

Physiologie- Neurophysiologie

Chapitre 1

Physiologie du muscle strié

Dr. Anne-Sophie JOB-CHAPRON

Dr Sébastien BAILLIEUL

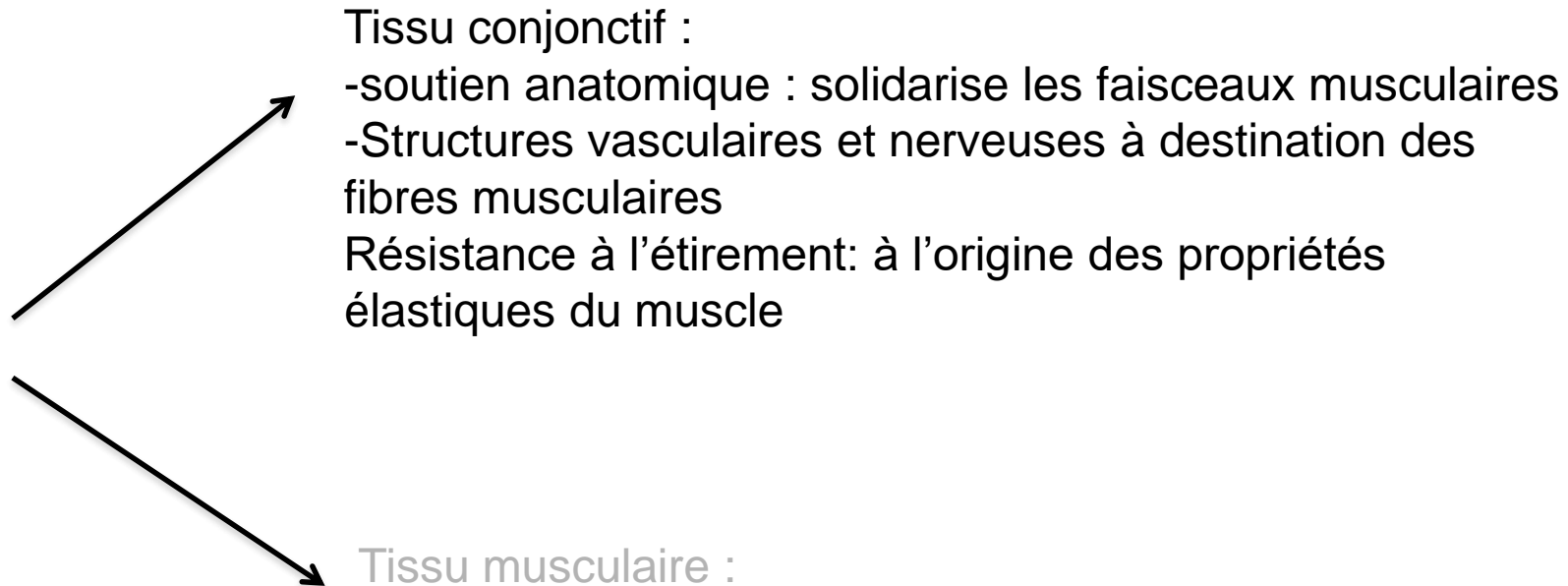
Objectifs pédagogiques du cours

- Objectif 1 : comprendre le couplage excitation/contraction
- Objectif 2 : connaître les différents facteurs influant sur la force musculaire
- Objectif 3: comprendre les mécanismes de codage de l'information musculaire

