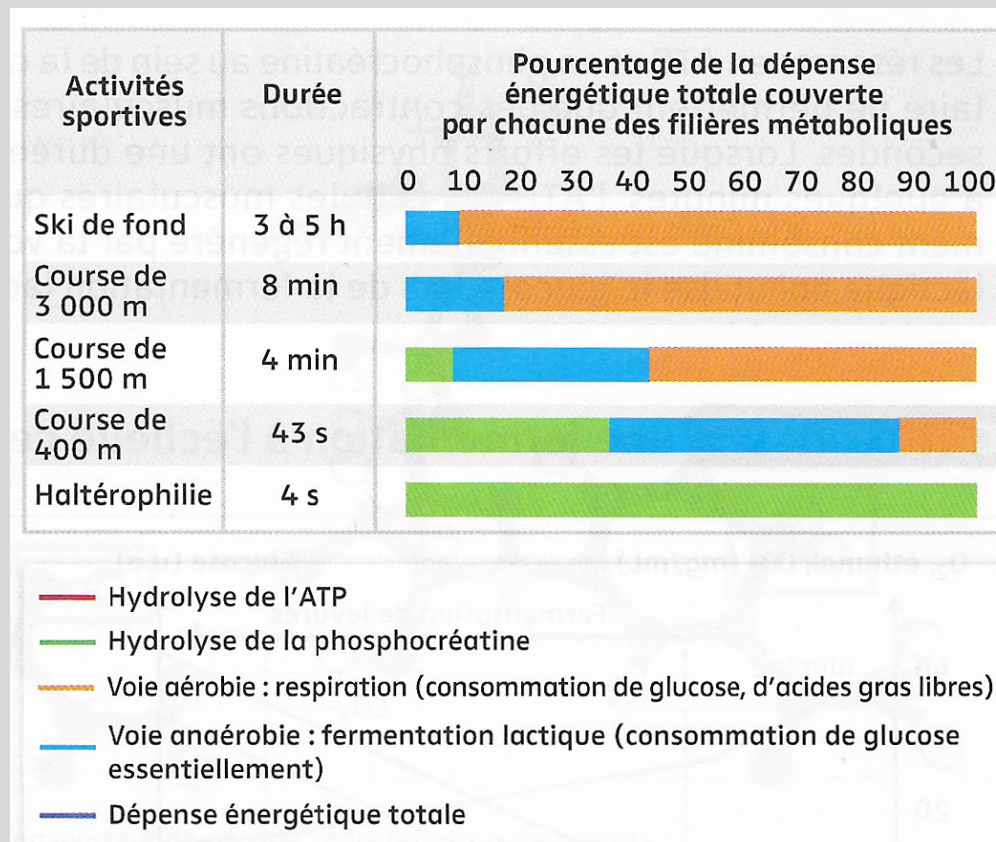
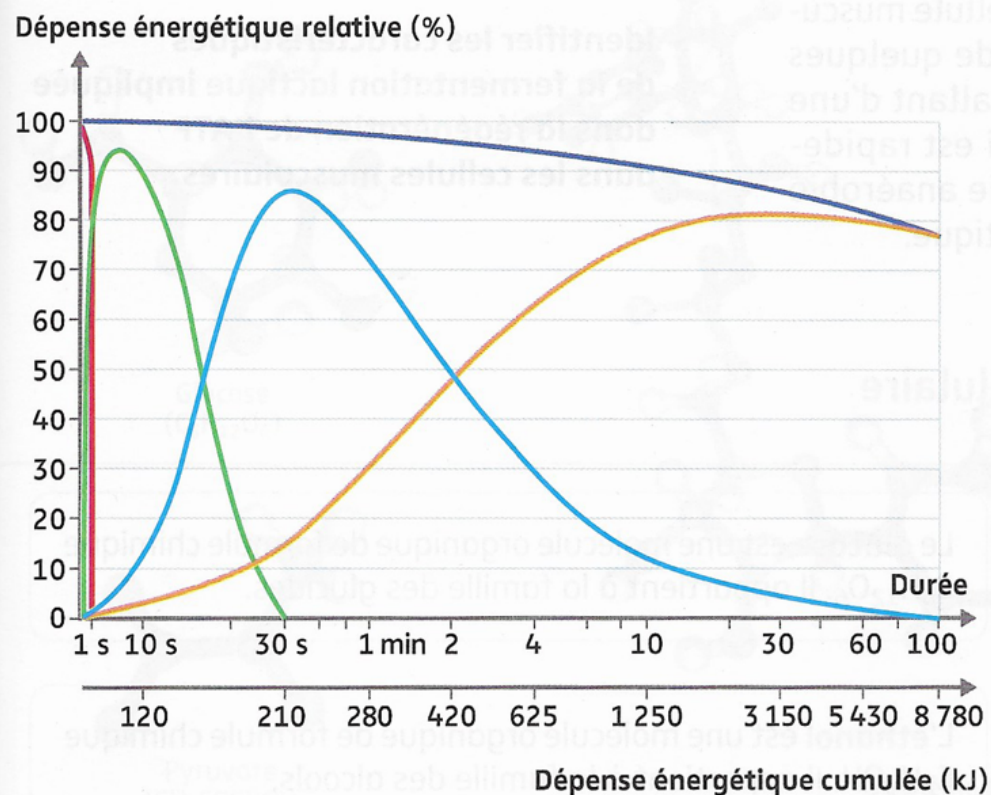


