



www.cnrs.fr



DOSSIER DE PRESSE | PARIS | 5 DÉCEMBRE 2016

Comment réparer l'Homme élastique ?

Conférence de presse :
Sur le colloque *Comment réparer l'Homme élastique ?*
Des sciences fondamentales à la chirurgie de demain



Contact

Presse CNRS | Alexiane Agullo | T 01 44 96 43 90 | alexiane.agullo@cnrs-dir.fr

Sommaire

1. Invitation presse	3
2. Les intervenants	4
3. Les interventions.....	6
Réparer les corps élastiques	6
Comment proposer des supports pour la régénération et la réparation des tissus ?	10
De la biomécanique du pli vocal à la phonation humaine.....	11
4. Ressources photos	13

1. Invitation presse

Comment réparer l'Homme élastique ?

Conférence de presse

Le lundi 5 décembre 2016 de 9h à 10h
CNRS - 3, rue Michel-Ange, Paris 16e
Métro Michel-Ange Auteuil (ligne 9, 10)

Le corps des animaux et de l'être humain s'est édifié pour et par le mouvement. La clé de ce mouvement est la capacité du corps, dans son ensemble ou d'un seul de ses éléments, à revenir à sa forme initiale aussi rapidement qu'il s'est déformé. C'est ce qui définit l'élasticité. L'humain dispose d'un capital élastique à la fin de sa croissance qui diminue avec le temps et dans de nombreuses pathologies. La compréhension de ces propriétés est essentielle, à toutes les échelles, pour appréhender le vieillissement et pour réparer et opérer le corps.

En amont du colloque « comment réparer l'Homme élastique ? », nous vous proposons de rencontrer plusieurs chercheurs spécialistes de ce domaine aux perspectives de recherche majeures et aux applications cliniques multiples. Vous pourrez découvrir avec eux ces nouveaux concepts en pleine expansion grâce à la contribution de nouvelles technologies aux croisements de l'imagerie IRM et des ultrasons, de la biologie cellulaire et de la bio-ingénierie, de la modélisation, de l'impression 3D et de la robotique chirurgicale.

Cette conférence de presse se focalisera sur quelques tissus élastiques humains évoqués lors du colloque (os et ligaments, peau, vaisseaux, poumon, foie, cordes vocales, organes pelviens) et sur leurs rôles, entre sciences fondamentales et applications cliniques multiples :

L'étude de la biomécanique du corps à différentes échelles

par Yves Rémond, directeur adjoint scientifique à l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS et Pierre-Etienne Bost, président de la commission technologies et santé de l'Académie des technologies.

Qu'est-ce qu'un tissu ou organe élastique ?

par Pascal Sommer, directeur de recherche CNRS à l'Institut des sciences du mouvement (CNRS/Université Aix-Marseille), chargé de mission « Ingénierie pour la Santé » à l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS.

Conception de nouveaux supports pour l'ingénierie cardiovasculaire

par Didier Letourneur, directeur de recherche CNRS et directeur du Laboratoire de recherche vasculaire translationnelle (Inserm/Université Paris Diderot/Université Paris Nord).

De la biomécanique du pli vocal à la phonation humaine

par Lucie Bailly, chargé de recherches CNRS au laboratoire Sols, solides, structures – risques (CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes).

Nous vous invitons également à venir suivre le colloque.

Pour en savoir plus : <http://www.cnrs.fr/insis/recherche/evenements/colloque-homme-elastique.htm>

Ce colloque est organisé par le CNRS et l'Académie des technologies, avec la participation de l'ITMO (institut thématique multi-organisme) technologies pour la santé de l'Alliance Aviesan.

Contact

Presse CNRS | Alexiane Agullo | T 01 44 96 43 90 | alexiane.agullo@cnrs-dir.fr

2. Les intervenants

Yves Rémond



Yves Rémond est directeur adjoint scientifique à l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS) du CNRS. Il est également professeur de mécanique des matériaux (PRCE2) à l'Université de Strasbourg (École de chimie, polymères et matériaux). Ancien élève de l'ENS Paris Saclay, il est agrégé de mécanique après avoir obtenu son doctorat en 1984 au Laboratoire de mécanique et technologie (LMT, CNRS/UPMC/ENS Paris Saclay) sur des modélisations de matériaux et structures composites pour l'aérospatiale. Il effectue ses recherches dans le domaine de la modélisation et de la simulation du comportement mécanique des matériaux inertes ou vivants, à l'aide notamment de modèles multi-échelles. Ses travaux s'inscrivent dans le cadre du développement d'applications chirurgicales guidées par l'image de l'IHU de Strasbourg et de l'Ircad (au centre de formation en chirurgie laparoscopique de Strasbourg). Le laboratoire qu'il dirige de 2001 à 2010 s'associe aux autres laboratoires en sciences de l'ingénierie strasbourgeois pour créer, en 2013, le Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube – CNRS/Université de Strasbourg/INSA Strasbourg/ENGES). Après avoir présidé l'Association nationale pour les matériaux composites (AMAC) et le comité d'évaluation du programme « matériaux et procédés » de l'ANR, Yves Rémond est actuellement directeur adjoint de l'institut thématique multi-organisme « technologies pour la santé » de l'Alliance nationale pour les sciences de la vie et la santé (Aviesan).