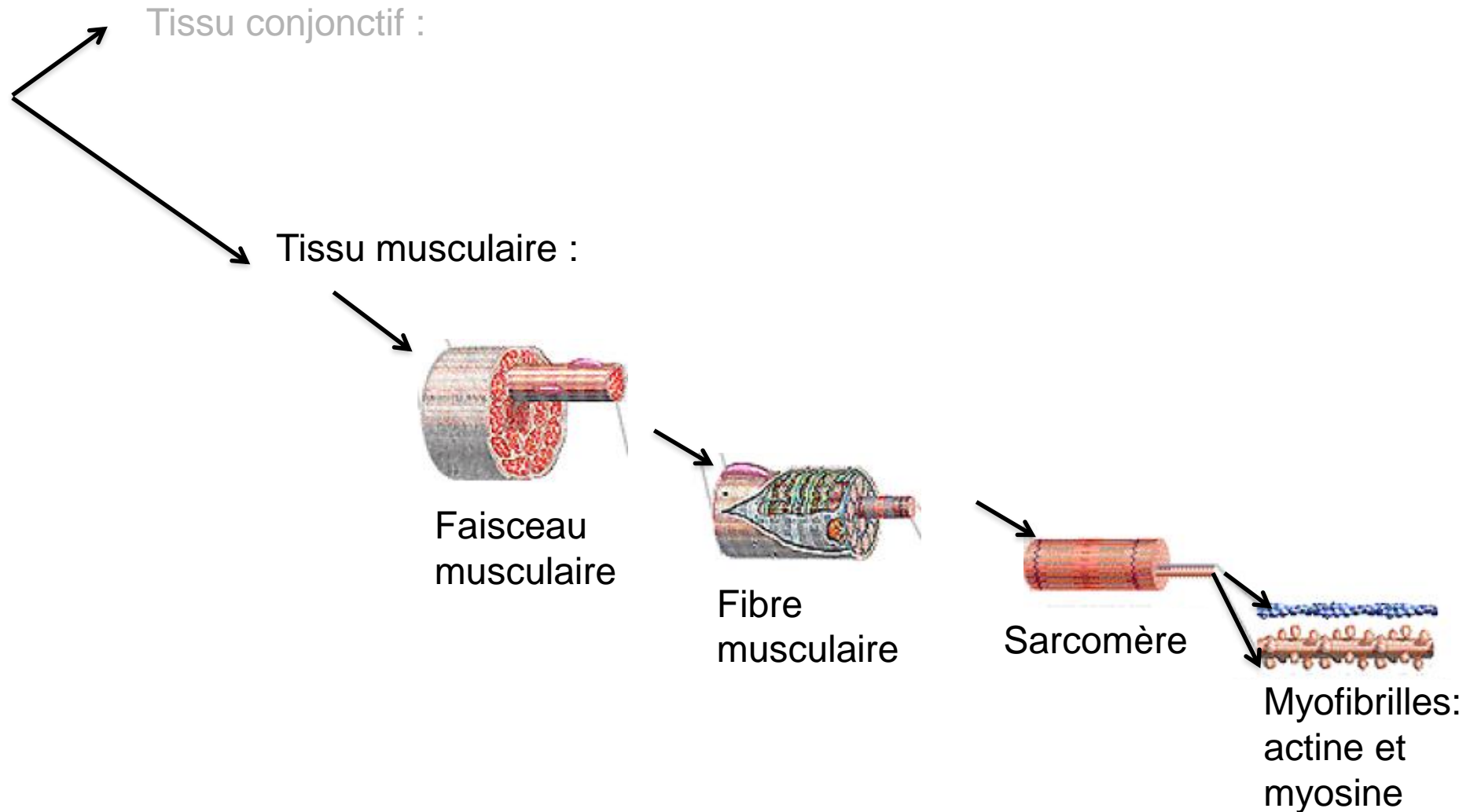
I INTRODUCTION

- Muscle strié squelettique :
 - Stries dues à la présence des myofibrilles
 - Se fixe au squelette via des tendons
- Fonctions à l'échelle de l'individu
 - Maintien du tonus musculaire : motricité statique
 - Mouvement: motricité dynamique
 - Production d'ATP et thermorégulation

II CONSTITUANTS ANATOMIQUES DU MUSCLE



II CONSTITUANTS ANATOMIQUES DU MUSCLE



II CONSTITUANTS ANATOMIQUES DU MUSCLE



Fibre
musculaire

Fibres I : oxydatives lentes	Fibres IIa: Oxydatives rapides	Fibres IIb: Glycolytiques rapides
Très vascularisées (rouges)	Vascularisées	Peu vascularisées (blanches)
Petit diamètre	Diamètre intermédiaire	Grand diamètre
Grandes capacités oxydatives (voie mitochondriale)	Capacités oxydatives modérées (métabolisme mixte)	Faibles capacités oxydatives (métabolisme glycolytique)
Vitesse de contraction et force modérées	Vitesse et force importante	Vitesse et force très importante
Effort prolongé d'intensité modérée	Effort intermédiaire	Effort intense de courte durée

II CONSTITUANTS ANATOMIQUES DU MUSCLE



Fibre
musculaire

Fibres I : Oxydatives lentes	Fibres IIa: Oxydatives rapides	Fibres IIb: Glycolytiques rapides
Très vascularisées (rouges)	Vascularisées	Peu vascularisées (blanches)
Petit diamètre	Diamètre intermédiaire	Grand diamètre
Résistant à oxydation (voie mitochondriale)	Résistant +/- à l'oxydation (métabolisme mixte)	Peu résistantes à l'oxydation (métabolisme glycolytique)
Vitesse de contraction et force modérées	Vitesse et force importante	Vitesse et force très importante
Effort prolongé d'intensité modérée	Effort intermédiaire	Effort intense de courte durée

II CONSTITUANTS ANATOMIQUES DU MUSCLE



Fibre
musculaire

Fibres I : Oxydatives lentes	Fibres IIa: Oxydatives rapides	Fibres IIb: Glycolytiques rapides
Très vascularisées (rouges)	Vascularisées	Peu vascularisées (blanches)
Petit diamètre	Diamètre intermédiaire	Grand diamètre
Résistant à oxydation (voie mitochondriale)	Résistant +/- à l'oxydation (métabolisme mixte)	Peu résistantes à l'oxydation (métabolisme glycolytique)
Vitesse de contraction et force modérées	Vitesse et force importante	Vitesse et force très importante
Effort prolongé d'intensité modérée	Effort intermédiaire	Effort intense de courte durée