II. Les différentes voies métaboliques selon le type d'effort

Doc 1 : Les voies métaboliques selon l'effort physique

Différentes voies métaboliques fournissent l'énergie nécessaire à la contraction musculaire à partir de substrats variés et avec des délais d'intervention différents (à gauche). La contribution de ces différentes voies métaboliques varie selon le type d'activité sportive réalisé (à droite).

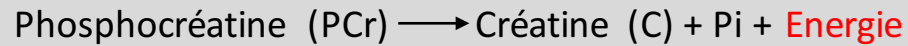


Doc 2 : L'hydrolyse de la phosphocréatine

La **créatine (Cr)** présente dans l'organisme provient d'une part, d'une synthèse par le foie, le pancréas et les reins à partir de certains acides aminés et, d'autre part, de certains aliments (viande, poissons).

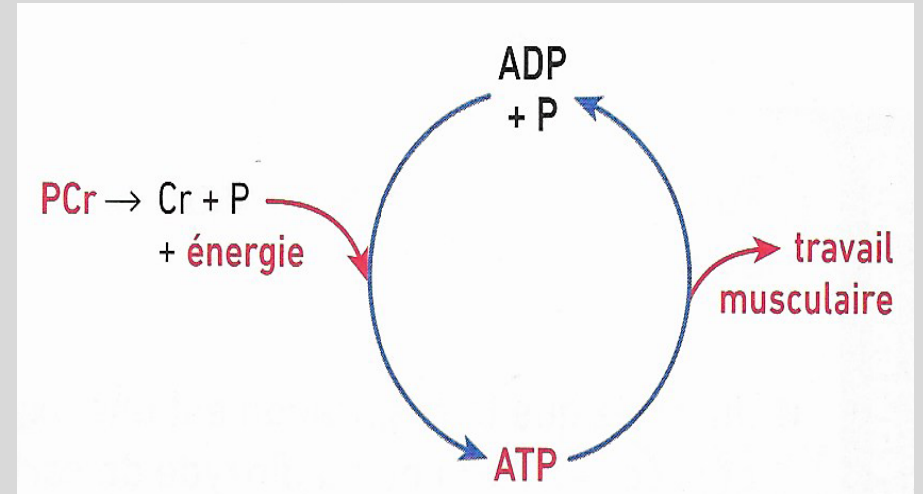
On retrouve ensuite la créatine essentiellement dans les cellules musculaires, où une fraction est liée au phosphate et donne la **phosphocréatine (PCr)**.

Cette dernière **possède ainsi une liaison phosphate à haut potentiel énergétique** et peut s'hydrolyser très rapidement en créatine (+ phosphate inorganique Pi).



Cette énergie obtenue par hydrolyse n'est pas directement utilisable par la cellule mais permet de reconstituer de l'ATP à partir d'ADP + Pi.