Contact : yves.remond@cnrs-dir.fr | T 03 68 85 46 16

Pierre-Etienne Bost



Membre du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie, ancien directeur de recherche et développement dans l'industrie pharmaceutique et à l'Institut Pasteur, Pierre-Etienne Bost est également vice-président du laboratoire Genethon et président de Genatlantic. Il préside la commission technologies et santé de l'Académie des technologies.

Pascal Sommer



Pascal Sommer est directeur de recherche CNRS à l'Institut des sciences du mouvement Étienne-Jules Marey (ISM, CNRS/AMU). Formé en biologie moléculaire à Strasbourg, il porte un intérêt aux facteurs de virulence microbienne. Après un post-doctorat effectué à Montréal (Institut de recherche en biotechnologie), il rejoint l'Institut Pasteur de Lyon en 1989 puis l'Institut de biologie et chimie des protéines (IBCP, CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1) en 1997 avant d'arriver à Marseille en 2015. Spécialiste des tissus élastiques humains, il étudie leur dégénérescence chez l'humain au cours du vieillissement ou de différentes pathologies (fibroses parasitaires, cancers, syndromes liés à une élastogénèse imparfaite), avant de rechercher des solutions pour limiter cette dégénérescence, stimuler la néoformation des fibres élastiques ou leur remplacement par bio-ingénierie. Responsable de laboratoire et animateur de réseaux européens dédiés aux tissus élastiques, il est par ailleurs missionné pour suivre les programmes d'ingénierie pour la santé à l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS) du CNRS et il anime une action de la mission interdisciplinarité du CNRS sur la perte d'autonomie.

Contact : pascal.sommer@univ-amu.fr | T 04 91 17 22 55

Didier Letourneur



Didier Letourneur, ingénieur de formation et docteur en chimie, est directeur de recherche au CNRS. Il a créé en 2002 une structure Inserm-Université Paris 13 orientée sur les biomatériaux 3D en médecine réparatrice et les produits de contraste pour l'imagerie moléculaire et dirige, depuis 2014, le Laboratoire de recherche vasculaire translationnelle (Inserm/Université Paris Diderot/Université Paris Nord) à l'hôpital Xavier Bichat. Co-inventeur de 14 brevets, Didier Letourneur participe activement à plusieurs projets ANR, mais aussi du pôle de compétitivité Medicen Santé, ainsi qu'à plusieurs projets européens dont NanoAthero en tant que coordinateur (16 partenaires et 10 pays). En 2016, il a co-fondé la société SILTISS qui a pour vocation le développement, la production et la commercialisation de biomatériaux implantables d'origine naturelle qui favorisent ou induisent les processus de régénération tissulaire. Distingué par les prix "Coup d'élan à la recherche" de la Fondation Bettencourt en 2001, Innovation Cardiovasculaire 2011 de la Fondation pour la recherche médicale et Georges Winter 2016 de la Société européenne des biomatériaux (BIOMAT), il est depuis 2009 président de la Société française des biomatériaux.

Contact : didier.letourneur@inserm.fr | T 01 40 25 86 00 / 01 40 25 75 39

Lucie Bailly



Lucie Bailly est chargée de recherche au CNRS depuis 2010. Elle exerce ses fonctions au laboratoire Sols, solides, structures – risques (3SR - CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes) depuis 2015 après 4 ans passés au sein de l'équipe « Biomécanique » de l'Institut de recherche sur les phénomènes hors équilibre (IRPHE, CNRS/AMU/Ecole Centrale Marseille). À la suite de sa thèse obtenue en 2009 dans le domaine des interactions physiques dans le larynx¹, elle développe durant son post-doctorat (au laboratoire 3SR) des compétences en mécanique des biocomposites à renforts fibreux. Elle s'intéresse depuis au comportement mécanique des biomatériaux souples pour le vivant en interaction avec leur environnement physique (fluide, acoustique) et biologique. Ses activités suivent une démarche biomimétique qui se compose d'expériences pour la caractérisation mécanique des matériaux composites architecturés et de modélisations théoriques multi-échelles. Les deux applications principales de ses recherches concernent la biomécanique phonatoire (plis vocaux) et la biomécanique vasculaire (tissu aortique). Elle est par ailleurs co-animatrice scientifique du Groupe acoustique de la parole (GAP) de la Société française d'acoustique (SFA).

Contact : lucie.bailly@3sr-grenoble.fr | T 04 76 82 70 85

¹ Au Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine (CNRS/Université du Maine) et au GIPSA-lab (CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes).

3. Les interventions

Réparer les corps élastiques

Par Pascal Sommer, directeur de recherche CNRS à l'Institut des sciences du mouvement (CNRS/AMU), chargé de mission « Ingénierie pour la Santé » à l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS.

Point de vue publié le 2 décembre 2016 sur [CNRS le Journal](#), en partenariat avec Libération.