II CONSTITUANTS ANATOMIQUES DU MUSCLE

- Fibres I, IIa, IIb

Réparties au sein du muscle avec une distribution spatiale globalement homogène

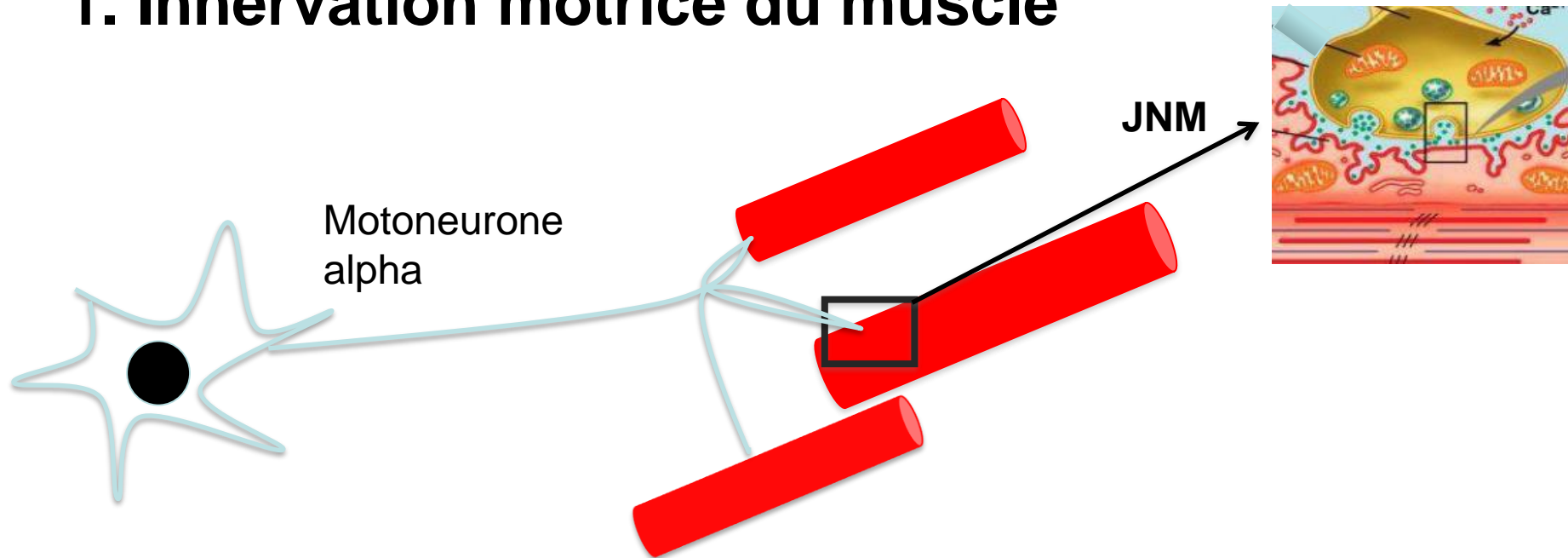


Fibre
musculaire

- Proportions variables selon la fonction du muscle
+ de fibres oxydatives lentes pour maintenir le tonus
Plus de fibres glycolytiques rapides pour mouvement rapide

III PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

1. Innervation motrice du muscle



**Jonction entre une terminaison nerveuse et une fibre musculaire:
jonction neuromusculaire (JNM)
Synapse cholinergique**

**Association d'un motoneurone alpha et de toutes les fibres qu'il
innerve = unité motrice (UM)**

III PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

1. Innervation motrice du muscle

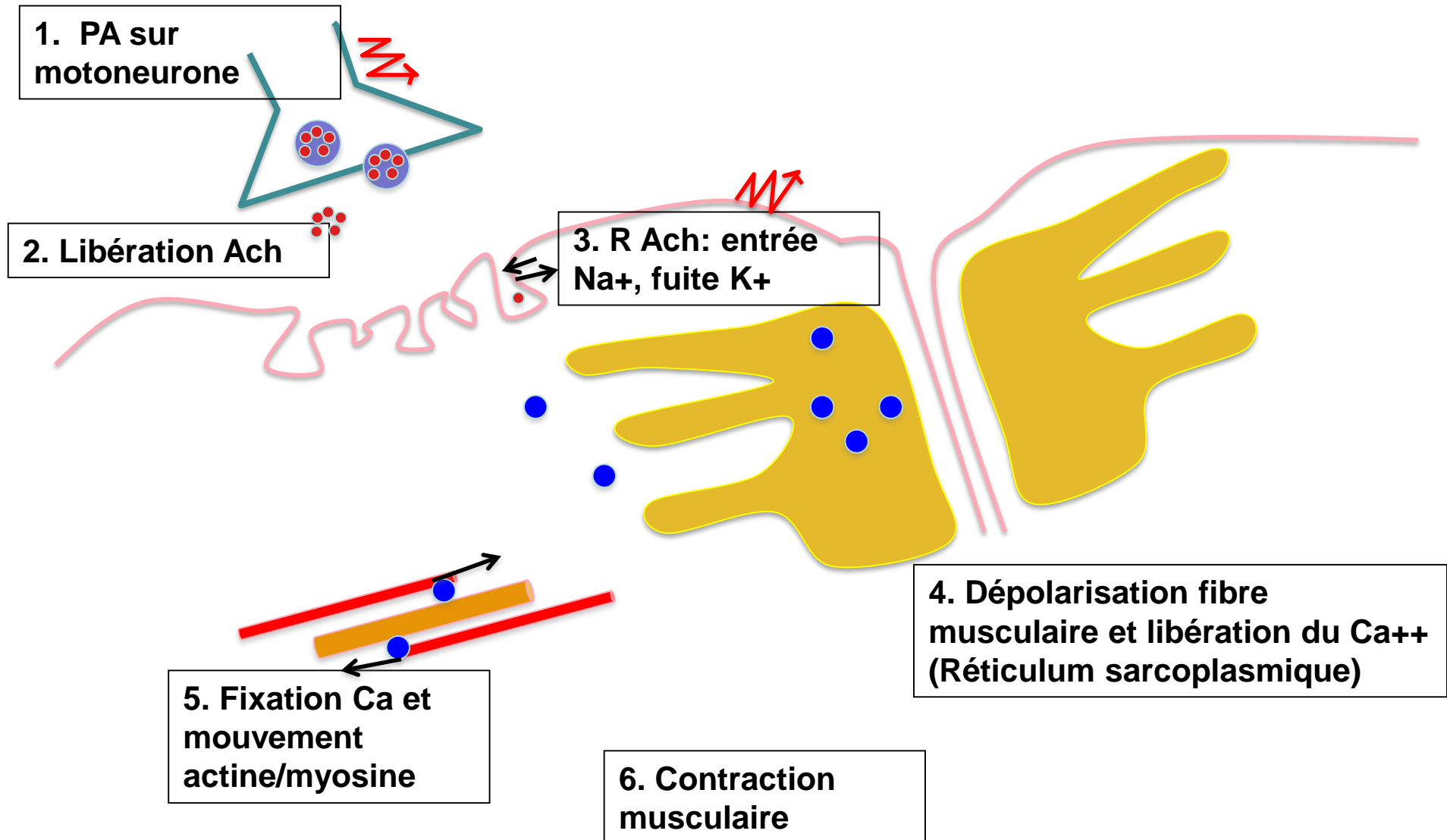
- Fibres musculaires d'une UM dispersées permettant une contraction harmonieuse
- UM : de 3 à 200 fibres musculaires innervées par un motoneurone
- UM grandes: force de contraction (quadriceps)
- UM petites: précision (muscles occluso moteurs)

III PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

2. Couplage excitation-contraction

- Ensemble de phénomènes permettant la transformation d'un signal électrique (PA du motoneurone) en une contraction musculaire

Couplage excitation-contraction

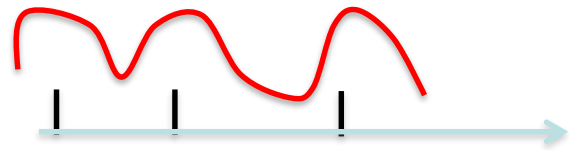


III PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

- **Mouvements actine/myosine -> contraction musculaire.**
- **Différents types de contraction:**
 - Isométrique: contraction de longueur constante, sans déplacement du muscle
 - Isotonique: force de contraction constante mais déplacement du muscle
 - Selon le type de mouvement:
 - Concentrique (raccourcissement)
 - Excentrique (allongement)

III PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

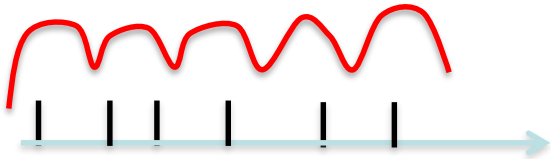
3. Sommation temporelle



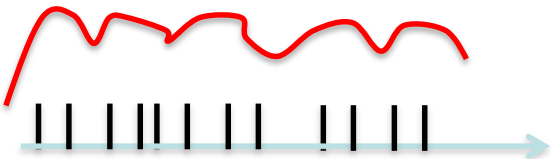
Contraction

Pas de fusion

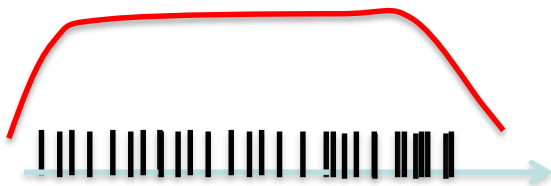
PA



Fusion partielle



Fusion partielle ++



Fusion complète: téтанos

III PHYSIOLOGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

4. Sommation spatiale

- **Recrutement progressif:**

- **Des UM de taille croissante = principe de taille**

Augmentation de force progressive, avec peu d'à-coups

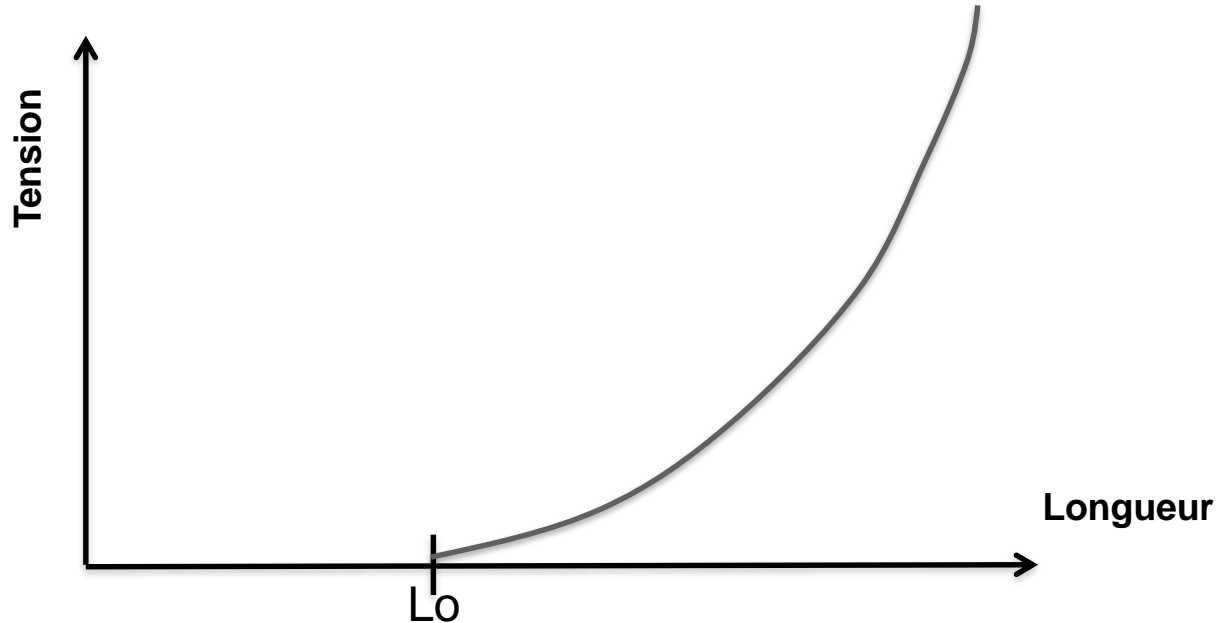
- **Des fibres de type I puis IIa puis IIb**

