

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

return on innovation

www.onera.fr

université
PARIS
12
DIDEROT



Apport de la MEB pour la conception d'aile de microdrone

A. Luc-Bouhali¹, A. Mavel², P. May³

¹Onera/DPRS agnes.luc-bouhali@onera.fr

²Onera/DMSC anne.mavel@onera.fr

³Université Paris-Diderot p.may@univ-paris-diderot.fr



return on innovation



Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Microdrones à ailes battantes ?

Un drone :

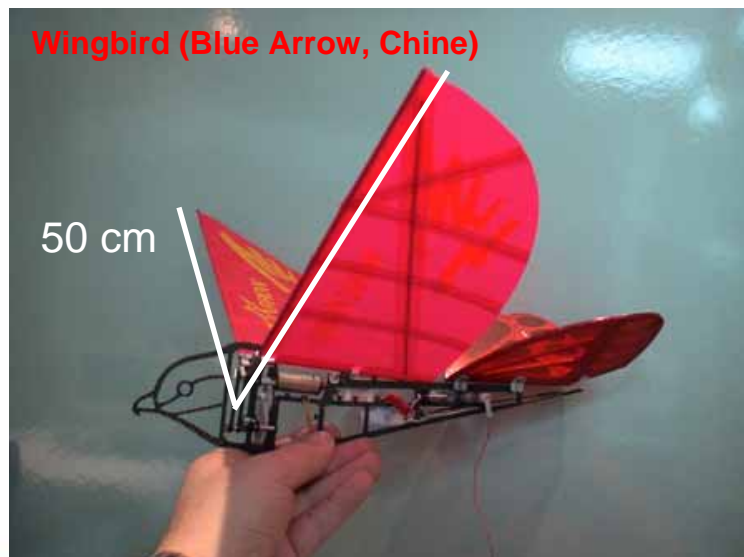
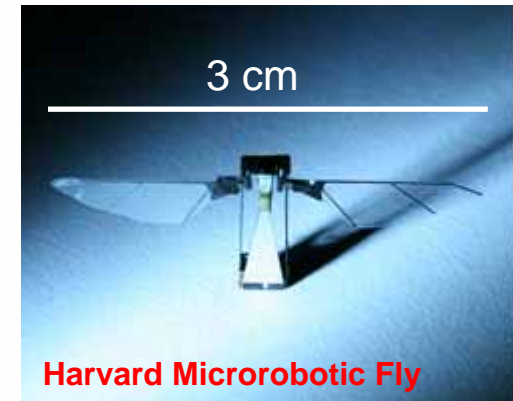
- Engin aérien sans pilote à bord
- Contrôlé du sol, ~autonome

Microdrone :

- Envergure < 15 cm

Utilisation :

- Surveillance



REMANTA - REsearch program on Micro Aerial vehicle and New Technologies Application

Sujet

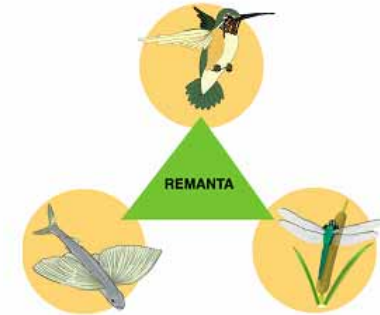
Études des problèmes scientifiques posés par la réalisation d'un microdrone futur et des technologies associées à mettre en œuvre

Objectifs

- Pas de prototype de microdrone envisagé
- Améliorer notre compréhension des sciences et techniques indispensables / nécessaires à la réalisation d'un microdrone à ailes battantes
- Pouvoir répondre à la question : un µdrone à ailes battantes est-il un concept viable ?

Organisation en mode Projet

- Durée : 5 ans 2002-2006
- 4 thèmes abordés :
 - Mécanique et contrôle du vol
 - Aérodynamique bas Reynolds
 - Matériaux
 - Structures



Le biomimétisme : quelle aide dans le PRF ?

Orienter voire conforter certains choix :

Pour l'aérodynamique

- Vol battu type insecte
- Les effets de Reynolds et les phénomènes instationnaires
- Les types de cinématiques

Pour le pilotage

- Les types de cinématiques
- La liste initiale des paramètres potentiels de commande

Pour la **structure** et le **mode d'actionnement**

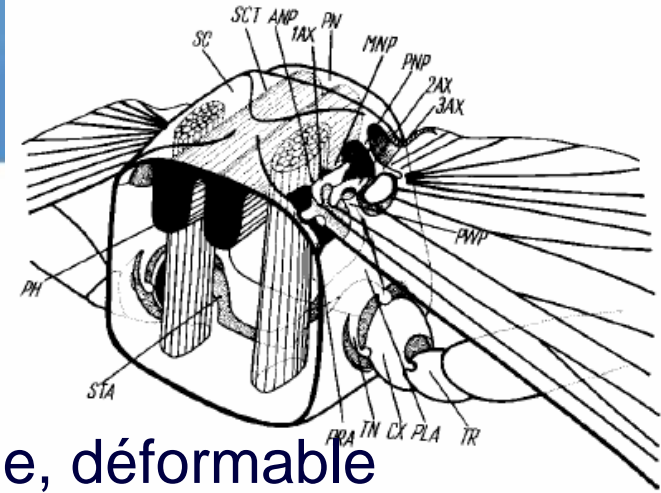
- Le principe d'un thorax résonant
- Le choix d'ailes de souplesse passive

S'inspirer de la nature :

- Ne pas copier
- Étudier
- Comprendre
- Utiliser

Car l'ingénieur et la nature n'ont pas les mêmes besoins / objectifs / contraintes

Thorax (ptérothorax)



Un ensemble complexe :

- Une « boîte » de matériau très élastique, déformable
- Remplie entièrement de muscles, du système de trachées (tubes) et pleine d'hémolymphe
- Pouvant stocker de l'énergie (résiline)
- Réalisant un système mécanique résonant
- Muscles directs ou indirects (fibrillés)
- Mécanisme de click (fréquences élevées)

➡ idée du thorax résonant (système mécanique) :
dissipation d'énergie minimale dans la structure

Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Libellule: *Cordulegaster boltonii*



Élevage: Stabulation des Larves au LMCE



Direction - Conférence

Larves de libellule



Emergence et déploiement alaire



0.1 mm

Phase pré terminale

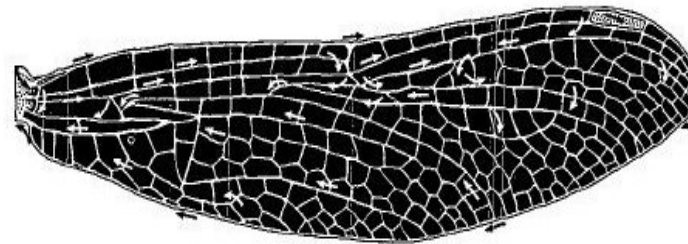
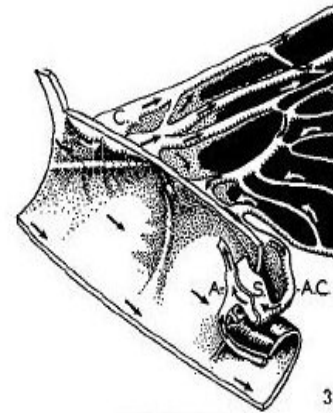


Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

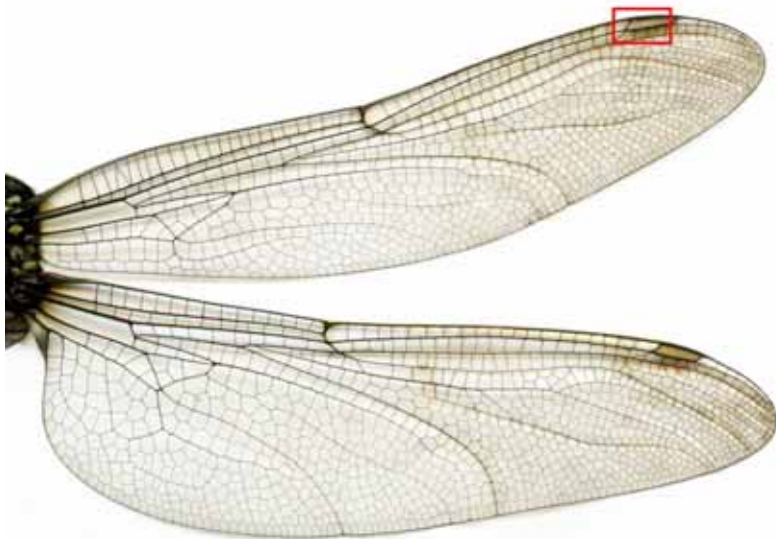
Redécouvrir le réseau hydraulique dans l'aile

ARNOLD, J. W. (1964).
Blood circulation in insect wings.
Mem. Ent. Soc. Canada. **38**,3-60.