Respirer, courir, manger, uriner, chanter ou accoucher sont des actions qui mobilisent notre élasticité. Comment préserver cette capacité essentielle des organes et tissus à revenir à leur forme initiale après déformation ? Décryptage avec le biologiste Pascal Sommer, à l'occasion du colloque « Comment réparer l'homme élastique ? », le 5 décembre au CNRS à Paris.

Le corps des êtres humains – et des animaux – s'est édifié pour et par le mouvement. La clé de ce mouvement est la capacité de différents organes et tissus du corps (os, peau, vaisseaux, ligaments, etc.) à revenir à leur forme initiale après déformation, en d'autres termes l'élasticité. C'est elle par exemple qui permet aux parois des poumons et des artères de se gonfler et de se dégonfler selon les variations de tensions. Ou à la vessie d'être efficace. Et si le tissu prend du temps pour revenir à sa forme initiale, on parle globalement de viscoélasticité. Seulement voilà, passé la vingtaine et la croissance une fois achevée, les fibres élastiques qui donnent majoritairement l'élasticité au corps ne se renouvellent pas ou peu. Nous disposons donc d'un capital élastique qui s'altère, plus ou moins rapidement selon notre hygiène de vie. La recherche s'attache aujourd'hui à développer des solutions pour étudier, protéger, stimuler voire remplacer les fibres élastiques ou les composants viscoélastiques du corps.



Reed Richards, L'Homme Élastique du film "Les quatre fantastiques" ici en photo, n'a pas les problèmes du commun des mortels dont le capital élastique s'altère sensiblement avec l'âge et la maladie... © Twentieth Century Fox Film Corporation/Constantin Film Produktion/Marvel/Collection ChristopheL

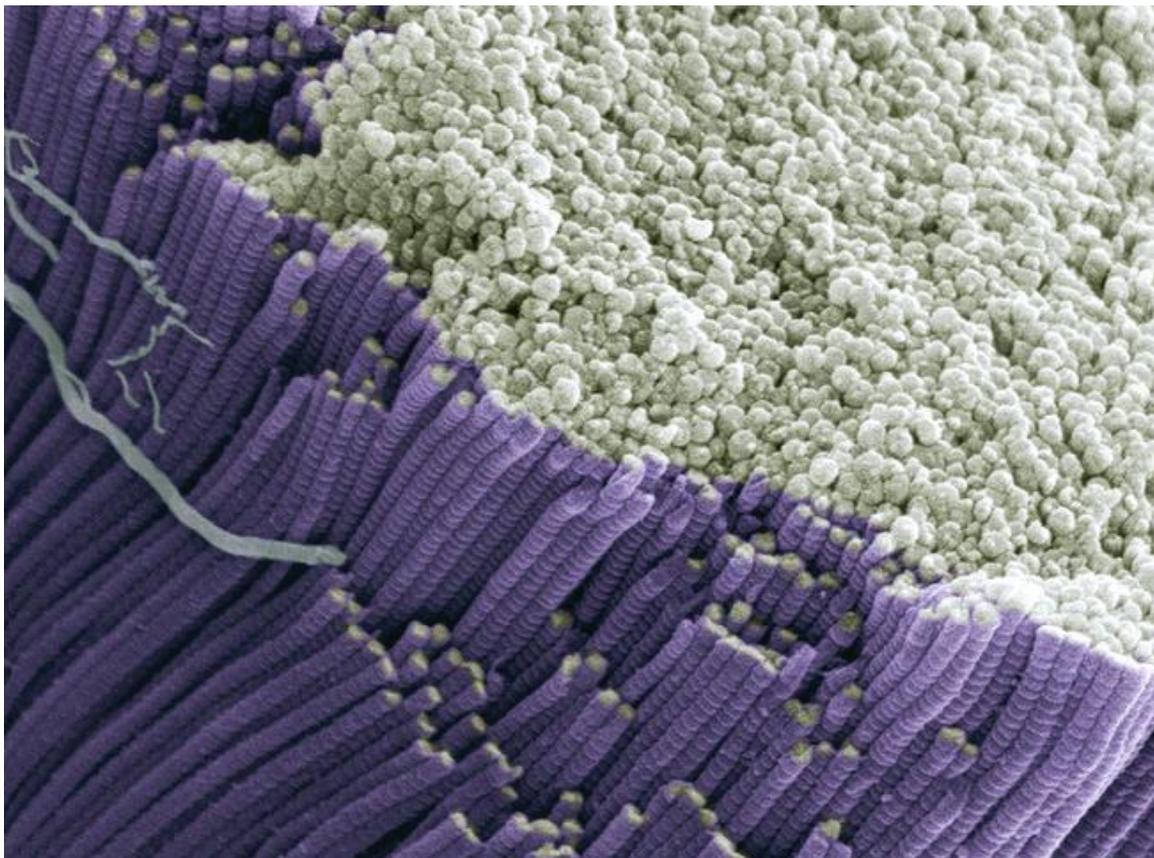
Perte d'élasticité et maladies

Se pencher sur le concept d'« humain élastique » est aujourd'hui une priorité riche de promesses. La perte d'élasticité est en effet l'une des causes de nombreuses pathologies ou de leur aggravation. On peut citer l'insuffisance cardiaque, la rupture d'anévrisme, l'emphysème, les rides, la perte de phonation (ce sont les vibrations des cordes vocales et du tympan qui assurent la phonation et l'audition), le mauvais fonctionnement des intestins, la rupture de ligaments (qui contiennent une teneur variable mais indispensable de fibres élastiques), les hernies discales, une forme de glaucome ou de cécité, etc.