IV PROPRIETES MECANQUES DU MUSCLE ET COURBES TENSION-LONGUEUR

- **Propriétés mécaniques = propriétés intrinsèques du muscle**
- **Vont conditionner la force (ou tension) produite par le muscle**
- **Dépendent de**
 - **la composante élastique du muscle** (structures conjonctives, tendons): à l'origine de la **force passive**
 - **la composante contractile du muscle** (fibre musculaire): à l'origine de la **force active**
- **Force fonction de la longueur de repos (de référence) du muscle**

IV PROPRIETES MECANQUES DU MUSCLE ET COURBES TENSION-LONGUEUR

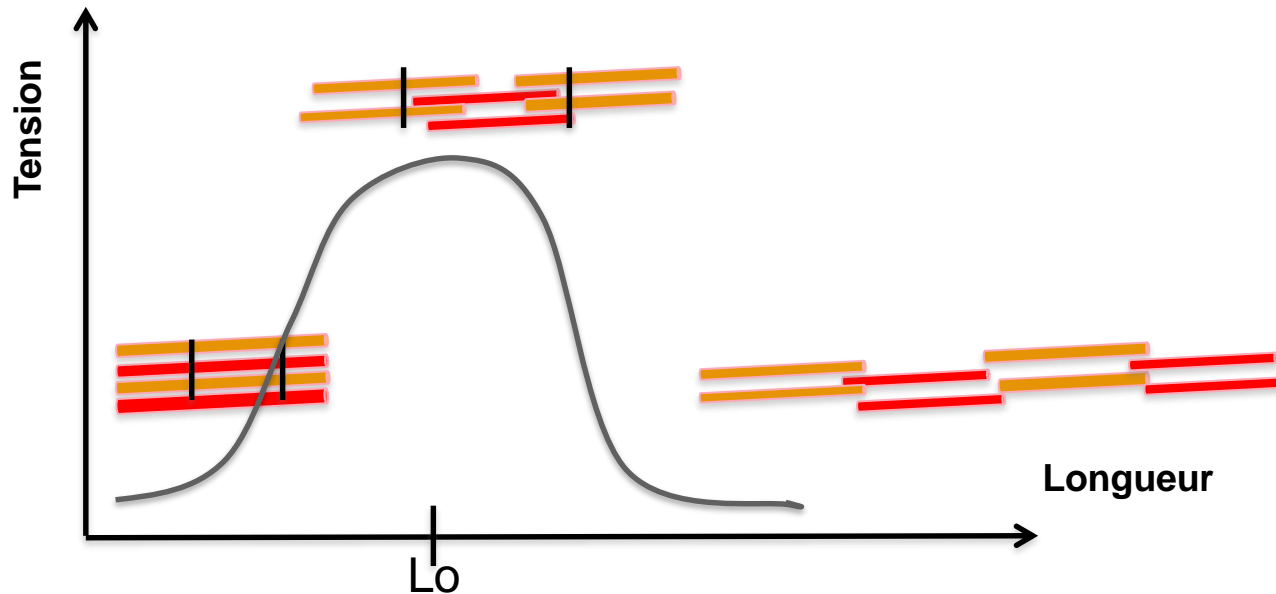
1. RELATION TENSION-LONGUEUR PASSIVE



- Due au tissu conjonctif : résistance à l'étirement et énergie libérée lorsque l'étirement est levé
- Calculée en dehors d'une stimulation neuronale (donc force passive)
- Force augmente de façon exponentielle avec la tension qui est appliquée au muscle. (et est nulle à la longueur de repos L_0 du muscle)