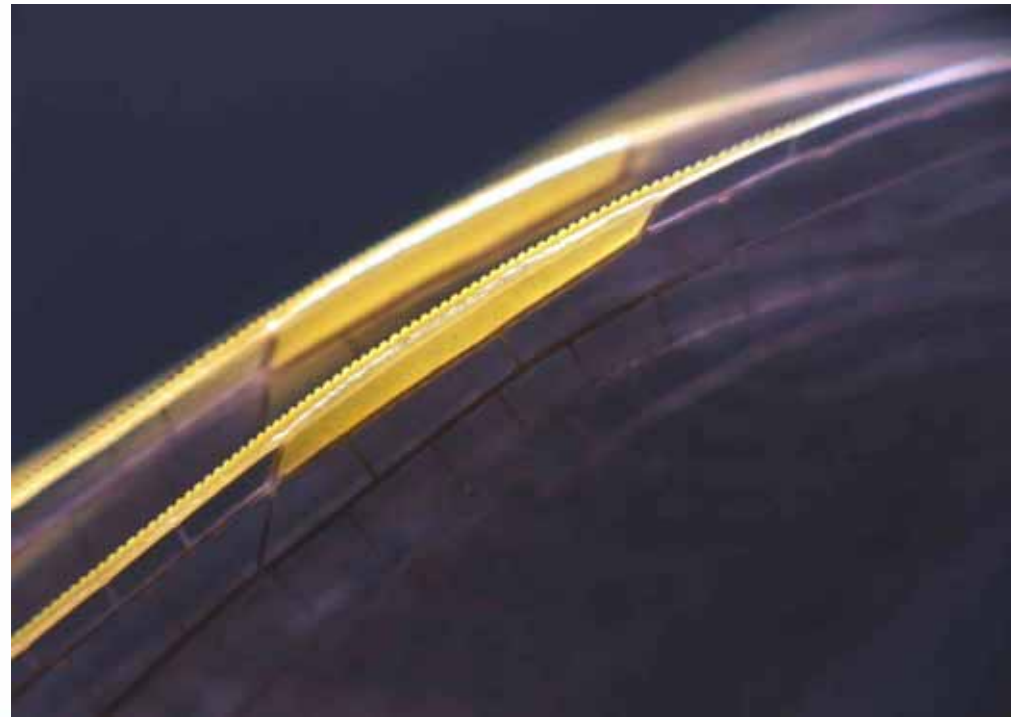


Ailes: Ptérostigma

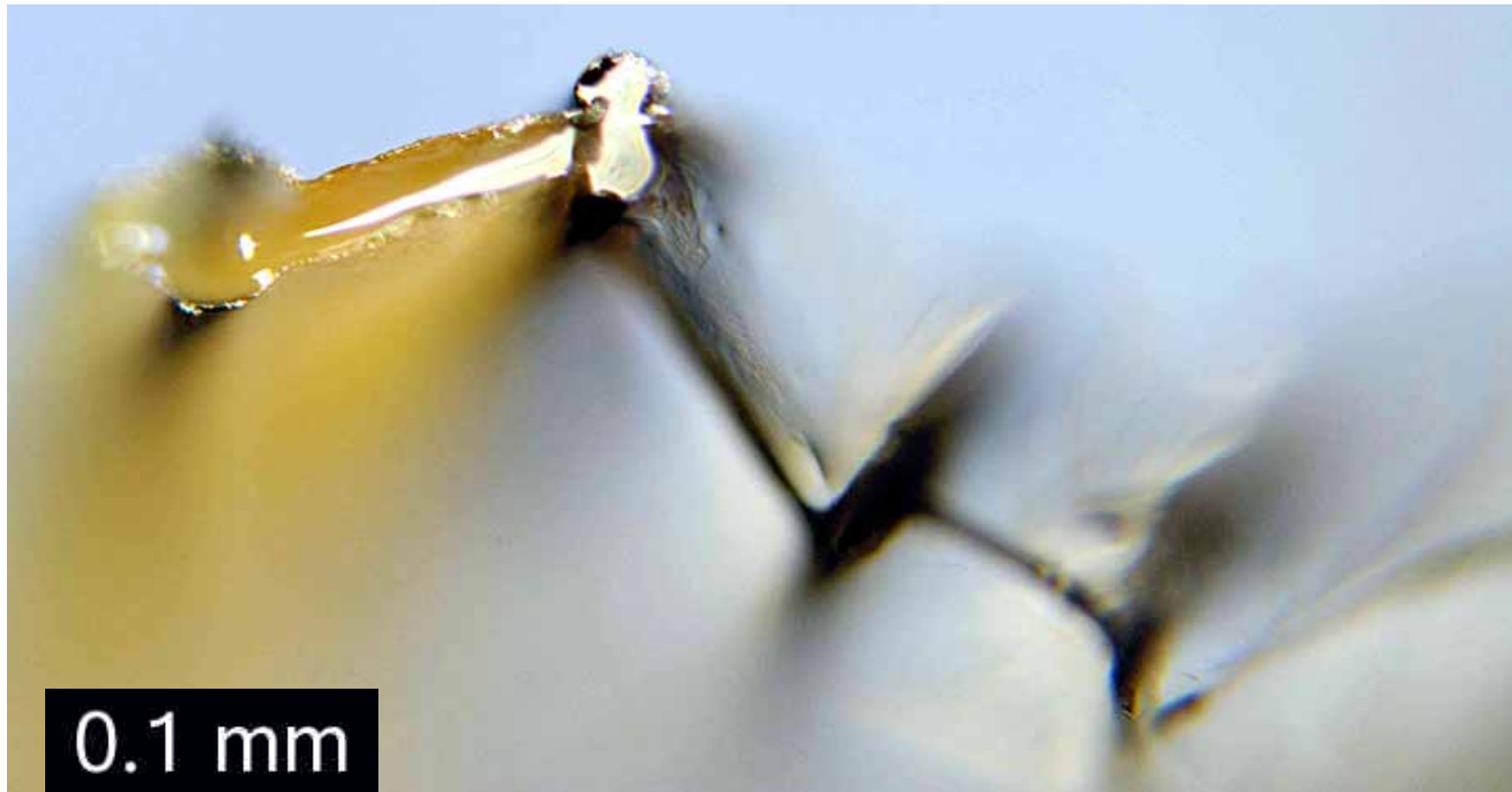
- C'est un réservoir d'hémolymphe situé à l'extrémité distale du bord d'attaque des ailes de la libellule.
- Son rôle est/serait celui d'un stabilisateur et d'un stockage d'inertie lors du battement car il favorise la prono-supination de l'aile.



Direction ·



Aile: Ptérostigma et Contenu Liquidien



Direction - Conférence

Plan

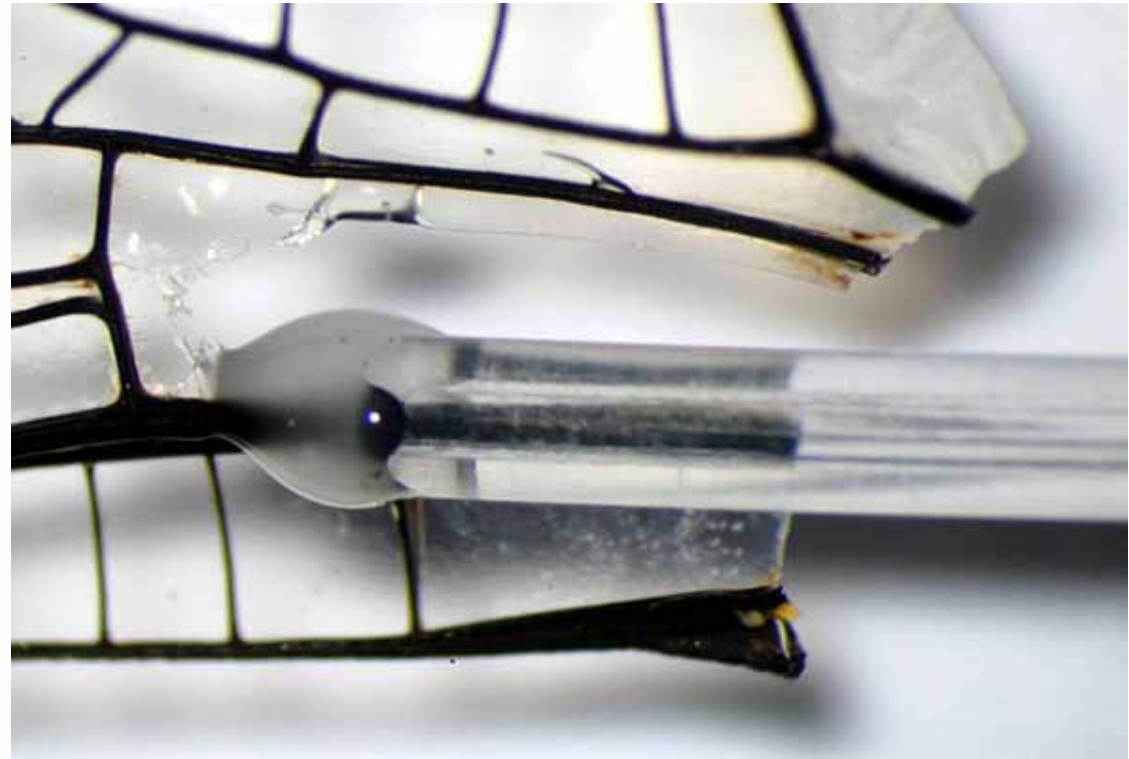
1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Microradiographie Standard