Ce système est instantané et ne nécessite aucune structure cellulaire particulière. Il permet de subvenir aux besoins immédiats mais en moins de 30s, les stocks d'ATP et de phosphocréatine s'épuisent.



Doc 3 : Les deux types de fibres musculaires

L'observation microscopique ci-dessous (A) a été réalisée grâce à une coloration particulière : l'intensité de la coloration traduit en effet l'activité d'une enzyme spécifique intervenant dans la production d'ATP par les mitochondries.

On y distingue ainsi deux types principaux de fibres musculaires :

- les fibres de type I, de couleur foncée, à forte activité enzymatique mitochondriale ;
- les fibres de type II, de couleur claire, à faible activité enzymatique mitochondriale.

Il existe cependant des fibres intermédiaires entre ces deux types de fibres musculaires.

D'autres caractéristiques permettent de distinguer le métabolisme de ces fibres (B).



A Coupe transversale des fibres musculaires après coloration (MO).

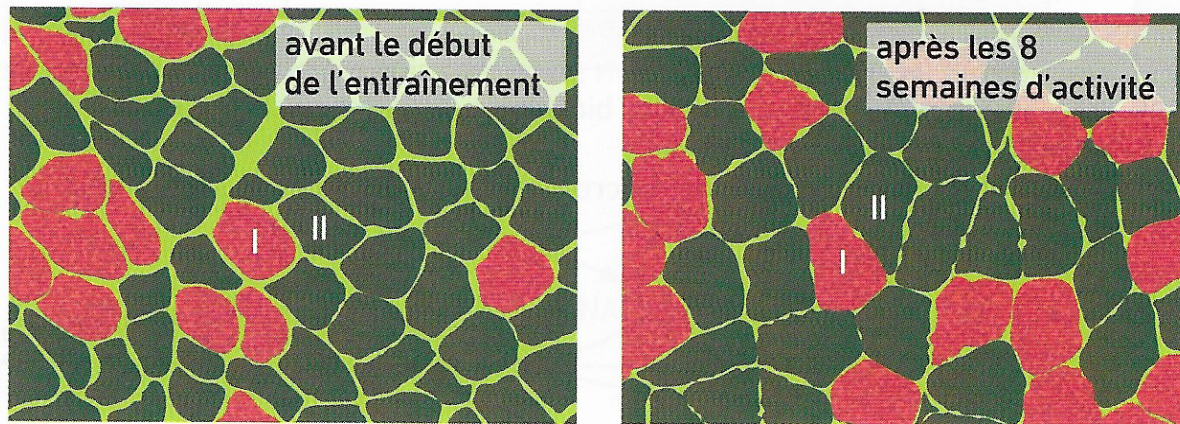
	Fibre de type I	Fibre de type II
Résistance à la fatigue	forte	faible
Vitesse de contraction	lente	rapide
Richesse en mitochondries	élevée	faible
Teneur en enzymes de la fermentation lactique	faible	moyenne à élevée
Irrigation sanguine	forte	faible
Teneur en glycogène*	faible	élevée

B Quelques caractéristiques biochimiques des deux types de fibres musculaires.

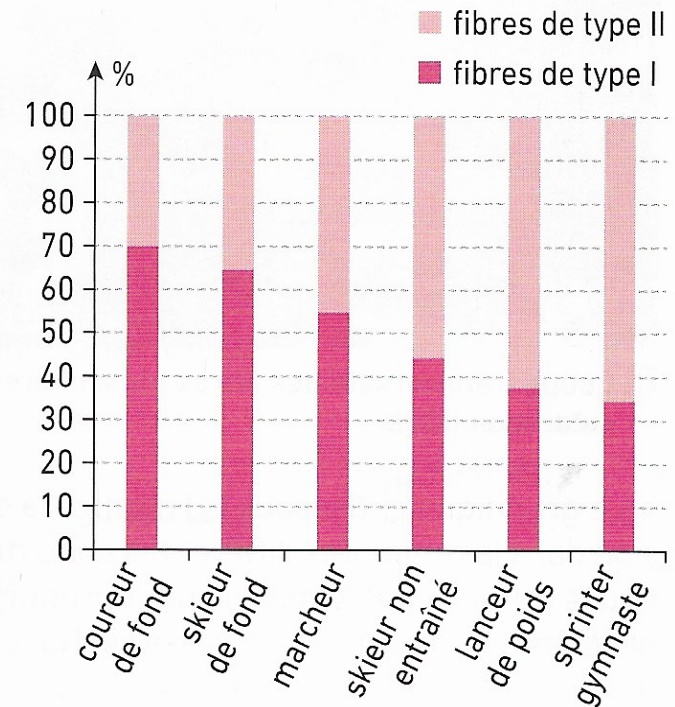
*Le glycogène est une macromolécule glucidique de réserve (polymère de glucose).