IV PROPRIETES MECANQUES DU MUSCLE ET COURBES TENSION-LONGUEUR

2. RELATION TENSION-LONGUEUR ACTIVE

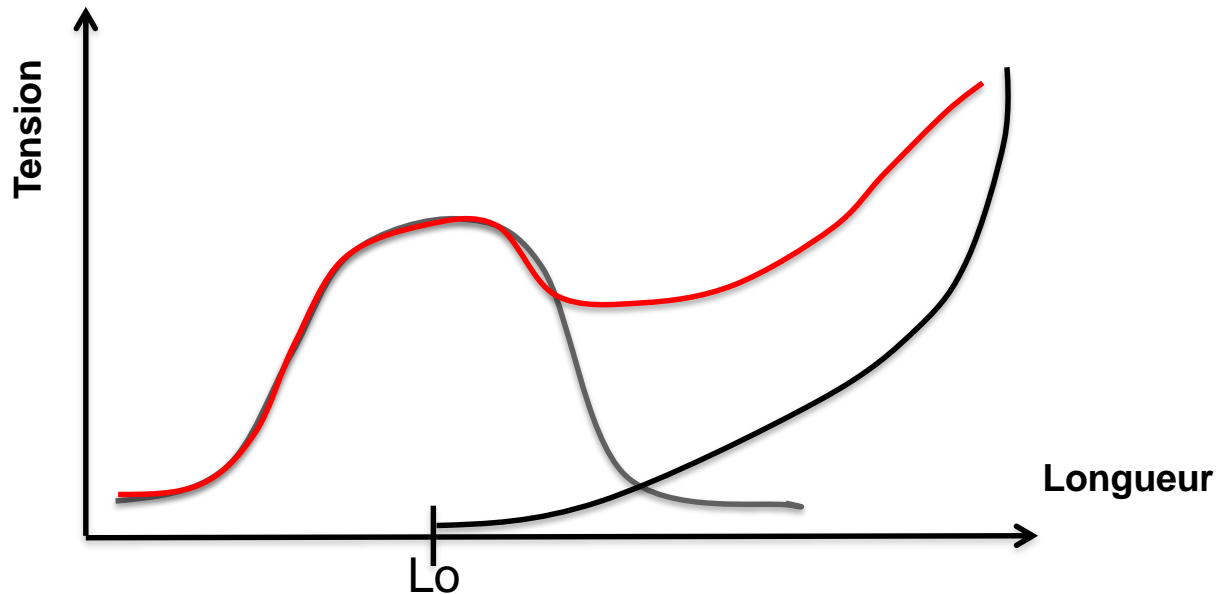


Due aux propriétés contractiles du muscle (actine/myosine) en situation de contraction

- A longueur de repos: interactions actine/myosine optimales > tension maximale
- Muscle rétracté: ponts actine/myosine déjà saturés >> force minimale
- Muscle étiré: filaments d'actine et myosine « disjoints » > force minimale

IV PROPRIETES MECANQUES DU MUSCLE ET COURBES TENSION-LONGUEUR

3. RELATION TENSION-LONGUEUR GLOBALE



- Due aux propriétés élastiques et rétractiles du muscle
- Quand muscle en position concentrique ($<L_0$) : force surtout dûe à composante active (actine/myosine)
- En position excentrique ($>L_0$) : force surtout due à la composante passive (élastique)

V FACTEURS INFLUANT SUR LA PUISSANCE DE CONTRACTION

- **Vitesse du mouvement: inversement proportionnelle à la force de contraction**

Compromis entre la force du muscle et la **vitesse du mouvement**

A haute cinétique: liaisons actine/myosine ne peuvent se réaliser

A contrario quand liaisons importantes, rupture de pont et donc vitesse de déplacement lente

V FACTEURS INFLUANT SUR LA PUISSANCE DE CONTRACTION

- **Aspects énergétiques :**
= Voie énergétique mise en jeu lors de l'effort pour produire de l'ATP

	METABOLISME AEROBIE	METABOLISME ANAEROBIE ALACTIQUE	METABOLISME ANAEROBIE LACTIQUE
Voie	Glc/Glycogène/A G >> ATP	ATP et P-creatine>>ATP	Glc/Glycogène >> ATP +lactates
Rendement	Bon	Bon	Mauvais
Débit	faible	Bon mais très transitoire	Elevé
Mise en jeu	Majoritaire++ Effort modéré et prolongé	Effort explosif (sprint)	Effort intense de durée courte à moyenne

V FACTEURS INFLUANT SUR LA PUISSANCE DE CONTRACTION

- **Aspects énergétiques :**

	METABOLISME AEROBIE	METABOLISME ANAEROBIE ALACTIQUE	METABOLISME ANAEROBIE LACTIQUE
Voie	Glc/Glycogène/A G >> ATP	ATP et P-creatine>>ATP	Glc/Glycogène >> ATP +lactates
Rendement	Bon	Bon	Mauvais
Débit	faible	Bon mais très transitoire	Elevé
Mise en jeu	Majoritaire++ Effort modéré et prolongé	Effort explosif (sprint)	Effort intense de durée courte à moyenne

V FACTEURS INFLUANT SUR LA PUISSANCE DE CONTRACTION

- **Aspects énergétiques :**

	METABOLISME AEROBIE	METABOLISME ANAEROBIE ALACTIQUE	METABOLISME ANAEROBIE LACTIQUE
Voie	Glc/Glycogène/A G >> ATP	ATP et P-creatine>>ATP	Glc/Glycogène >> ATP +lactates
Rendement	Bon	Bon	Mauvais
Débit	faible	Bon mais très transitoire	Elevé
Mise en jeu	Majoritaire++ Effort modéré et prolongé	Effort explosif (sprint)	Effort intense de durée courte à moyenne