« Rayons UV, cigarettes, pollution et malbouffe sont au premier plan des toxiques. »

Le vieillissement n'est pas seul en cause dans la perte des propriétés mécaniques de nos organes et tissus. Certains syndromes génétiques induisent en effet une faiblesse d'élasticité ou de viscoélasticité. On a ainsi pu mettre en évidence chez la souris un prolapsus génital (ou « descente d'organes ») lié à une malformation génétique des tissus élastiques. Enfin, tout ce qui est oxydant agresse les fibres élastiques et accélère leur dégradation. Rayons UV, cigarettes, pollution (certaines nanoparticules notamment) et malbouffe sont donc au premier plan des toxiques.

Moins connue est ce que certains appellent la caramélisation du corps, liée à la surabondance de sucres dans l'organisme (notamment dans les diabètes). Une manifestation concrète du vieillissement élastique s'observe aussi après la ménopause. Pour y remédier, une hormonothérapie s'avère risquée compte tenu de ses potentiels effets secondaires. On sait en revanche que le sport a un rôle bénéfique pour préserver élasticité et viscoélasticité des tissus.



Faisceau de fibres de collagène vu au microscope électronique à balayage et colorisé. Des substituts de ce type de fibres sont déjà disponibles sur le marché. © SPL/BSIP

La modélisation, un outil essentiel

Les caractéristiques mécaniques d'élasticité et de viscoélasticité des tissus et des organes sont liées à de subtils arrangements physico-chimiques au niveau de molécules ou entre molécules. Il est donc capital de connaître ces propriétés à toutes les échelles, notamment *via* la modélisation mathématique, afin de comprendre, réparer, remplacer, opérer.

« Le secret pour régénérer l'élasticité de la peau chez un grand brûlé n'est pas encore connu. »

On sait par exemple que certaines tumeurs n'ont pas la même élasticité qu'un tissu sain, cette caractéristique permettant d'améliorer leur détection avec des ultrasons. Mais le secret pour régénérer l'élasticité de la peau chez un grand brûlé n'est pas encore connu. Si l'on veut simuler les déformations d'un organe en temps réel afin d'aider le chirurgien lors d'une opération, là encore, rien n'est possible sans la parfaite connaissance des propriétés élastiques des tissus et leur modélisation, de l'échelle de la protéine à celle de l'organe complet en passant par les organites intracellulaires.

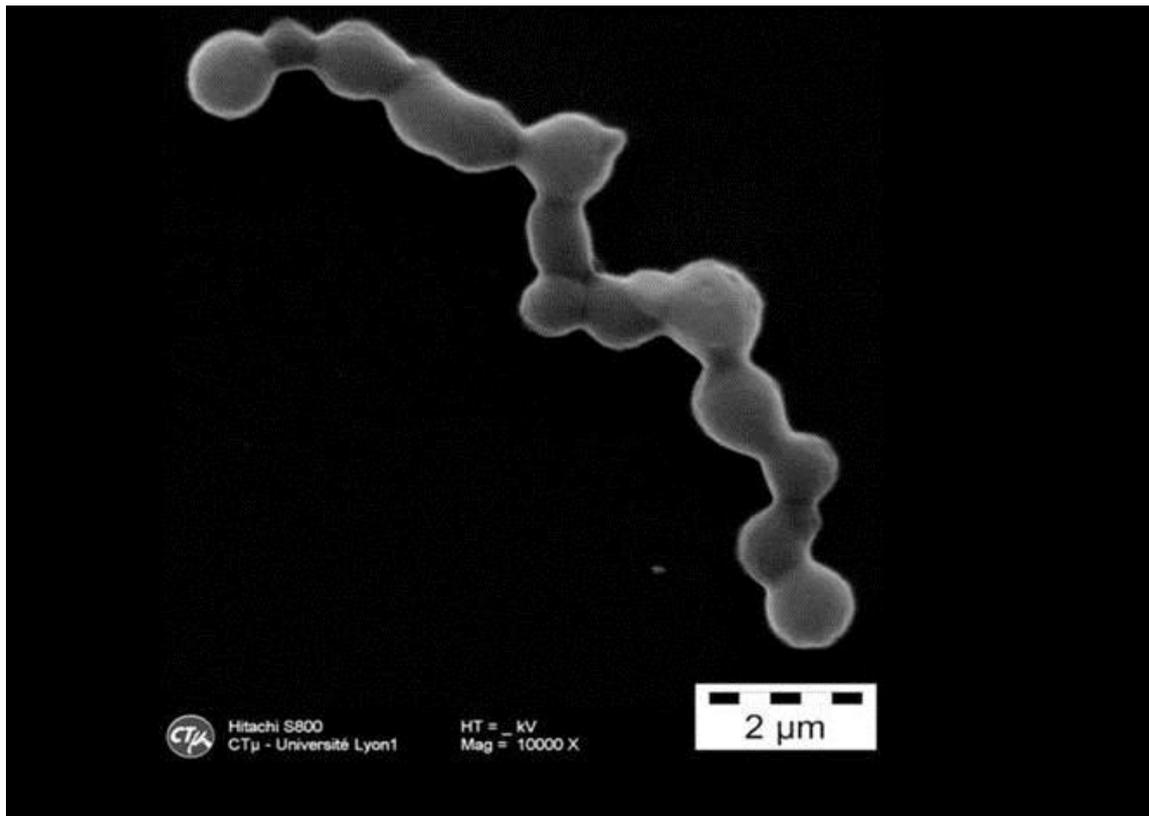
La réparation de l'« humain élastique » apparaît aujourd'hui sous un jour nouveau où les sciences de l'ingénierie jouent un rôle majeur. Les perspectives de recherche sont multiples. Il existe de rares approches pharmaceutiques. Par exemple, un extrait de plante, l'aneth, qui a fait l'objet d'un brevet CNRS-BASF, démontre une efficacité significative pour stimuler la synthèse de fibres élastiques ; l'industriel le propose pour améliorer l'élasticité de la peau en dermocosmétologie. L'extrait d'aneth a aussi permis de démontrer une protection intéressante contre le vieillissement du système cardiovasculaire de la souris. Reste à voir si cette dernière application, essentiellement préventive, intéressera les sociétés pharmacologiques.