Doc 4 : La plasticité du muscle squelettique

Des biopsies de cellules musculaires, réalisées avant et après un entraînement d'endurance de huit semaines, permettent de déceler les variations des types de fibres (type I ou type II, ainsi que leurs surfaces, mesurées dans une section de coupe transversale.



A Biopsies révélant les types de fibres (coupe transversale).



B Proportions des types de fibres en fonction de la pratique sportive.

III. Les effets de certaines substances exogènes

Doc 1 : Les produits dopants

Le dopage

Substances et méthodes interdites par l'Agence mondiale antidopage (AMA)

INTERDITES EN PERMANENCE

Substances



Modulateurs hormonaux et métaboliques

- ▶ ex : anti-oestrogènes favorisant la production de testostérone, inhibiteurs de la myostatine pour accroître la masse musculaire
- ▶ Dont le meldonium depuis jan 2016



Agents anabolisants

- ▶ Stéroïdes
- ▶ Testostérone



Hormones peptidiques, facteurs de croissance

- ▶ Brûlent les graisses
- ▶ Augmentent la masse musculaire et la force



Beta-2 agonistes

- ▶ Relaxants musculaires dilatant les voies respiratoires
- ▶ Dont le Salbutamol au-delà de 800 mg/12h



Diurétiques et agents masquants

- ▶ Dont acétazolamide, diurétique pouvant être utilisé afin de masquer la présence d'autres substances interdites

Méthodes



Manipulation de sang

- ▶ Injection de sang issu d'un donneur ou réintroduction de son propre sang
- ▶ Augmentation artificielle du taux de globules rouges pour améliorer l'apport d'oxygène

Dopage génétique

- ▶ Introduction d'un gène synthétique dans le génôme du sportif



EN COMPÉTITION

Stimulants

- ▶ Dont l'amphétamine et la cocaïne

Narcotiques

- ▶ Dont l'héroïne, la méthadone, la péthidine

Cannabinoïdes

- ▶ Dont le cannabis et ses versions synthétiques

Glucocorticoïdes

- ▶ Dont des médicaments anti-inflammatoires

Diurétiques : augmentent la production d'urine

Hormones peptidiques : Erythropoïétine, hormone de croissance ...

Dopage génétique : introduction d'un gène qui produirait des substances favorisant la croissance du tissu musculaire ou le protégeant de la dégradation

Glucocorticoïdes : Limitent l'inflammation musculaire, la douleur, diminuent la sensation de fatigue

Doc 2 : Données de l'AMA sur les agents anabolisants (Agence mondiale antidopage)

Agents anabolisants	Constatations
Stanozolol	22 %
Nandrolone	13 %
Metandiedone	10 %
Drostanolone	9 %