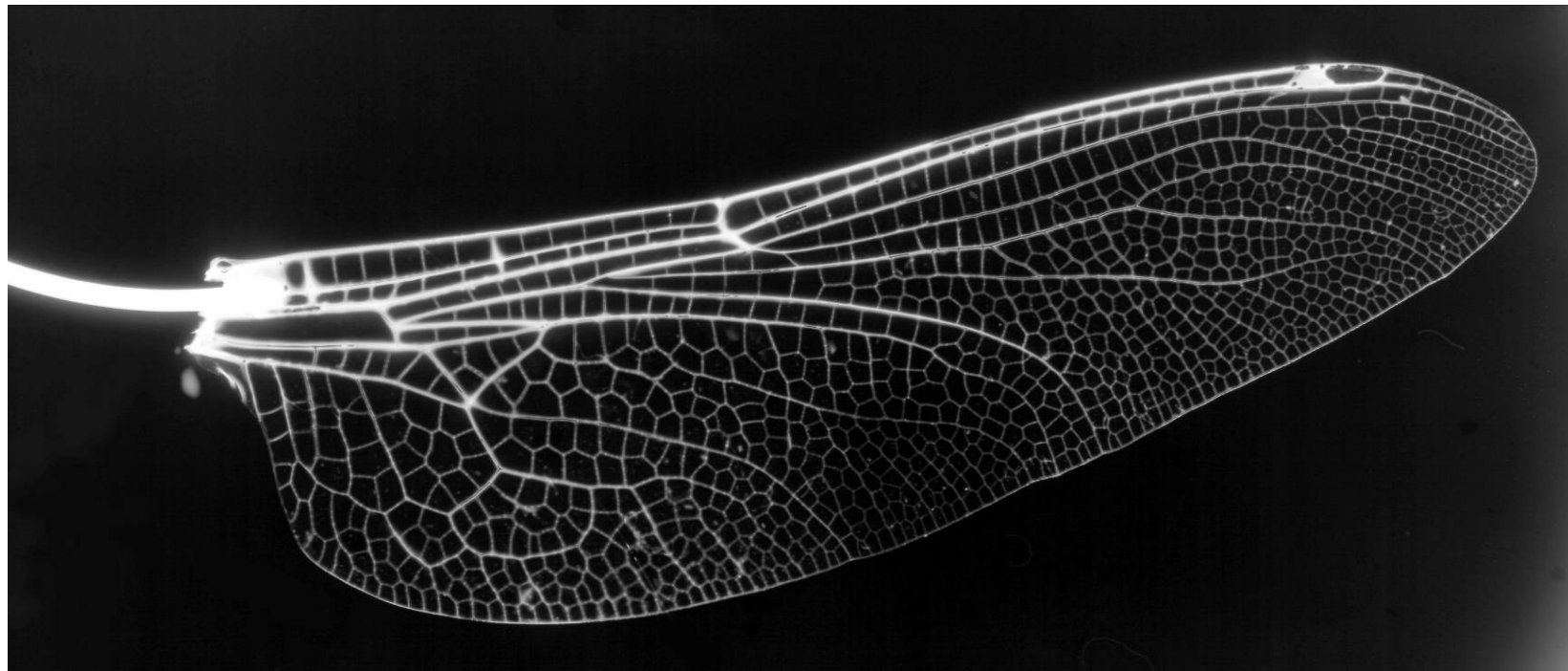
Direction - Conférence

Microradiographie: Canulation d'une Veine



Direction - Conférence

Microradiographie après Injection de LIPIODOL®

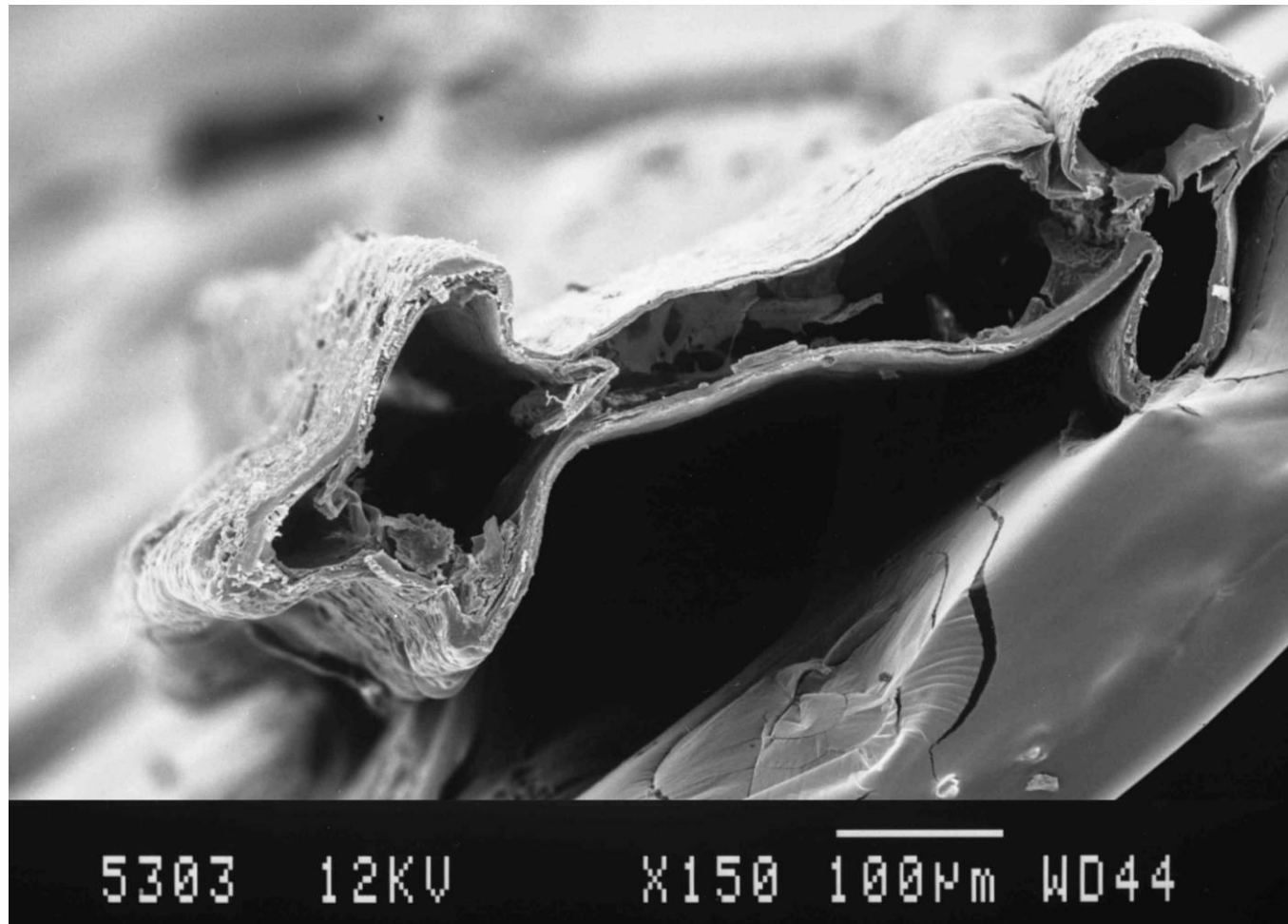


Direction - Conférence

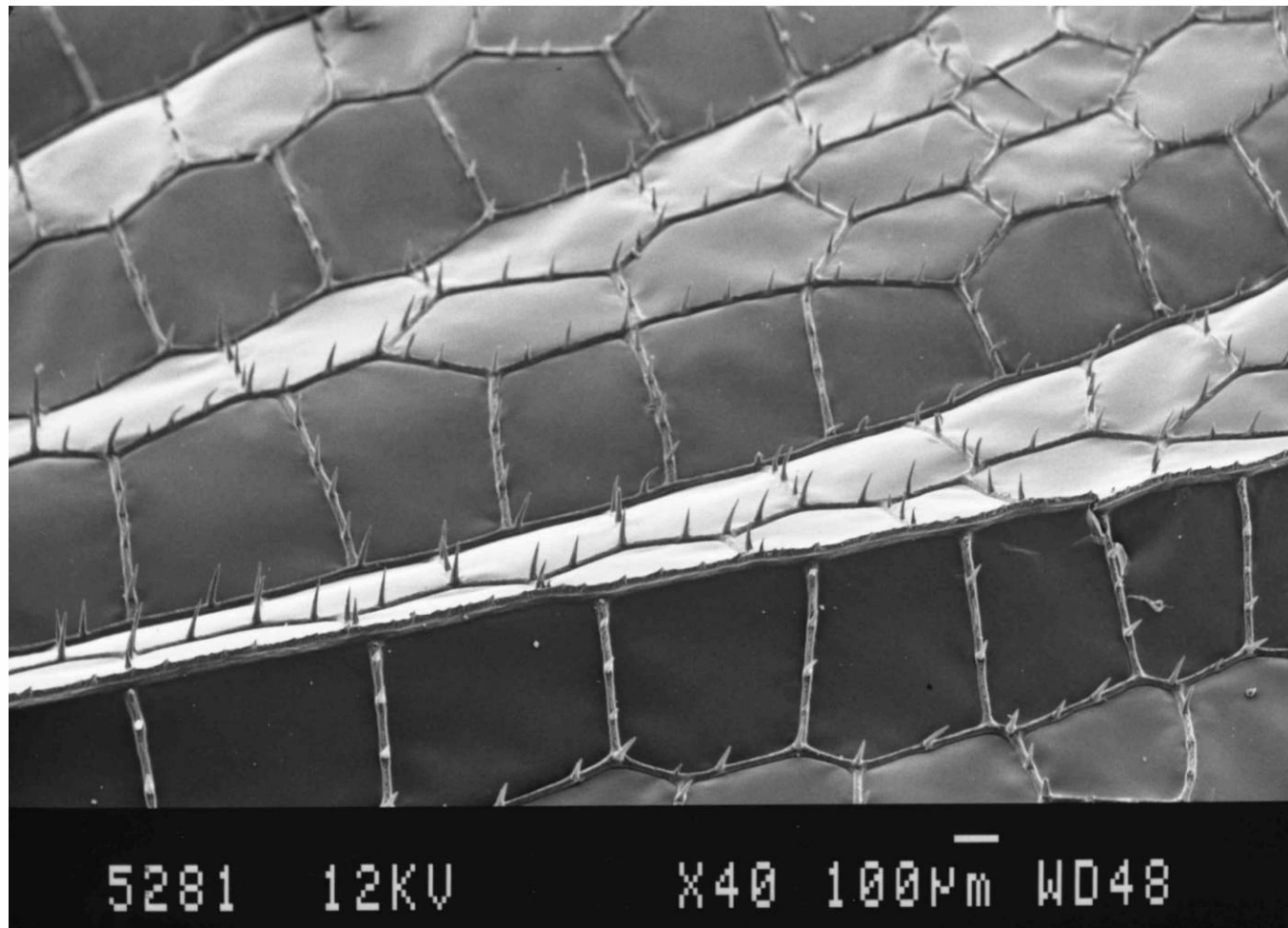
Observation en microscopie électronique « classique »

- MEB conventionnel Tungstène
- Préparation des échantillons biologiques par dessiccation
- Métallisation à l'or

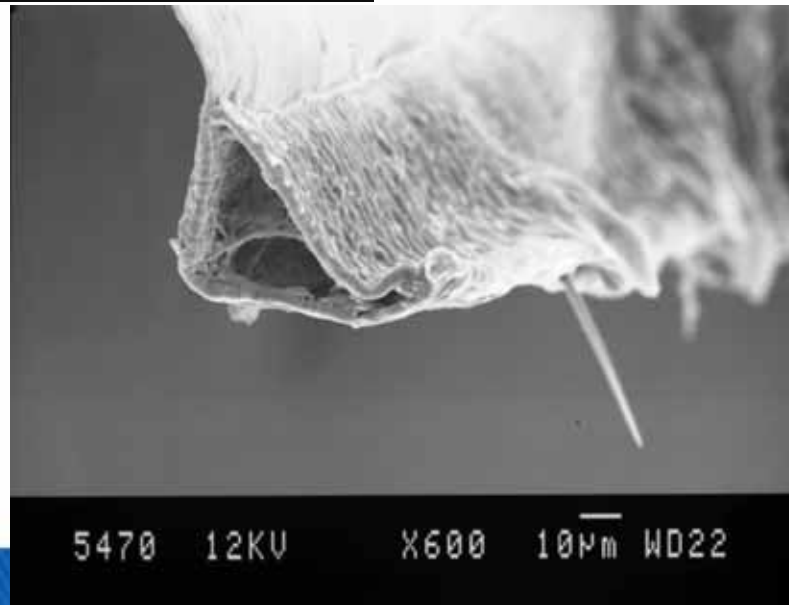
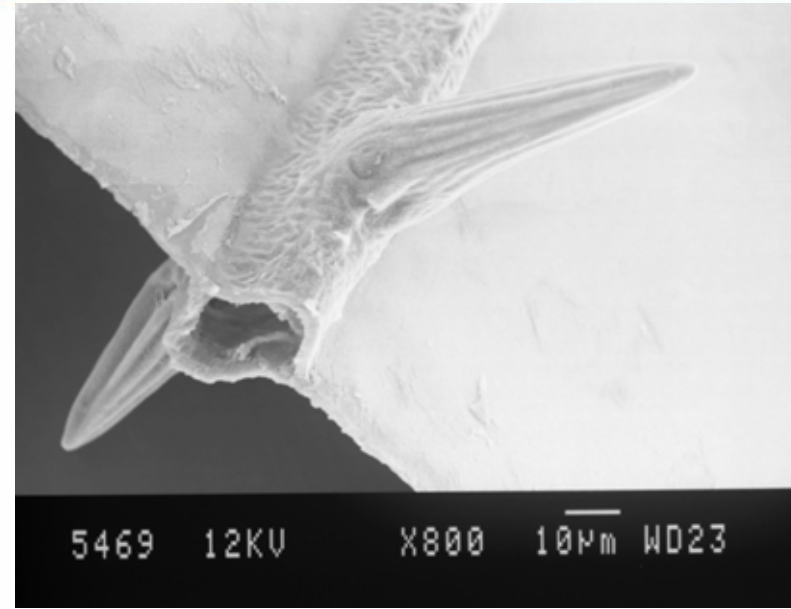
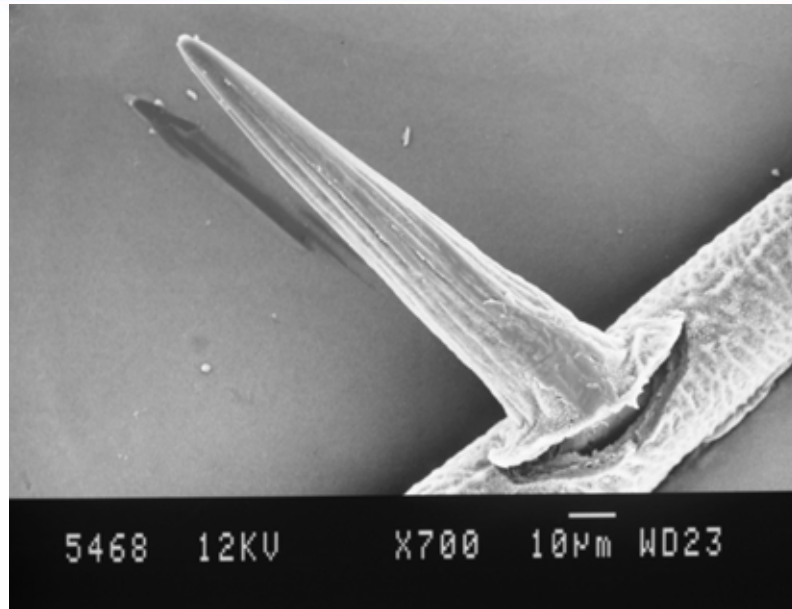
Microscopie à Balayage: Ptérostigma en Coupe