Biomatériaux et ultrasons au secours des tissus

Afin de suppléer des tissus mécaniquement défailants chez l'humain, on peut aussi lui implanter des biomatériaux. Pour assurer la rigidité de ces derniers, des substituts des fibres de collagène sont déjà disponibles sur le marché. C'est par exemple le cas pour les stents (sortes de ressorts métalliques glissés dans une artère pour la dilater en cas de rétrécissement).

« On sait faire synthétiser une forme d'élastine humaine par des cellules *in vitro*. »

Pour les améliorer, on envisage à présent de fabriquer des biomatériaux biomimétiques, c'est-à-dire qui imitent la nature en s'inspirant de ses formes et de ses matières. On sait faire synthétiser une forme d'élastine humaine par des cellules *in vitro* et des essais sont en cours pour l'intégrer dans des biomatériaux, voire par impression 3D. Mais eu égard à l'encadrement éthique en France, il faudrait aussi envisager de la synthétiser chimiquement en tout ou en partie.



On sait aujourd'hui faire synthétiser une forme d'élastine humaine, comme la protéine élastique vue ici au microscope, par des cellules *in vitro* © Chloé LORION/UMR5305/CNRS Photothèque

Pour finir cet incomplet tour d'horizon, on peut aussi évoquer les ultrasons qui, en plus de leur intérêt bien connu pour établir des diagnostics, montrent des vertus thérapeutiques en favorisant la croissance ou la régénération des tissus. Tandis qu'un autre concept fait rêver : une reprogrammation épigénétique qui pourrait moduler de façon bénéfique l'expression du patrimoine génétique. Il s'agirait de contrecarrer le cercle vicieux qui s'installe quand l'élasticité des tissus est réduite. Ce serait utile chez l'adulte, et c'est absolument nécessaire chez des enfants affectés par une mutation génétique provoquant un mauvais fonctionnement des tissus élastiques (syndromes de la cutis laxa, de Marfan, de Williams, etc.).

Respirer, courir, manger, uriner, chanter ou accoucher sont des actions qui mobilisent notre élasticité. Le concept d'« humain élastique » conduit à des émergences scientifiques importantes ayant des conséquences potentielles jusque dans les applications cliniques. Le colloque organisé par le CNRS et l'Académie des technologies se focalisera sur les tissus élastiques humains (os, peau, vaisseaux, ligaments, organes). Il sera la première grande occasion nationale de réunir plusieurs disciplines sur cette question cruciale et universelle.

Pour en savoir plus sur le colloque du 5 décembre « Comment réparer l'homme élastique ? » : <http://www.cnrs.fr/insis/recherche/evenements/colloque-homme-elastique.htm>

Les points de vue, les opinions et les analyses publiés dans cette rubrique n'engagent que leur auteur. Ils ne sauraient constituer une quelconque position du CNRS.

Comment proposer des supports pour la régénération et la réparation des tissus ?

Par Didier Letourneur, directeur de recherche CNRS et directeur du Laboratoire de recherche vasculaire translationnelle (Inserm/Université Paris Diderot/Université Paris Nord).