V FACTEURS INFLUANT SUR LA PUISSANCE DE CONTRACTION

- **Déjà abordés:**

Taille des UM, types de fibres (I, IIa, IIb) mises en jeu

Recrutement spatial (nombre d'UM) et de fibres musculaires

Recrutement temporel (fréquence des PA)

Force globale (relation tension-longueur) du muscle

VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

Contrôle médullaire du muscle strié

Boucles réflexes

Objectif: maintenir le tonus musculaire constant

Deux modes de codage:

- Longueur du muscle et vitesse d'allongement: récepteurs fusoriaux
- Force du muscle: récepteurs tendineux

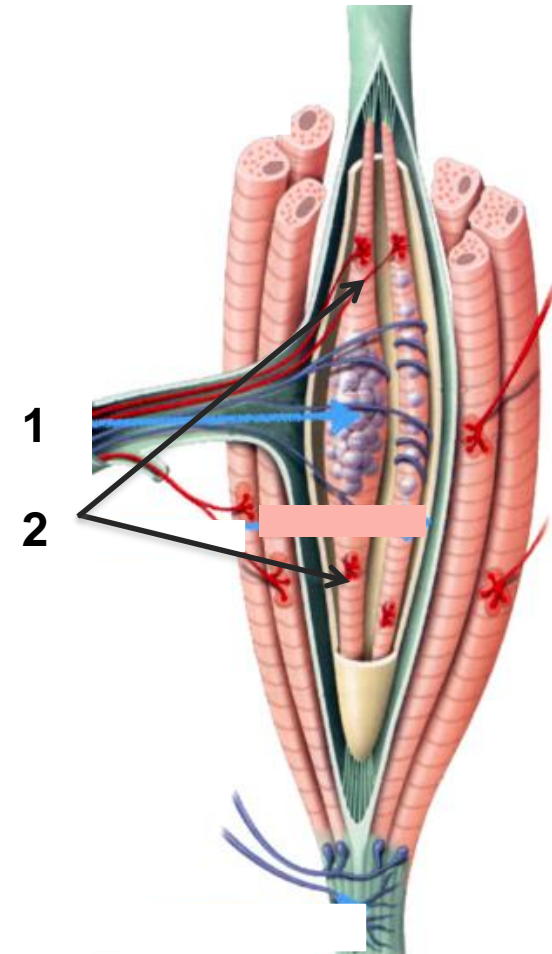
VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

1. Longueur et vitesse d'allongement du muscle

A. Fuseau neuromusculaire (FNM), récepteurs fusoriaux

Fibres intra-fusales: entre les F. musculaires,
Disposées parallèlement

- **Partie centrale élastique:**
zone équatoriale contenant les récepteurs
fusoriaux
Récepteurs innervés par fibres Ia
- **Parties contractiles de part et d'autre**



VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

1. Longueur et vitesse d'allongement du muscle

B. Rôle des fibres Ia et du fuseau neuromusculaire

Fibres Ia:

Myélinisées de gros diamètre

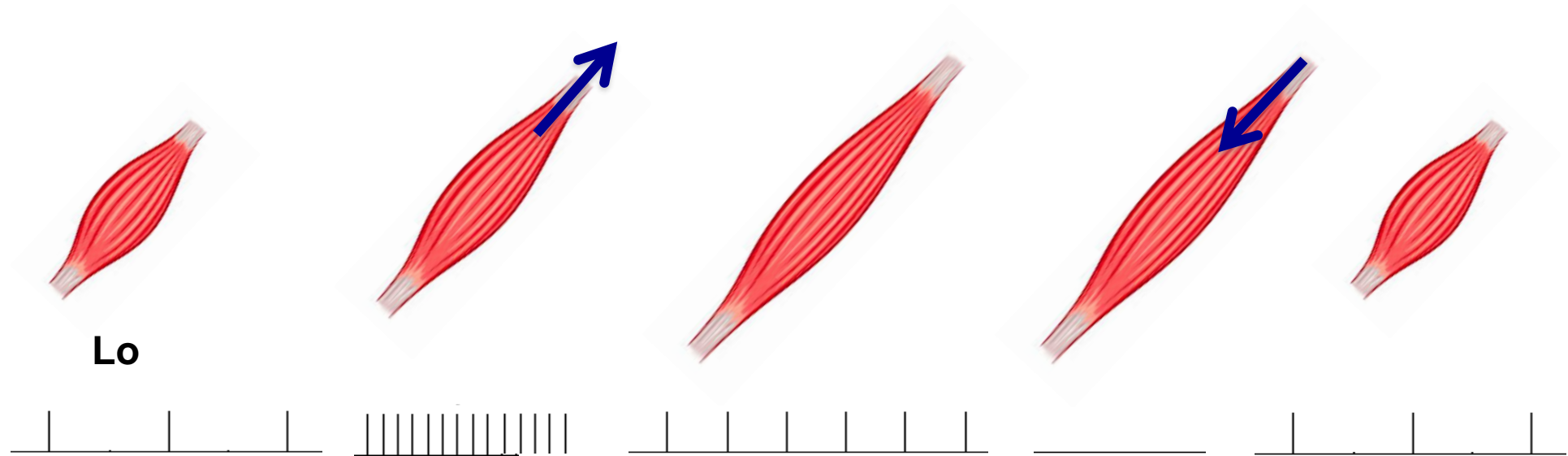
Sensibles à deux paramètres:

- Degré d'allongement du muscle
- Vitesse d'allongement

VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

1. Longueur et vitesse d'allongement du muscle

B. Rôle des fibres Ia et du fuseau neuromusculaire



VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

1. Longueur et vitesse d'allongement du muscle

C. Rôle des motoneurones gamma

Lors de la contraction musculaire: pas de décharge des fibres Ia en théorie

Donc pas d'information pour le SNC.

