiders: webs, behavior, and evolution*. Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1986. 492 pages.
- DREVET, Joël. *Expression concertée des gènes codant pour les protéines de la soie chez Bombyx mori : des facteurs protéiques identiques reconnaissant les régions – flanquantes des gènes P25 et de la fibroïne*. Microfiche Grenoble : Atelier national de reproduction des thèses. 1 microfiche 105 x 148 mm. Lyon : 1989. 121 pages.
- WISE, David H. *Spiders in ecological webs*. New York: Cambridge University Press, 1993. 328 pages.
- *Encyclopædia Universalis*. Paris : 1996. Tome 2. 1054 pages.
- HARRIS, C. Leon. *Concepts in zoology*. New York: HarperCollins College Publishers, 2<sup>ème</sup> édition, 1996. 891 pages.
- CRAIG Catherine L. *Spiderwebs and silk: tracing evolution from molecules to genes to phenotypes*. New York: Oxford University Press, 2003. 230 pages.
- CORBARA, Bruno. *Constructions animales*. Paris : Delachaux et Niestlé, 2005. 255 pages.



---

## P é r i o d i q u e s

---

- VOLLRATH, Fritz. Les araignées, leurs toiles et leurs soies. *Pour la science*, mai 1992, n°175, pages 84-91. (traduit de l'anglais par Mme Christine ROLLARD)
- PENMAN, Danny. Spiders weave a web of light. *NewScientist*, 22/03/2003, page 20.

---

## S i t e s W e b

---

- Ben. Blog & Forum Sciences - Informatique [en ligne]. Visité le 05/10/2007. <http://www.sur-la-toile.com>
- Futura-sciences. Futura-Sciences Accueil Au cœur de la science ! [en ligne]. Visité le 08/10/2007. <http://www.futura-sciences.com/>
- FNSNF :  FONDS NATIONAL SUISSE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS. Schweizerischer Nationalfonds (SNF) zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung - Homepage [en ligne]. Visité le 18/10/2007. <http://www.snf.ch/F/Seiten/default.aspx>
- DOAN TRAN Frederic, PIZANO Charles et KALDONEK Alexander. Sommaire [en ligne]. Visité le 17/11/2007. <http://bombyx2.tripod.com>
- Dailymotion. Dailymotion - Share Your Videos [en ligne]. Visité le 14/01/2008. <http://www.dailymotion.com/fr>
- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.  CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CRNS... [en ligne]. Visité le 07/02/2008. <http://www.cnrs.fr/>
- Nature Publishing Group ©. Nature Publishing Group : science journals, jobs, and information [en ligne]. Visité le 07/02/2008. <http://www.nature.com/index.html>
- Google©. Google [en ligne]. Moteur de recherche. <http://www.google.fr>
- Altavista ©. Altavista [en ligne]. Moteur de recherche. <http://www.altavista.com>
- DUBOIS, Pascal. Côté Nature - Les Araignées de France – Arachnides [en ligne]. Visité le 19/02/2008. [http://pdubois.free.fr/a\\_arachnides.php](http://pdubois.free.fr/a_arachnides.php)
- VERNEAU, Norbert et U. MARINU. Document sans titre [en ligne]. Visité le 21/02/2008. <http://norbert.verneau.free.fr/sommaire.html>
- AMOS, Bill. Mic-UK [site A]: The spiders web - part II [en ligne]. Visité le 20/01/2008. <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artdec98/baspid4.html>
- Association Terre sacrée. Environnement : SOS-Planete, le site de l'association Terre "sacrée", parce qu'on la massacre! Base vivante environnementale. [en ligne]. Visité le 12/12/2007. <http://terresacree.org/>
- Le Figaro. Le Figaro - Actualités [en ligne]. Visité le 05/10/2007. <http://www.lefigaro.fr>
- Wikipédia. Accueil - Wikipédia [en ligne]. Visité le 05/10/2007. <http://fr.wikipedia.org>