Les biomatériaux sont aujourd'hui au centre d'innovations importantes dans le traitement de certaines affections, en particulier cardiovasculaires, ou de troubles liés au vieillissement. Des progrès se poursuivent actuellement dans le cadre du génie tissulaire, une approche pluridisciplinaire qui lie chimie des polymères, biotechnologies, thérapie cellulaire et génique. Le but de cette technique est de favoriser l'aptitude de l'organisme à se réparer grâce à de nouveaux biomatériaux hybrides composés d'une unité fonctionnelle, basée sur un matériau synthétique ou naturel, et d'une composante cellulaire.

De nombreux paramètres sont à prendre en compte dans la conception de nouveaux supports pour l'ingénierie tissulaire mais quel que soit le tissu considéré, les paramètres d'élasticité sont au cœur des problématiques de recherche. Ils le sont à l'échelle locale cellulaire (ce que ressentent les cellules et la manière dont elles répondent) ainsi qu'à l'échelle globale du tissu (la manière dont fonctionne mécaniquement le support).

Dans le domaine cardiovasculaire (cœur et vaisseau), de nombreuses problématiques de chimie et d'ingénierie se posent pour concevoir un support qui répond favorablement aux différentes échelles considérées pour les structures envisagées (artères, veines, microvaisseaux), et aux validations biologiques à la fois *in vitro* et *in vivo*. Ces recherches, qui s'intéressent à l'étude du comportement de différents types cellulaires dans les biomatériaux, ouvrent ainsi la voie à la réparation d'autres organes.

En savoir plus :

[Un Sagascience CNRS sur la médecine régénérative](#)

Un dossier Inserm : [Réparer les vaisseaux : Bio-ingénierie cardiovasculaire](#)

De la biomécanique du pli vocal à la phonation humaine

Par Lucie Bailly, chargée de recherches CNRS au laboratoire Sols, solides, structures – risques (3SR, CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes).

La biomécanique phonatoire : un domaine méconnu

L'étude de la production vocale humaine est complexe car elle met en jeu de nombreux phénomènes couplés, notamment des phénomènes acoustiques, aérodynamiques et biomécaniques. Actuellement, comparativement aux connaissances acquises sur la caractérisation acoustique et aérodynamique de la voix humaine, les spécificités histologiques et biomécaniques du pli vocal² sont peu étudiées et leur impact sur les propriétés vibratoires remarquables du pli vocal reste encore mal compris.

Dans le contexte clinique, le manque de connaissances scientifiques en biomécanique phonatoire se traduit en cas de dysphonie par une prise en charge rééducative basée sur une connaissance empirique du corps médical (oto-rhino-laryngologistes ORL, orthophonistes et phoniâtres). En cas d'intervention chirurgicale, la restauration durable des capacités phonatoires par des biomatériaux injectés ou des implants artificiels capables de mimer les vibrations des plis vocaux reste un défi scientifique, clinique et sociétal.

Les obstacles actuels

Plusieurs obstacles expliquent la difficulté associée à l'étude biomécanique du pli vocal. Protégés par les cartilages laryngés, les plis vocaux sont en effet difficilement accessibles par les techniques actuelles d'imagerie médicale, notamment par les techniques d'investigation ultrasonore communément utilisées *in vivo*. De plus, les dimensions caractéristiques du pli vocal étant petites (5-15 mm), la mise en œuvre et l'interprétation fiable d'essais mécaniques *ex vivo* restent très délicates. Il existe des simulateurs *in vitro* du système phonatoire, constitués de répliques artificielles des plis vocaux. Mais la plupart des matériaux modèles utilisés dans ces simulateurs sont fabriqués à partir d'élastomères³ homogènes, aux propriétés structurales et mécaniques très éloignées de celles des tissus d'origine. En raison de ces verrous expérimentaux, la modélisation des propriétés élastiques des tissus laryngés est restée bien éloignée de la réalité physiologique. Rares sont les propositions théoriques formulées à l'échelle des fibres constitutives du tissu vocal (fibres élastiques, fibres de collagène et fibres musculaires). Ce traitement multi-échelles apparaît indispensable pour mieux comprendre les performances vibro-mécaniques des plis, et développer le design de futurs matériaux biomimétiques.

Vers de nouveaux implants phonatoires ?

Trois laboratoires grenoblois ont uni leur expertise pour lever ces verrous : le laboratoire 3SR (CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes) en mécanique multi-échelles des matériaux et des structures, le GIPSA-lab (CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble Alpes) en caractérisation et modélisation de la voix et de la parole humaine, et le Laboratoire d'anatomie des Alpes françaises (CHU Grenoble/Université Grenoble Alpes) en anatomie et sciences médicales. D'un point de vue expérimental, des données prometteuses ont été récemment obtenues sur l'architecture fibreuse 3D du pli vocal, grâce à des images haute résolution obtenues par microtomographie à rayons X synchrotron⁴ à l'ESRF. D'un point de vue théorique, des premiers développements dans la modélisation mécanique multi-échelles du pli vocal ont ainsi pu être proposés en tenant compte de ses spécificités histologiques. Il s'agit de prédire les micro-mécanismes de déformation du tissu vocal et l'impact de l'architecture fibreuse sur ses performances vibro-mécaniques.