Motoneurones gamma: plus petit diamètre mais même trajet que motoneurones alpha, tout en innervant la zone élastique du FNM (et non la fibre musculaire en soi).

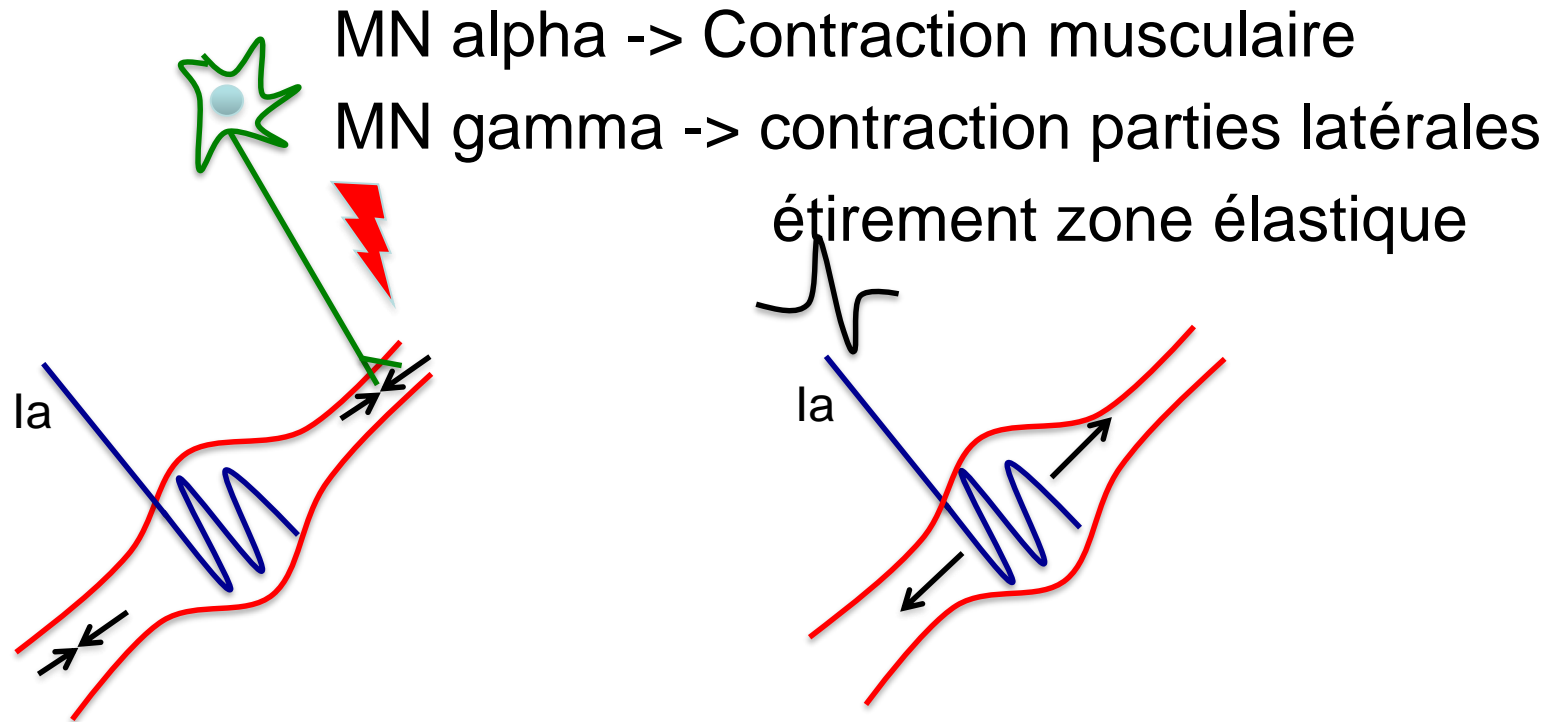
VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

1. Longueur et vitesse d'allongement du muscle

C. Rôle des motoneurones gamma

Restaurent l'information

co activation des MN alpha et gamma



VI INNERVATION SENSITIVE DU MUSCLE

2. Force de contraction du muscle

- **Organes tendineux de Golgi**

Mécanorécepteurs proprioceptifs

Jonction tendon/muscle

Relaient avec fibres sensibles de types Ib

- **Organes tendineux de Golgi**

- sensibles à toute mise en tension du muscle (étirement comme contraction)

- Mais sont particulièrement sensibles à la contraction active :
vont alors réguler la tension musculaire via interneurone médullaire projetant sur MN alpha

Messages essentiels du cours

- Muscle strié: organe moteur sous dépendance du SN somatique (MN alpha, fibres Ia, Ib sensibles)
- Couplage excitation/contraction : du PA à la contraction musculaire
- Force (puissance) produite est multifactorielle: sommation spatiale, temporelle, type de fibres musculaires, métabolisme en jeu, vitesse du mouvement

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits en Première Année Commune aux Etudes de Santé (PACES) à l'Université Grenoble Alpes, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.