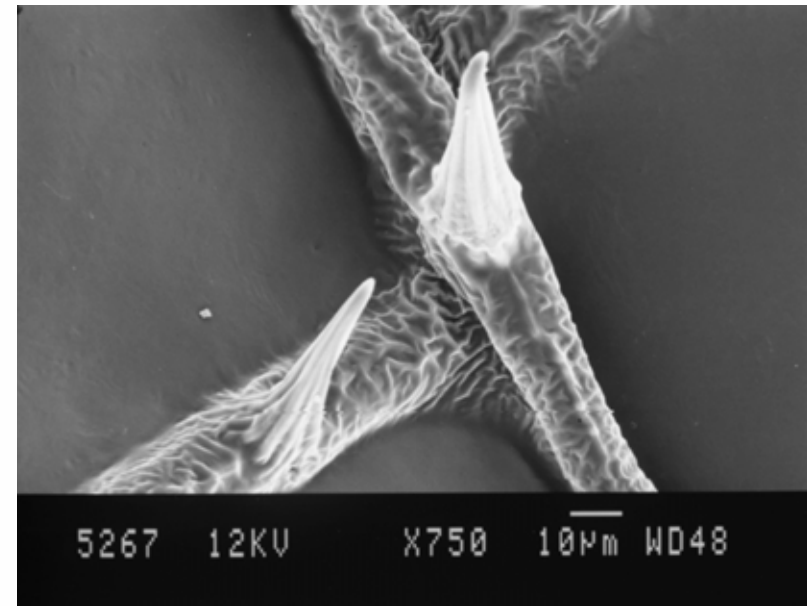
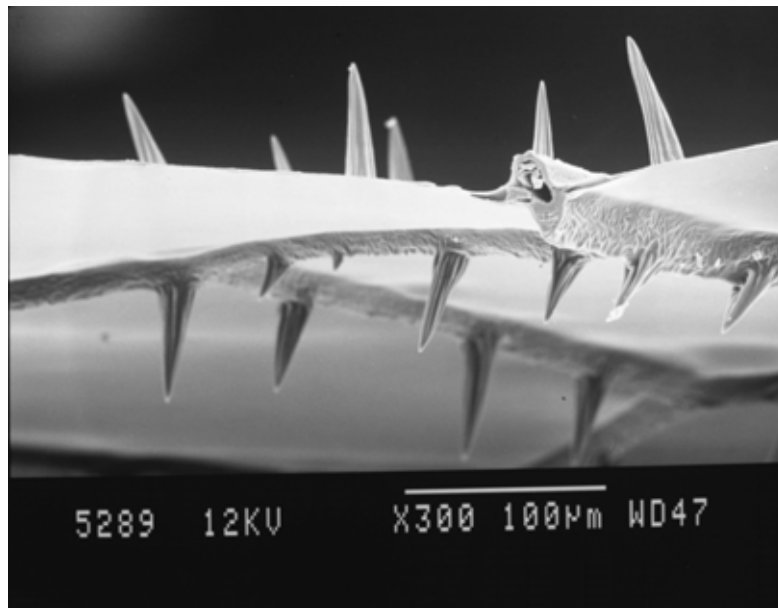
Microscopie à Balayage: 1/3 Distal



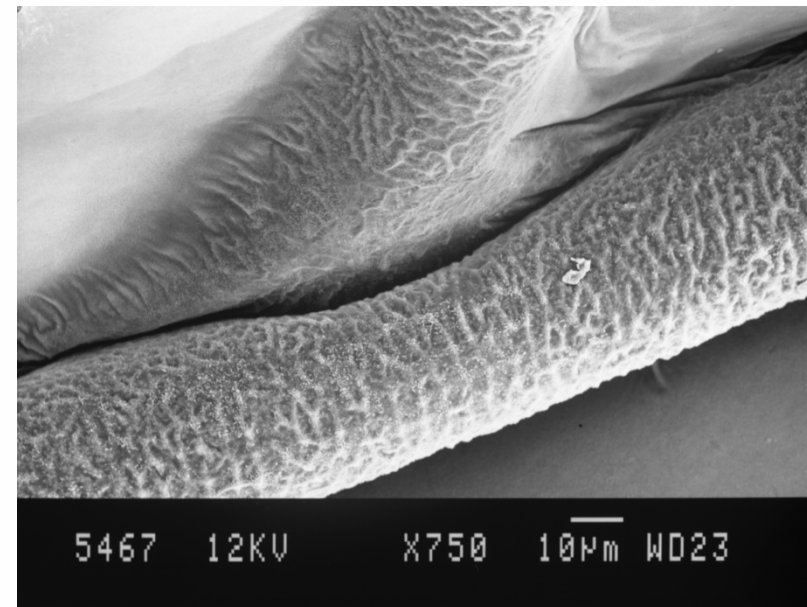
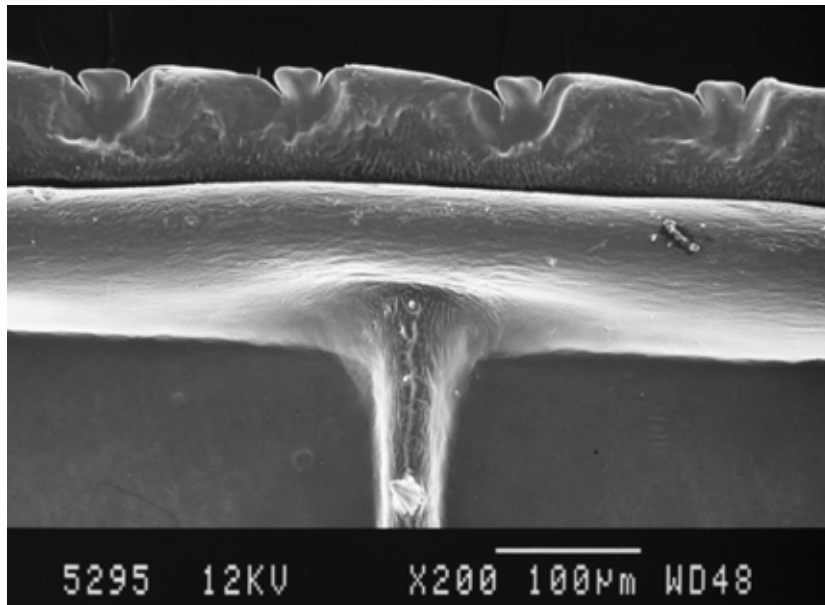
Structure alaire creuse



Structure recto verso



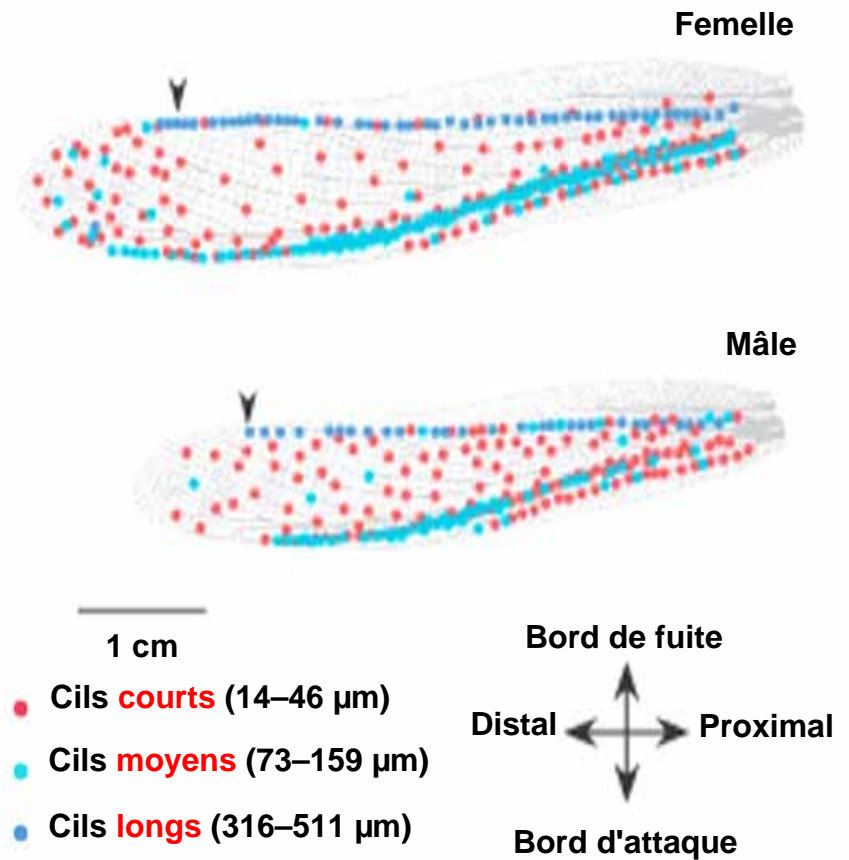
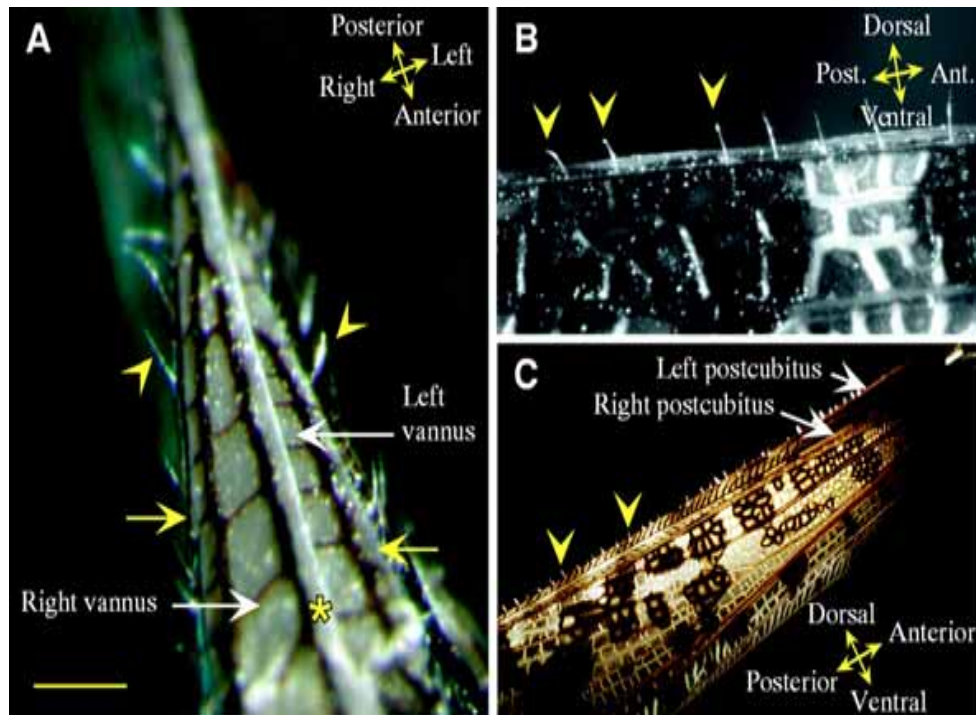
Dépendance et indépendance hydraulique



Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

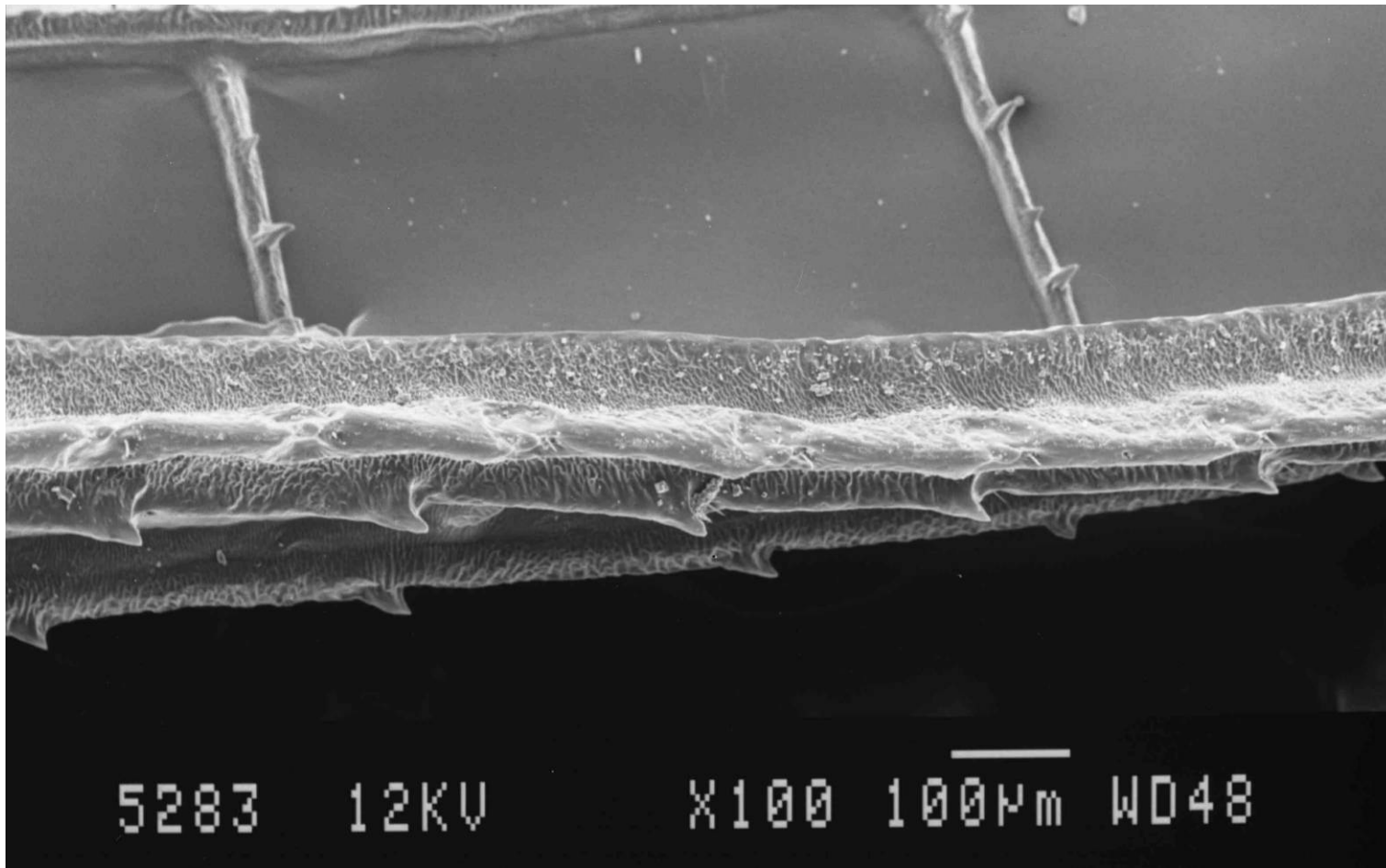
Recherche de capteurs sensoriels: Cas du criquet pèlerin



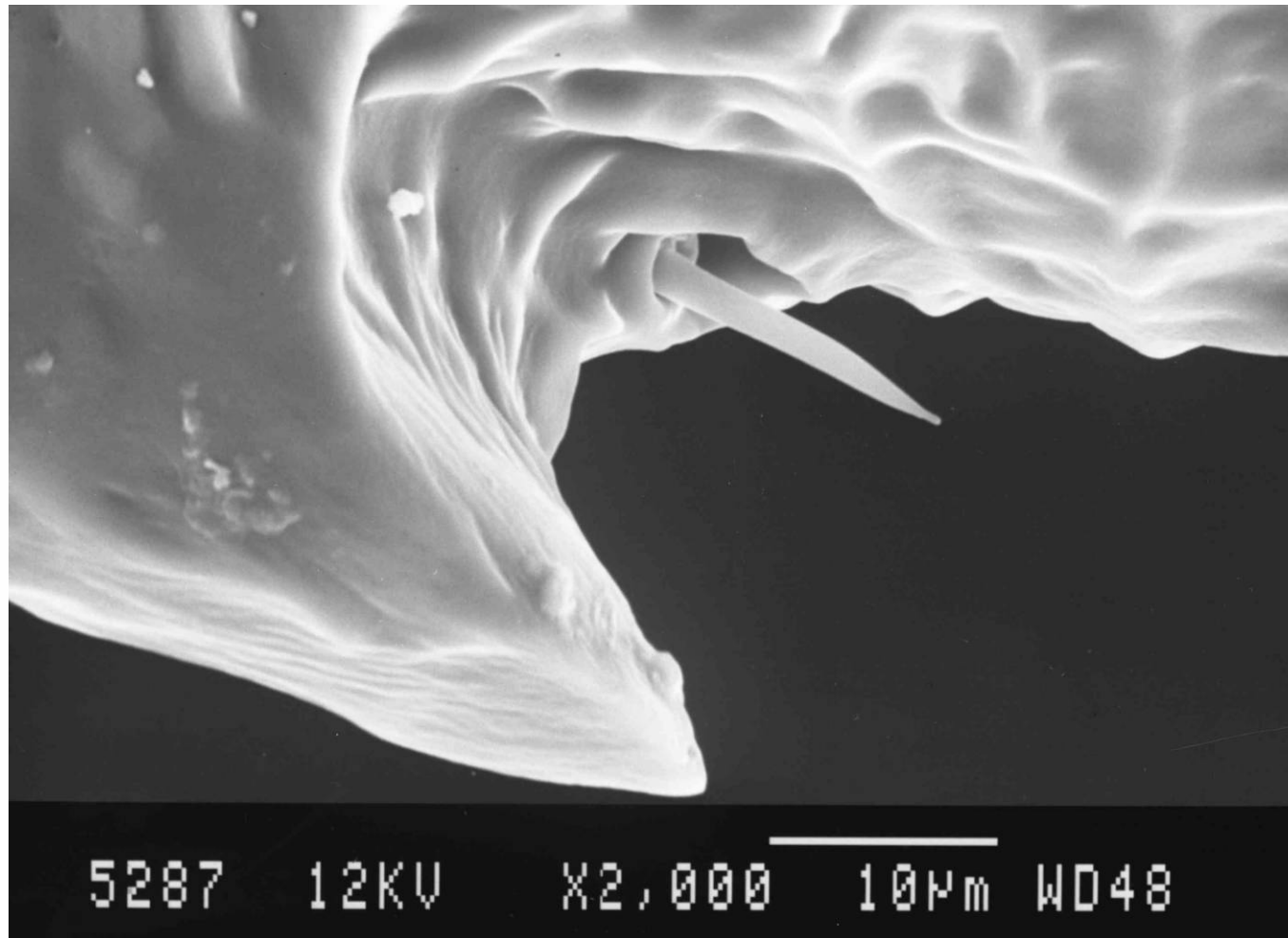
Direction - Conférence

WOOTTON, R. J., EVANS, K. E., HERBERT, R. & SMITH C. W. (2000).
The hind wing of the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskal).
I. Functional morphology and mode of operation.
J. exp. Biol. **203**, 2921-2931.

Microscopie à Balayage: Bord d'Attaque, 1/3 dist



Microscopie à Balayage: Senseur?



Capteurs neurosensoriels: Intérêt de la MT

Utilisation de la microscopie à transmission grâce à

Pr. André CALAS

(Institut des Neurosciences

UMR CNRS n°7624

Université Paris 6)

Après analyse, aucune structure neurologique n'a été mise en évidence.

Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Microscope à effet de champ

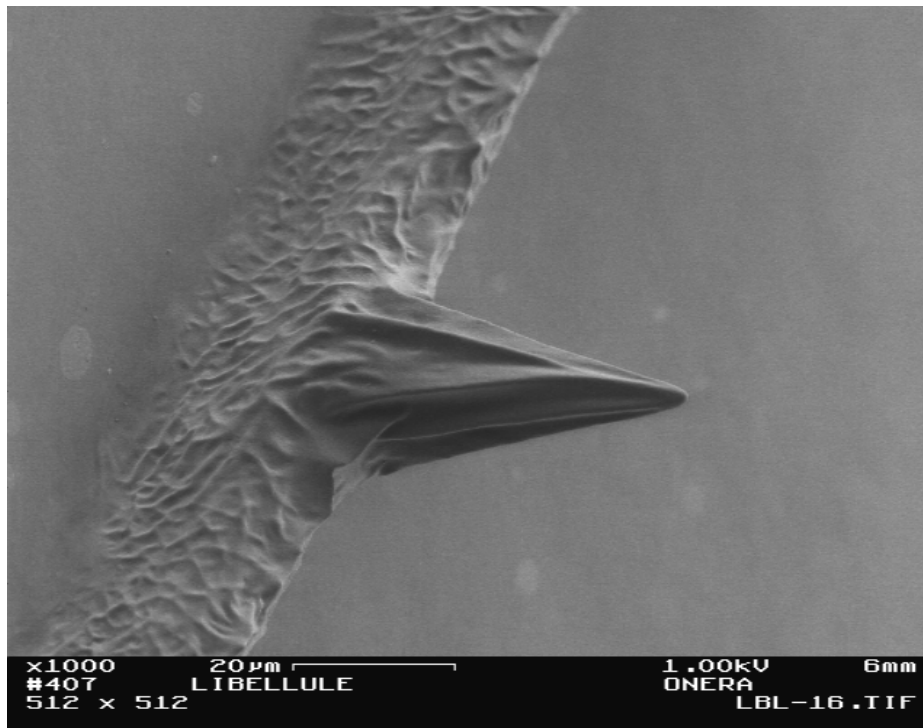
Avantages :

- observation des échantillons à basse tension sans métallisation
- très bonne résolution