- YouTube. YouTube - Broadcast Yourself [en ligne]. Visité le 14/01/2008. <http://fr.youtube.com>
- Athénée Fernand Blum. AFB [en ligne]. Visité le 20/01/2008. <http://www.afblum.be>
- Le vent tourne [en ligne]. Visité le 04/02/2008. <http://leventtourne.free.fr/>
- Arte. ARTE | Archimède [en ligne]. Visité le 18/02/2008. <http://archives.arte-tv.com/hebdo/archimed/20010731/ftext/index.html>
- SLAWSON, Craig. Spiders of NW-Europe [en ligne]. Visité le 12/11/2007. <http://www.xs4all.nl/~ednieuw/Spiders/spidhome.htm>

---

## L o g i c i e l s

---

- *Dreamweaver 8*. 2006 : [cédérom]. Macromedia, Adobe®.
- *Illustrator CS2*. 2006 : [cédérom]. Adobe®.
- *Internet Explorer 7*. 2006 [cédérom]. Microsoft® corporation.
- *Mozilla Firefox v.2*. 2006 [cédérom]. The Charlton Company.
- *MyDVD Plus v.6.1.0*. 2005 : [cédérom]. Sonic™.
- *Office Famille et Étudiant*. 2007 : [cédérom]. Microsoft® corporation.
  - OneNote® 2007
  - PowerPoint® 2007
  - Word 2007
- *Photoshop® Elements*. 2001 : [cédérom]. Adobe®.
- *Pinnacle Studio 9*. 2004 : [cédérom]. Pinnacle Systems Inc. Microsoft®.

## Contacts

- ROLLARD, Christine. Aranéologue au Muséum National d'Histoire Naturelle. Rencontrée le 06/02/2008 (cf. carnet de bord)
- MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle. Bibliothèque Centrale. 38 rue Geoffroy-Saint-Hilaire - 75005 PARIS.

# Lexique

- ✦ Allongement à la rupture : c'est le pourcentage de la longueur d'étirement du matériau au moment où celui-ci rompt par rapport à la longueur initiale.
- ✦ Arachnide : Classe d'animaux arthropodes comprenant les araignées, les scorpions, etc.
- ✦ Aramide : Il s'agit d'une fibre technique organique obtenue à partir de polymères polyamides aromatiques (ou polyaramides) par synthèse chimique à basse température (-10°C), en solution acide, filage humide, par coagulation, selon un procédé gardé secret. Les fabricants offrent deux types de fibres de rigidité différente: l'une à bas module utilisée pour les gilets pare-balles, gants de protection, combinaison anti-feu et les câbles, l'autre à haut module utilisée pour le renfort des matériaux composites HP (haute performance). Il existe deux familles d'aramides: Les **para-aramides** (kevlar®, Twaron®) ; les **méta-aramides** (Nomex, Kermel). Les "méta" ont des propriétés mécaniques plus modestes que les "para", mais ont d'aussi bonnes propriétés vis-à-vis de la chaleur, avec en plus un toucher textile.
- ✦ Aranéide : Sous-classe d'araignées comprenant les araignées.
- ✦ Aranéomorphe : Les aranéomorphes (ou labidognathes) rassemblent actuellement, avec plus de 32 000 espèces environ 95 % des araignées décrites. Elles sont caractérisées par des chélicères modifiées, dont la base est dirigée vers le bas, perpendiculaire à l'axe du corps, et dont les crochets se croisent diagonalement, à la manière d'une paire de pinces.
- ✦ Arthropodes : Embranchement regroupant les animaux à symétrie bilatérale, ayant des pattes articulées (au moins 6) et une carapace protectrice de chitine.
- ✦ Bionique : est une science qui se base sur l'étude des systèmes biologiques pour le développement de systèmes non biologiques susceptibles d'avoir des applications technologiques ainsi elle étudie la vie avec l'objectif de comprendre les mécanismes de fonctionnement des organismes vivants et évolutifs afin de pouvoir les appliquer aux créations humaines.
- ✦ Céphalothorax : désigne la partie antérieure du corps de l'araignée est le résultat de la fusion de la tête « cephalo » et du tronc « thorax ».
- ✦ Cristaux liquides : Un cristal liquide est un état de la matière qui combine des propriétés d'un liquide conventionnel et celles d'un solide cristallisé.
- ✦ Élongation (ou élasticité) : correspond au pourcentage d'élongation d'une fibre par rapport à sa longueur initiale.
- ✦ Filières : Organes servant à la sécrétion de la soie chez l'araignée.
- ✦ Fusule : Orifice en fore de cône, placé à l'extrémité des filières, qui représente le débouché de l'appareil séricigène.