en 2015

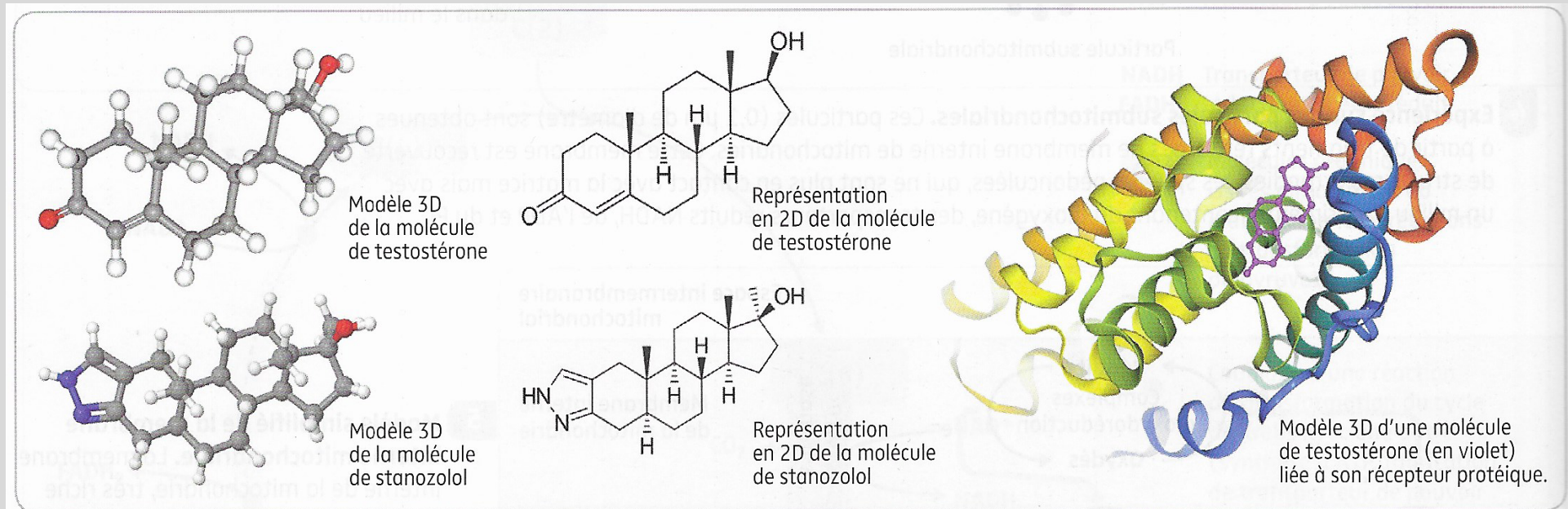
Résultats de diverses enquêtes sur l'utilisation de stéroïdes. Les utilisateurs consomment en général des doses très élevées : 1 000 à 2 000 mg de testostérone (ou équivalents) par semaine, souvent en combinaison avec d'autres agents anaboliques, contre une production hebdomadaire naturelle de testostérone de 50 mg.

Les stéroïdes anabolisants sont des hormones de synthèse qui dérivent toutes de la **testostérone**.

Cette hormone est produite principalement chez l'homme et assure différentes fonctions, dont le masculinisation, en particulier par augmentation de masse musculaire.

Chez l'homme il peuvent être prescrits en cas de taux insuffisant de testostérone induisant des troubles de la procréation (production insuffisante de spermatozoïdes).

Doc 3 : Modèle moléculaire de la testostérone et du stanozolol, un dérivé de synthèse



Modèles moléculaires de la testostérone et du stanozolol, un dérivé de synthèse.