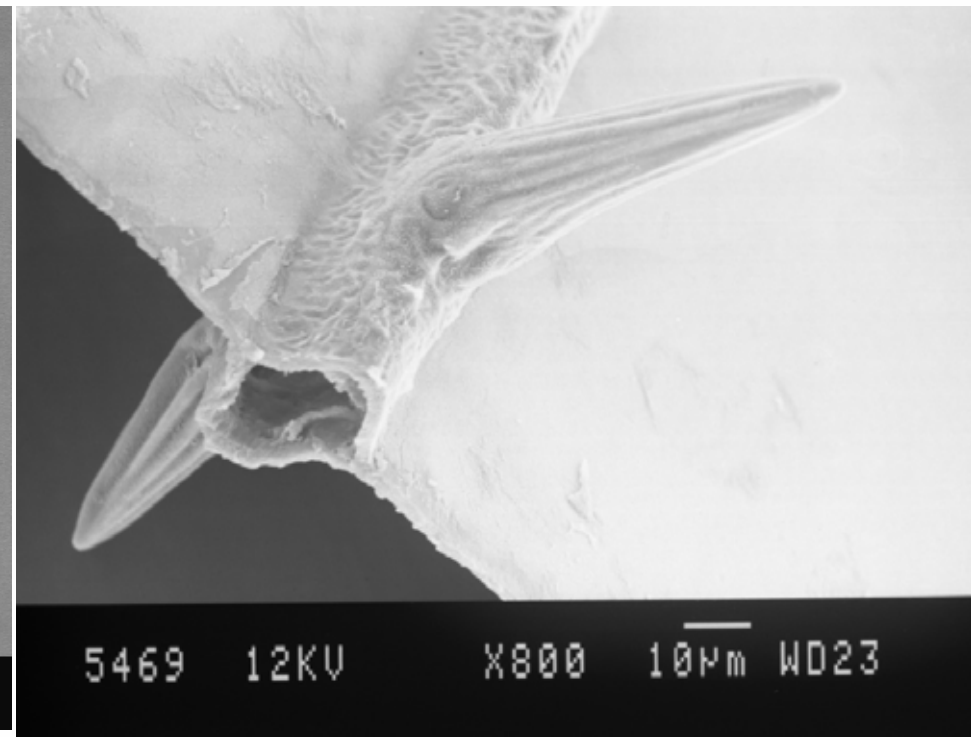
Appareil: MEB GEMINI ONERA

Observations aux MEB

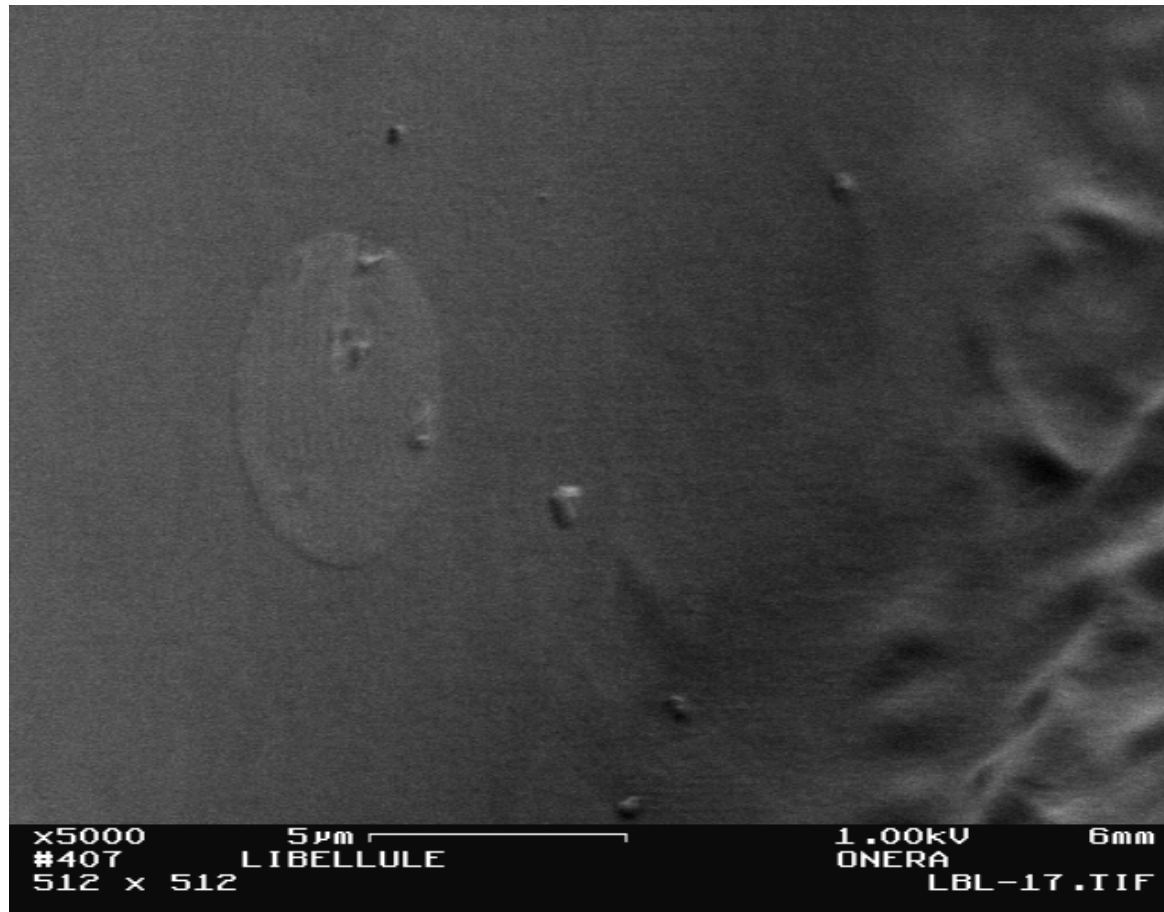
MEB à effet de champ



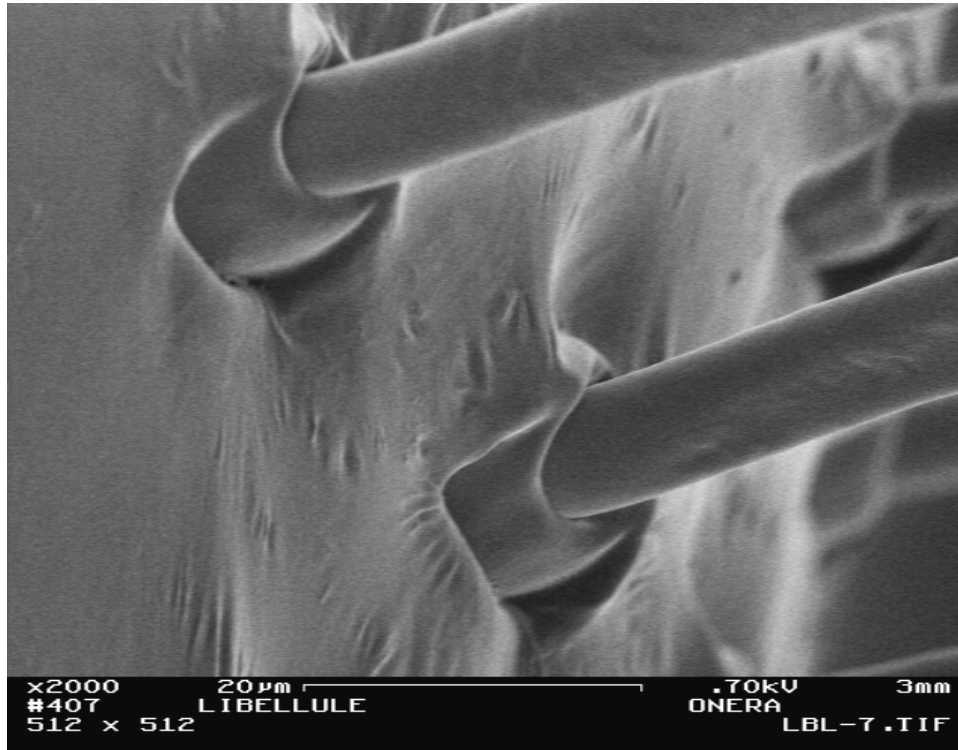
MEB « classique »



Recherche du raccord nervure - membrane

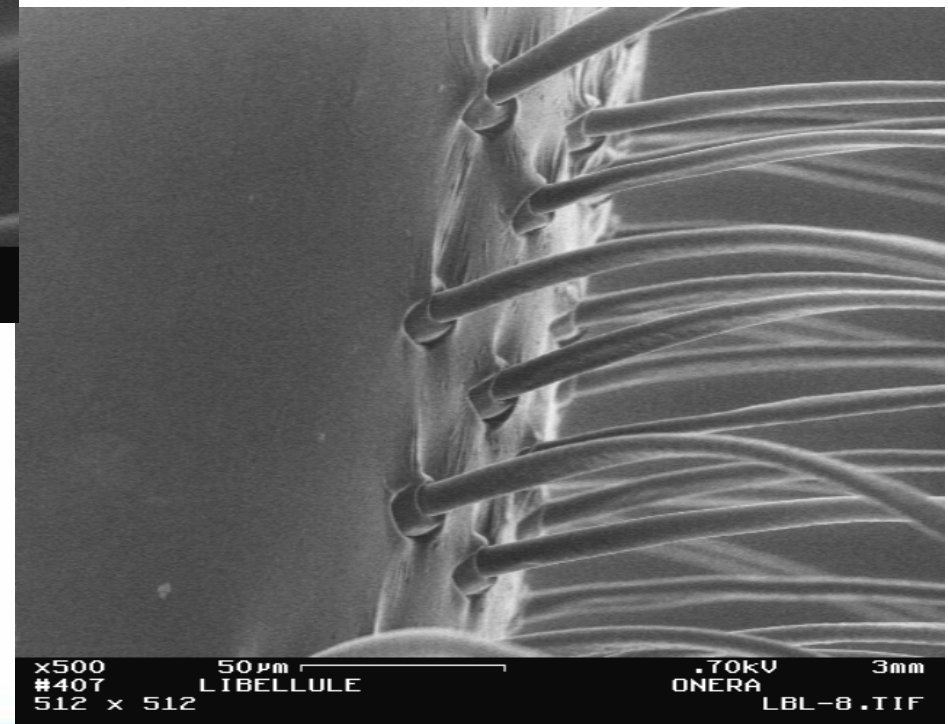


Observations près de l'implanture de l'aile



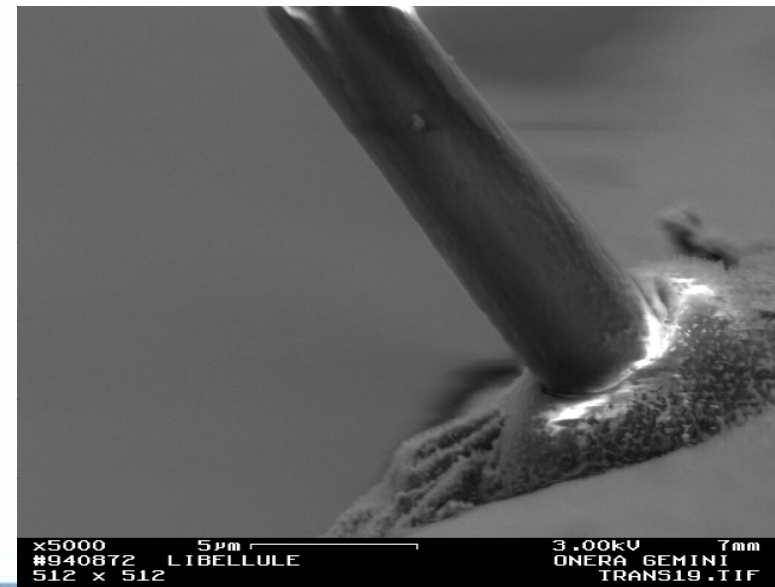
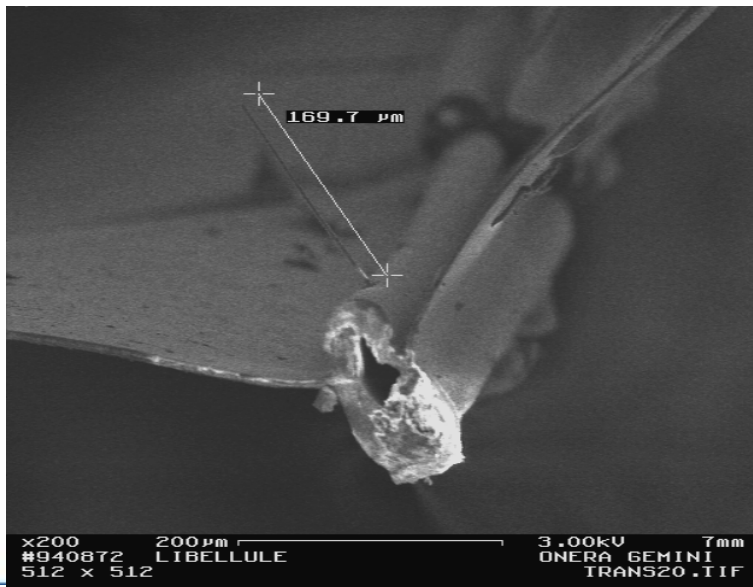
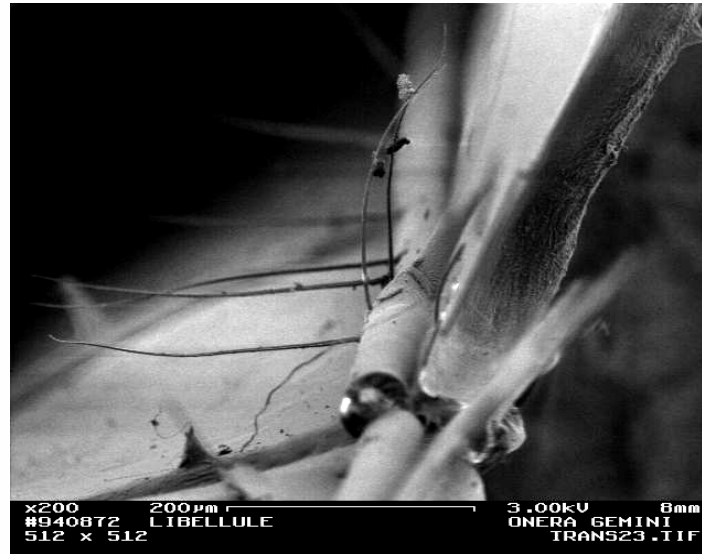
Observation
à très basse tension