² Les « cordes vocales » ne sont pas réellement des cordes ! Ce terme, qui peut porter à confusion, n'est donc plus utilisé dans la nomenclature anatomique en science de la voix.

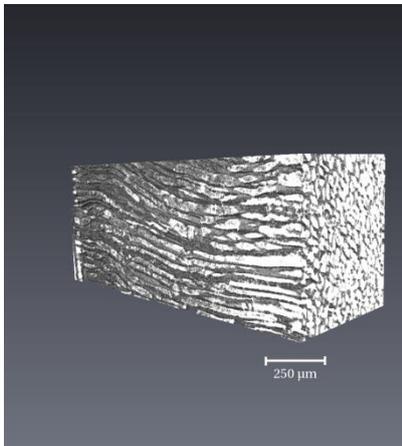
³ Un élastomère est un polymère présentant des propriétés élastiques, y compris à fortes déformations. Le caoutchouc est l'un des élastomères le plus courant par exemple.

⁴ La microtomographie à rayons X est une technique d'imagerie et d'inspection 3D non-destructive, utilisée en sciences des matériaux pour scanner la structure interne d'un échantillon. L'utilisation de sources de rayons X synchrotron (tel qu'à l'ESRF) repousse les limites de cette technologie (ultra-haute résolution spatiale et qualité d'image inégalée).

Sur la base de ces premiers résultats, les recherches s'orientent vers la conception, le développement et la caractérisation de matériaux polymériques fibreux biomimétiques et biocompatibles. Différents matériaux et microstructures sont envisagés, de degré croissant de complexité et mimétisme (élastomères silicones très déformables, hydrogels synthétisés à partir de protéines biologiques présentes dans les tissus conjonctifs humains). A terme, ces recherches permettront de mieux comprendre le rôle joué par les réseaux de fibres dans les propriétés vibratoires du tissu vocal, et fourniront un cadre solide pour la conception innovante d'implants phonatoires fibreux.

4. Ressources photos

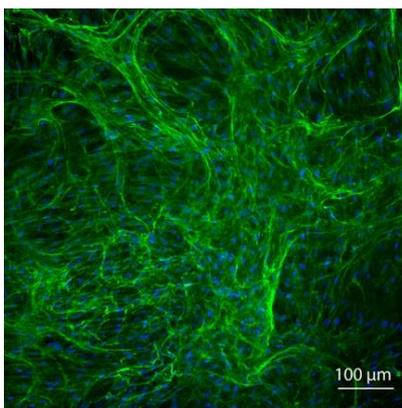
Ces visuels et d'autres sont disponibles auprès d'Alexiane Agullo [et sur la photothèque du CNRS \(phototheque@cnrs.fr\)](mailto:phototheque@cnrs.fr).



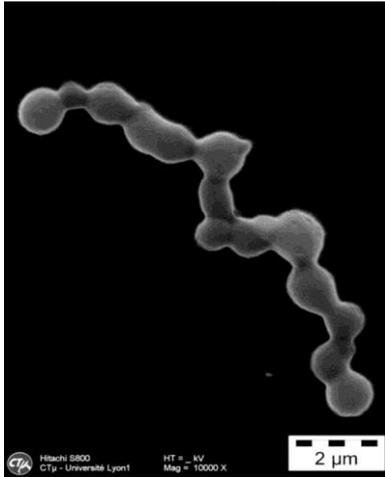
Réseau 3D des fibres de collagène, fibres élastiques et fibres musculaires d'un pli vocal humain, obtenu par microtomographie à rayons X haute résolution sur la ligne ID19 de l'ESRF. Barre d'échelle : 250 μm © Lucie BAILLY/3SR/GIPSA-lab/LADAF/NOVITOM/ESRF/CNRS Photothèque



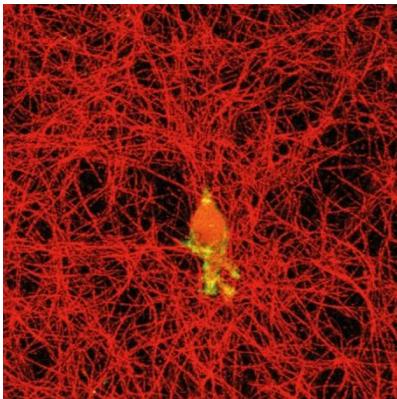
Vue en coupe coronale d'un larynx humain, obtenue par microtomographie à rayons X haute résolution sur la ligne ID19 de l'ESRF. 1: pli vocal, 2: pli vestibulaire, 3: trachée, 4: cartilage cricoïde. Barre d'échelle: 1 mm © Lucie BAILLY/3SR/GIPSA-lab/LADAF/NOVITOM/ESRF/CNRS Photothèque