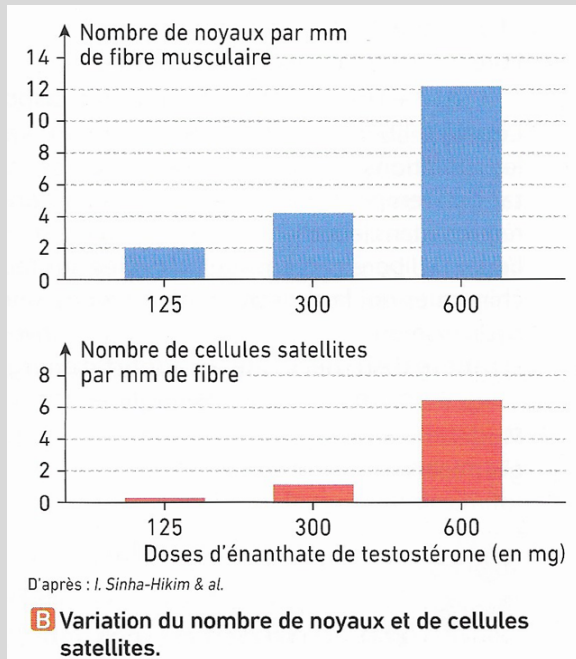
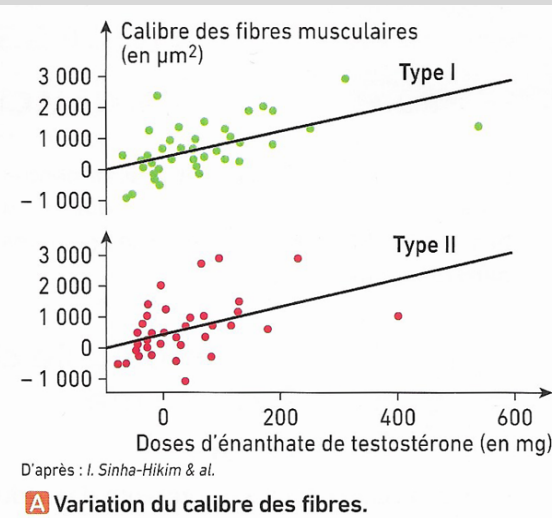
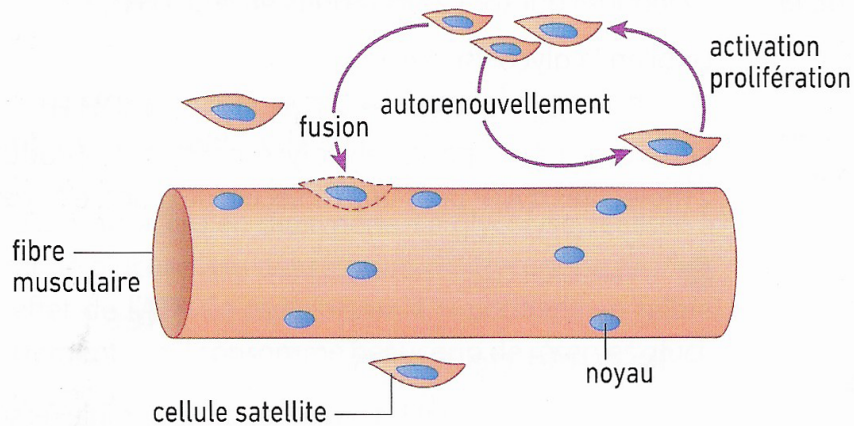
Chez l'homme, la testostérone, produite essentiellement par les testicules, se lie à des récepteurs spécifiques grâce à la complémentarité de leurs structures tridimensionnelles. Ce genre de récepteur est notamment présent dans les cellules musculaires. Le stanozolol est utilisé dans le cadre de la médecine vétérinaire, notamment pour stimuler le développement musculaire chez l'animal affaibli.

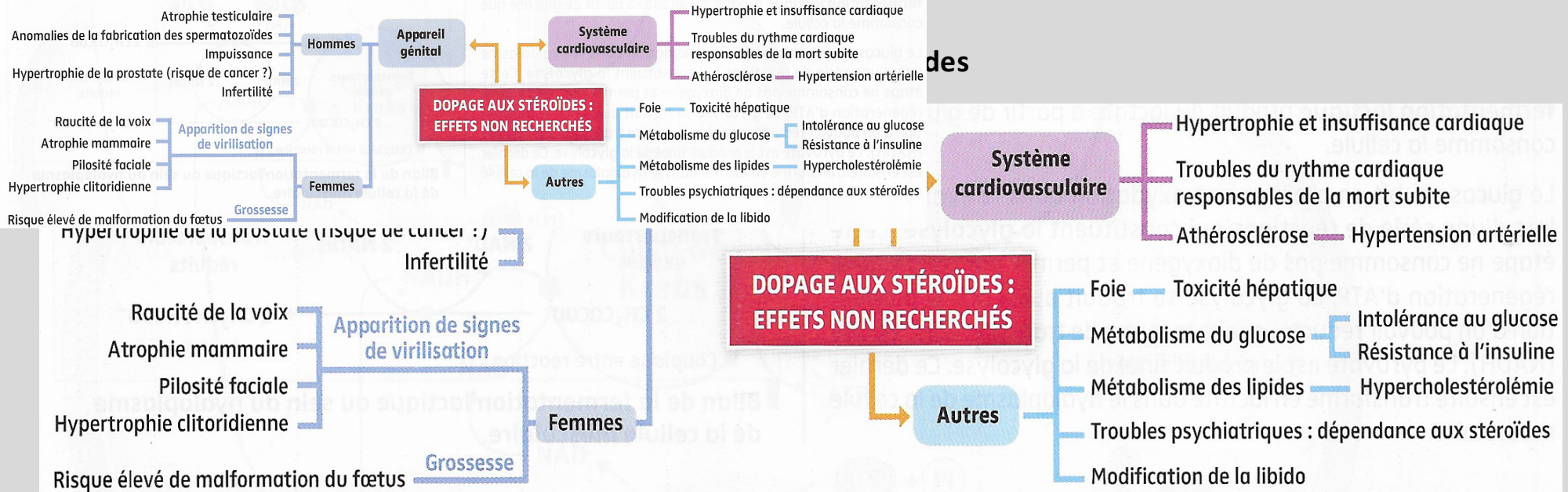
Doc 4 : Le mode d'action des stéroïdes anabolisants