THT=0.7 kV



Sensilles avec une rotule
à la base (1 plan de rotation)
et matériel neurologique,
sensibles au vent

Coupe de l'aile

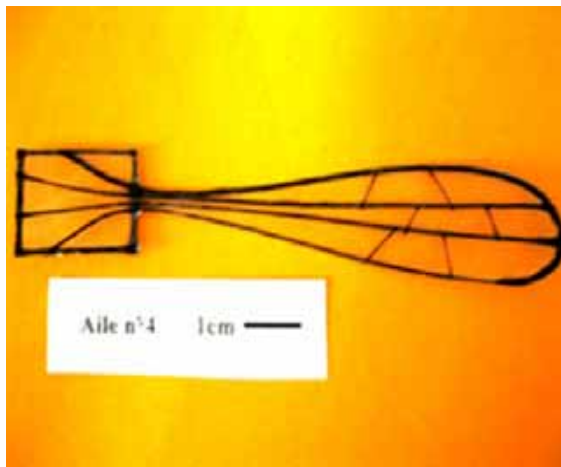
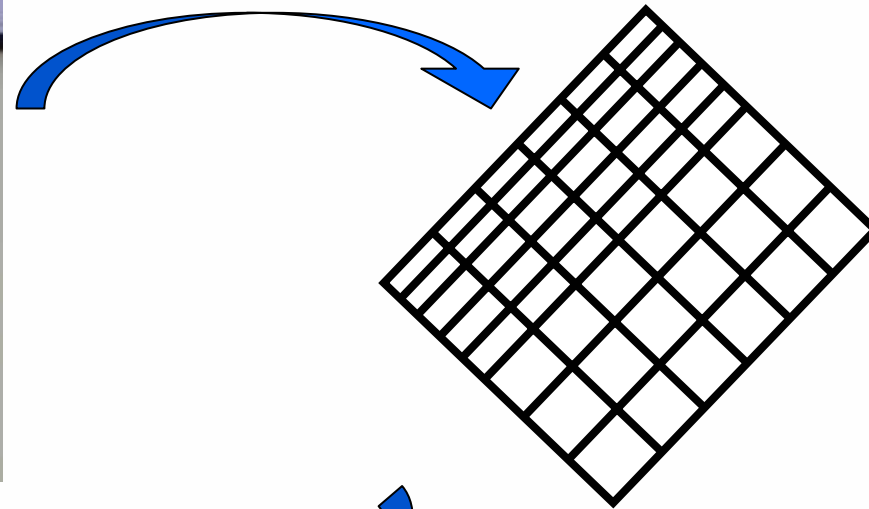


Direction - Conférence

Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Concept des ailes souples, «auto-adaptatives»



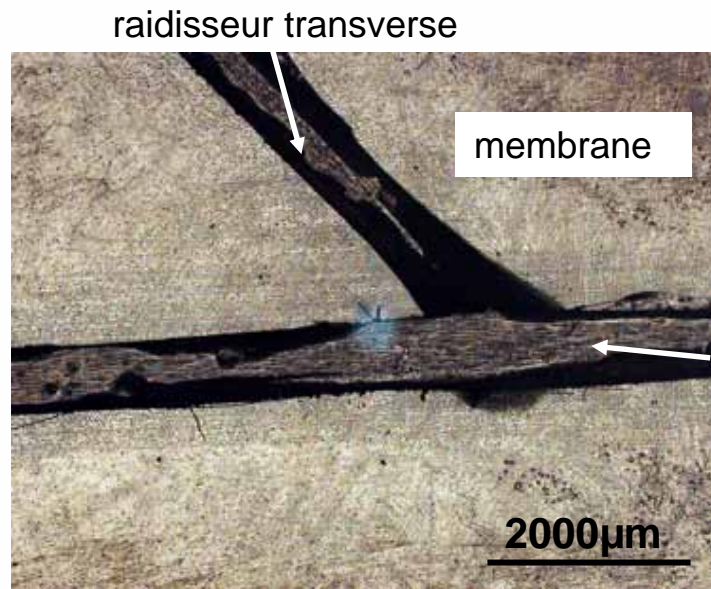
« **Matériau** » =
Armature : Torons de fibres
de carbone imprégnés de
résine époxyde

Membrane : Film polyester
thermoplastique

masse de l'aile 0.1g masse totale 0.15 g

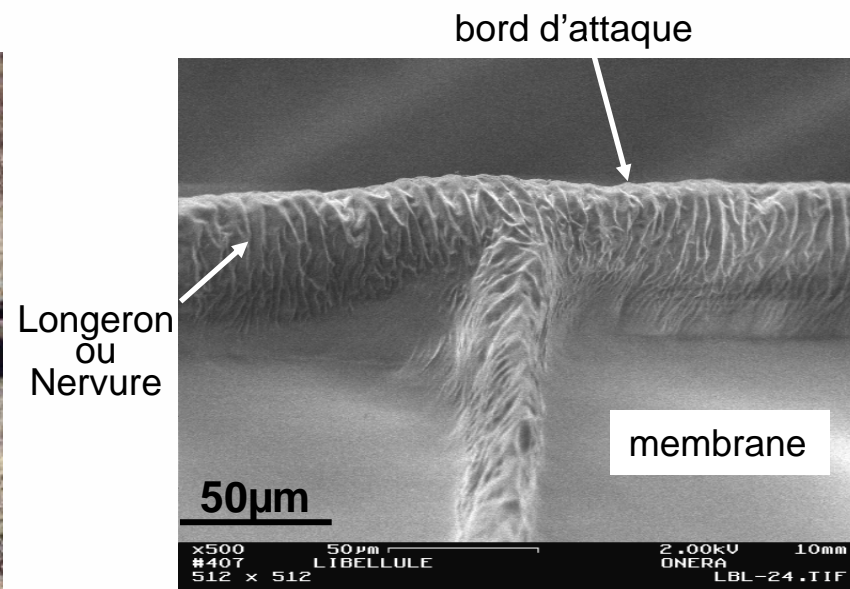
Réalisation technologique

Matériaux de synthèse



Polymérisation à chaud de la résine époxyde dans les mèches de carbone avec collage à la membrane polyester

Matériaux de libellule



Polymérisation de la chitine par enzyme pour la formation des veinules et de la membrane. Durcissement par l'oxygène de l'air.

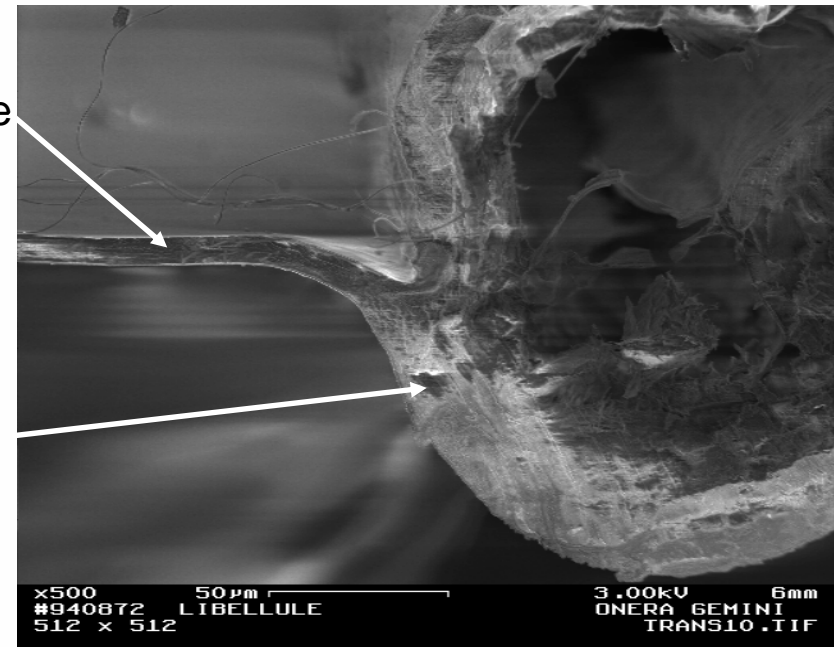
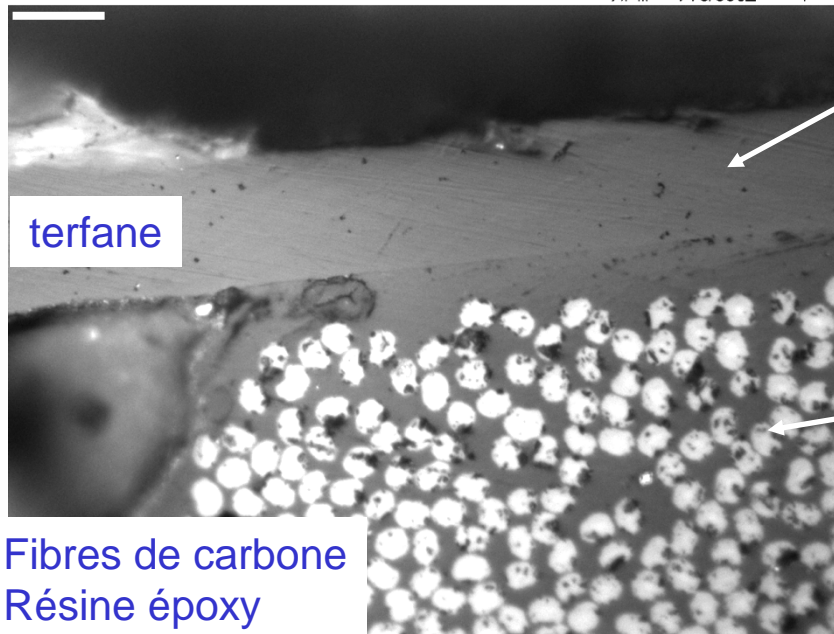
Réalisation technologique