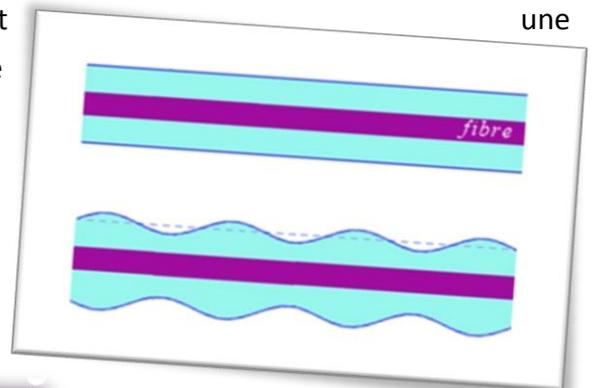
✦ Glandes séricigènes : Les glandes séricigènes sont des poches qui ont pour rôle de fabriquer et de stocker la soie.

✦ Mygalomorphes : Nom de sous-ordre des aranéides donné aux mygales. Les mygales se différencient des aranéomorphes par leurs chélicères, leurs crochets et leur taille plus imposant.

✦ Nanotube de carbone : structure cristalline particulière, de forme tubulaire, creuse et close, composée d'atomes disposés régulièrement en pentagones, hexagones et/ou heptagones, obtenue à partir de certains matériaux, en particulier le carbone et le nitrure de bore.

✦ Orbitèle, araignée : Araignée qui tisse une toile verticale en cercles concentriques.

✦ Phénomène d'instabilité de Rayleigh (extrait du livre de P-G de Gennes "Gouttes, bulles, perles et ondes"(1), pp.108-111) : c'«est d'instabilité classique liée aux interfaces est celle des cylindres de liquide. Considérons ainsi une fibre (un cheveu par exemple, dont le diamètre vaut environ 80  $\mu\text{m}$ ) gainée de liquide. D'une façon très générale, le film est instable: il ondule tout en conservant [une certaine symétrie



La rosée sur une toile

par rapport

au cheveu.] Puis les ondulations continuent à croître et se résolvent finalement en plusieurs gouttelettes. Ce qui pilote l'instabilité est seulement la tension de surface du liquide (et non la gravité). » (voir schéma ci-dessus). C'est aussi par ce phénomène qu'on peut observer la rosée sous forme de gouttelettes sur les toiles.

✦ Résilience : C'est l'énergie cinétique absorbée nécessaire pour provoquer la rupture directe d'un volume de matériau.

✦ Résistance à la traction : c'est la contrainte que l'on doit exercer en étirant un matériau sur un axe pour le faire rompre.

✦ Réticule : permet, dans un appareil optique, d'effectuer des visées plus précises en interposant dans le champ visuel net (souvent à l'intérieur même de l'oculaire à composants optiques multiples) une croisée simple ou double de fils traçant un repère permettant des alignements. Ces fils devant être très fins, ceux de l'araignée ont été longtemps utilisés.

✦ Young, module de ou module d'élasticité noté E : contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100% de la longueur initiale d'un matériau (il doublerait donc de longueur), si l'on pouvait l'appliquer réellement : dans les faits, le matériau se déforme de façon permanente, ou se rompt, bien avant que cette valeur soit atteinte. Dans la plupart des cas on a le module d'Young d'après une courbe contrainte-déformation : Le module de Young est ici représenté par la pente de la courbe dans sa partie linéaire. Si la valeur du module de Young est forte on dit que le matériau est rigide, cela veut dire que l'intensité des liaisons dans le matériau est forte.