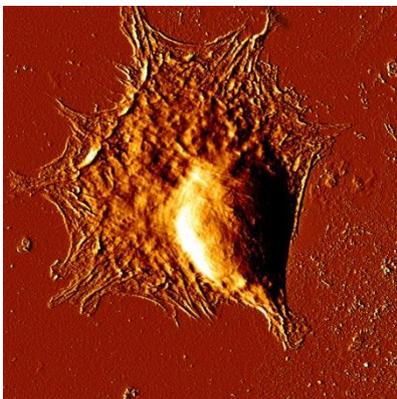
Immunomarquage fluorescent de la tropoélastine (vert) et contre-marquage des noyaux au DAPI (bleu) de fibroblastes dermiques humains cultivés 8 jours à post-confluence. La tropoélastine, conférant l'élasticité aux fibres élastiques matures, est sécrétée par les cellules et se dépose en un réseau fibrillaire dans l'espace extracellulaire. Cette observation est réalisée en microscopie optique à fluorescence. La barre d'échelle correspond à 100 μm © Romain DEBRET/UMR5305/CNRS Photothèque



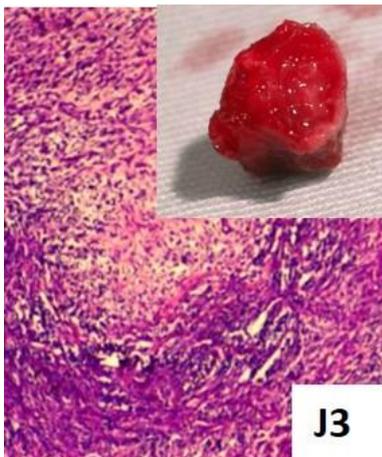
Observation en microscopie électronique à balayage d'une protéine élastique synthétique à 2 mg/ml, dans une solution tampon phosphate salin à pH 7,4 et 40°C. La protéine forme spontanément des structures en sphères coalescentes. La barre d'échelle correspond à 2 μm. © Chloé LORION/UMR5305/CNRS Photothèque



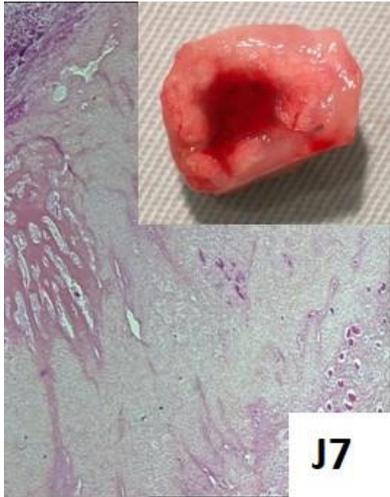
Cellule cancéreuse humaine migrant dans une matrice de collagène, vue en microscopie confocale © Alain DUPERRAY/Claude VERDIER/MicroCell/IAB/LiPhy/CNRS Photothèque



Vue en microscopie à force atomique d'une cellule adhérente humaine (fibroblaste) © Claude VERDIER/LiPhy/CNRS Photothèque.



Régénération des tissus osseux au bout de 3 jours © Martine Pithioux/Institut des sciences du mouvement - Etienne-Jules Marey (CNRS/AMU)



Régénération des tissus osseux au bout de 7 jours © Martine Pithioux/Institut des sciences du mouvement - Etienne-Jules Marey (CNRS/AMU)

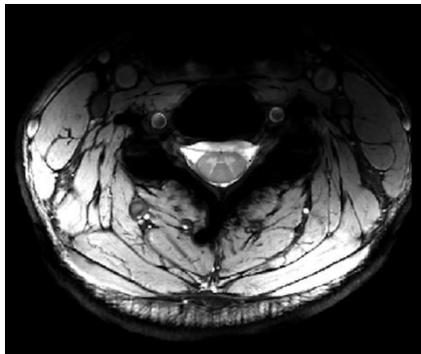


Image morphologique à très haute résolution spatiale (0.18x0.18 mm² dans le plan) d'un cordon médullaire, au niveau cervical, acquise en Imagerie par résonance magnétique (IRM) à ultra haut champ (7 teslas). Le contraste obtenu permet de distinguer clairement la substance grise et la substance blanche. Au sein de la substance blanche, des sous-structures peuvent également être identifiées (faisceaux graciles et cunéiformes). D'autres détails comme les racines nerveuses, les vaisseaux sanguins et les ligaments sont également visibles. Grâce à un meilleur rapport signal-sur-bruit et de nouveaux contrastes, l'IRM à ultra haut champ permet de révéler des structures jusqu'ici difficilement visibles sur les imageurs conventionnels à 1.5 et 3 teslas, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour une caractérisation plus fine des tissus et de leurs altérations. © Virginie CALLOT/CRMBM-CEMEREM/CNRS Photothèque



Moelle épinière et rachis, vus en imagerie anatomique conventionnelle multi-paliers, pondérée en T2 et acquise à 3 teslas. Cette technique d'imagerie permet de localiser d'éventuelles anomalies du signal, qui seraient le témoin d'une souffrance tissulaire. Elle permet également d'apprécier la géométrie du canal médullaire, de détecter de potentielles atrophies ou encore des remaniements dégénératifs qui pourraient par exemple induire une compression du cordon médullaire. © Virginie CALLOT/CRMBM-CEMEREM/CNRS Photothèque