Liaison membrane/longeron

Composite

Libellule

20 µm



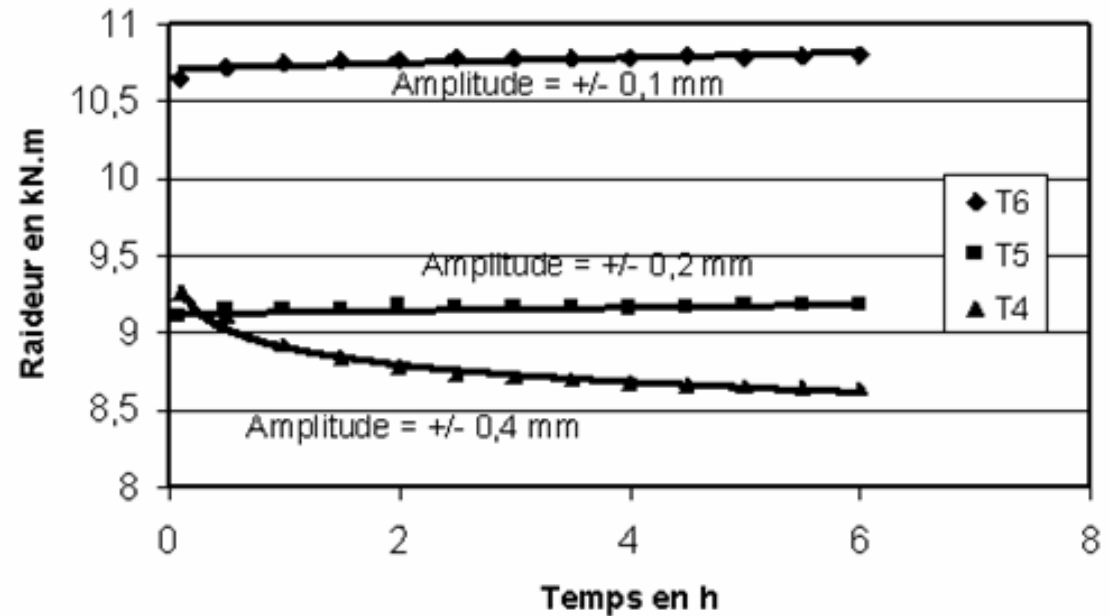
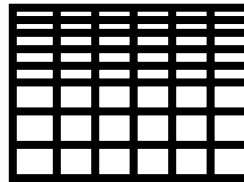
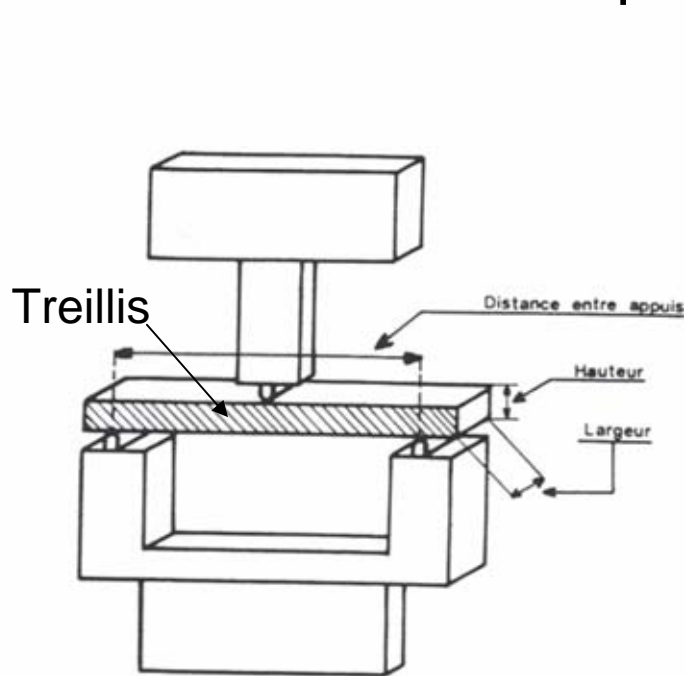
Images obtenues par microscopie électronique à balayage Gemini
Premières Observations (2004), sans optimisation des conditions de réglage du MEB

Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Caractérisation en flexion dynamique

Validation du procédé de fabrication sur treillis



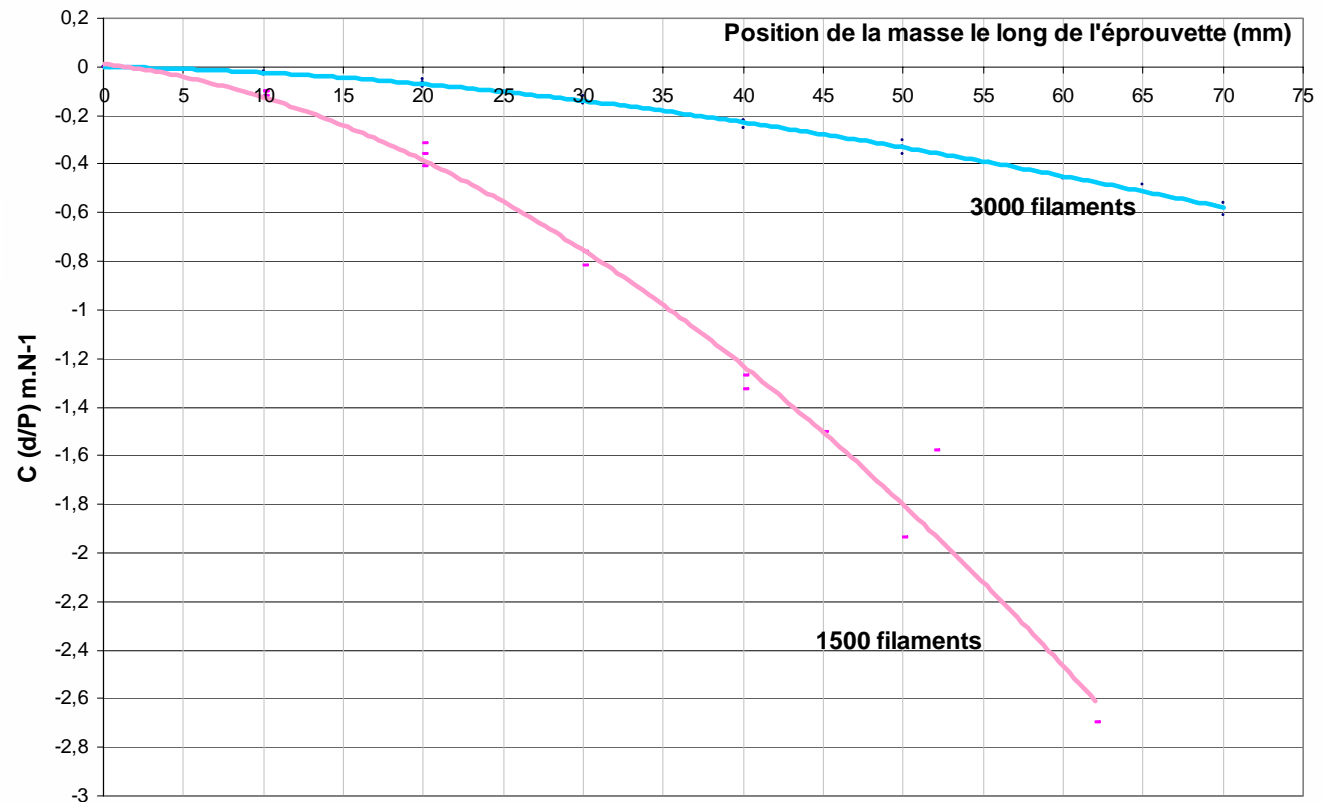
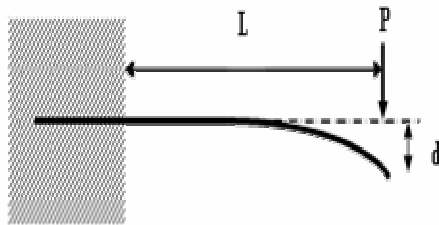
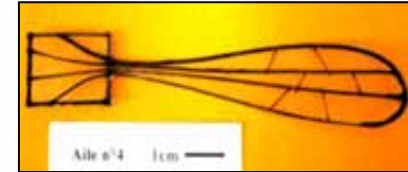
En 2004 :

Essais réalisés au metravib

Raideur des treillis T4, T5 et T6 au pas de 6 mm en flexion dynamique à 30 Hz

Test de compliance (en statique)

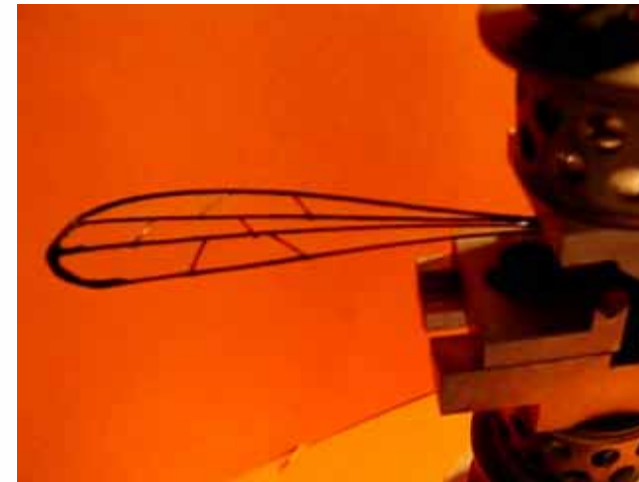
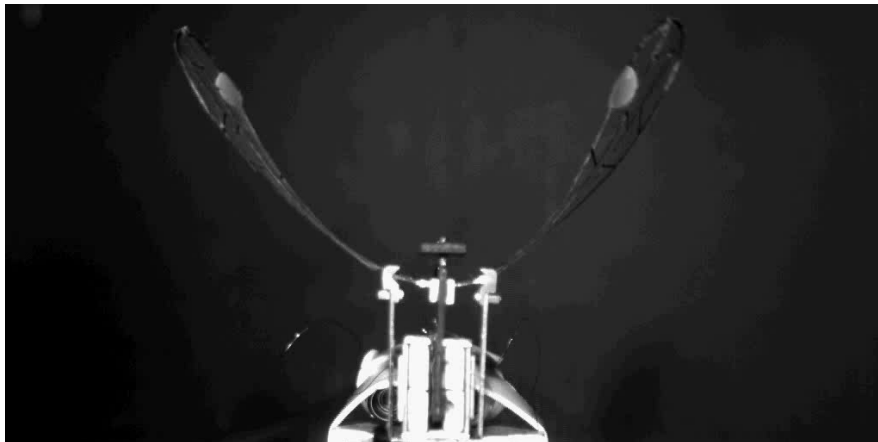
Optimisation de la structure plane
(Nombre de filaments ou fibres de C par toron)



En 2005 :
Test de compliance sur des structures tergum + aile

Faut-il une structure 3D, « plissée » ?

- Pour des besoins au niveau de la structure ?
 - Bon compromis légèreté - rigidité
 - 1^{er} mode de torsion < 1^{er} mode de flexion



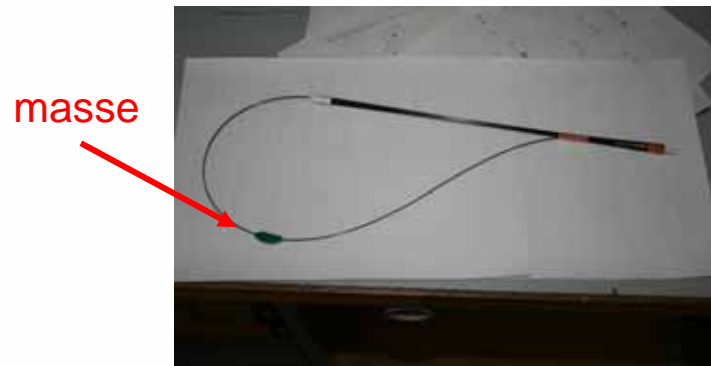
- Pour des besoins au niveau de l'aérodynamique ?
 - Lâcher de tourbillons
 - ...

Plan

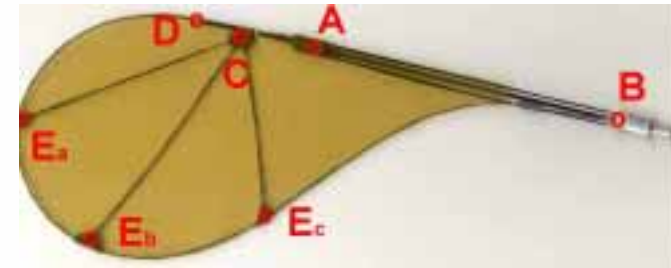
1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Nouvelles structures

Joncs de carbone + film kapton®



2007
dimensions 400 mm x 100 mm
masse 8g



2008
dimensions 200 mm x 80 mm
masse 2g



Plan

1. Inspiration biomimétique dans le projet REMANTA
2. Les ailes de libellules
 1. Mise en œuvre au laboratoire
 2. Observations et identification des structures
 1. Réseau alaire de nervures creuses (réseau hydraulique)
 2. Existence de capteurs sensoriels ?
 3. Artefacts liés à la métallisation ?
3. Les ailes du microdrone
 1. Structure composite C/C
 2. Caractérisation et essais d'endurance
 3. Structure à torsion passive
4. Conclusion

Conclusion

- Utilité de la MEB pour la connaissance des structures naturelles
- Utilité de la MEB pour vérifier la qualité des réalisations de structures composites
- Utilité de la MEB dans la recherche des capteurs sensoriels sur l'aile
- Complémentarité avec différentes méthodes d'investigation : optique, mécanique