Pour comprendre comment les stéroïdes anabolisants augmentent la masse musculaire, plusieurs tests contrôlés en milieu médical ont été réalisés. Des hommes non entraînés ont reçu des doses croissantes de 25 à 600 mg/semaine d'éнанthate de testostérone pendant 20 semaines.

Les graphiques (A) et (B) montrent les effets de ce traitement sur le calibre des fibres musculaires, le nombre de noyaux dans les fibres musculaires et le nombre de cellules satellites.

Les cellules satellites sont des cellules souches présentes autour des fibres musculaires. Lorsqu'elles sont activées, elles peuvent proliférer, se différencier et fusionner avec les cellules musculaires. L'ajout de nouveaux noyaux aux fibres musculaires augmentera en fin de compte la capacité des fibres musculaires à exprimer et à synthétiser leurs protéines musculaires et provoquera leur hypertrophie.



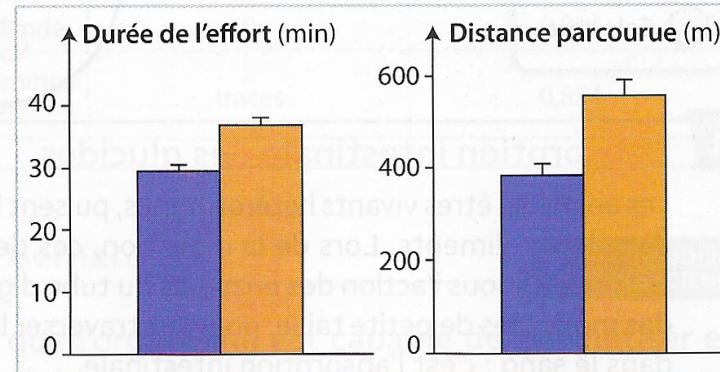


Doc 6 : L'AICAR

Depuis les Jeux Olympiques de Pékin en 2008, un nouveau produit est recherché lors des dépistages anti-dopages : l'acadésine ou AICAR. Les médecins ont repéré les sportifs dopés parce qu'ils présentaient un amaigrissement anormalement rapide. La prise de cette molécule dopante n'est pas sans risque sur l'organisme : l'acadésine est responsable de graves problèmes hépatiques et de tumeurs cérébrales ou cardiaques.

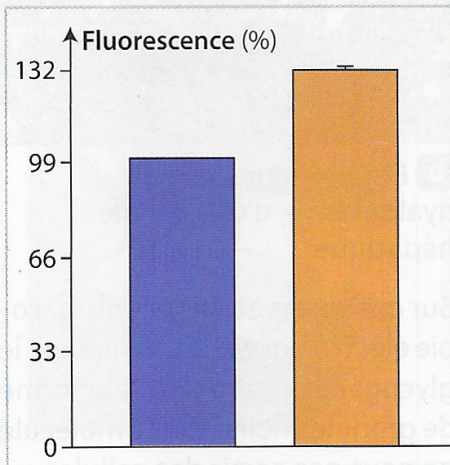
Afin de comprendre l'influence de l'acadésine, des expériences sont réalisées : on administre pendant 14 jours cette molécule à des rats mâles et on note les conséquences observées sur leurs performances. Un groupe de rats sans traitement sert de témoin.

■ Témoin sans AICAR ■ Témoin avec AICAR



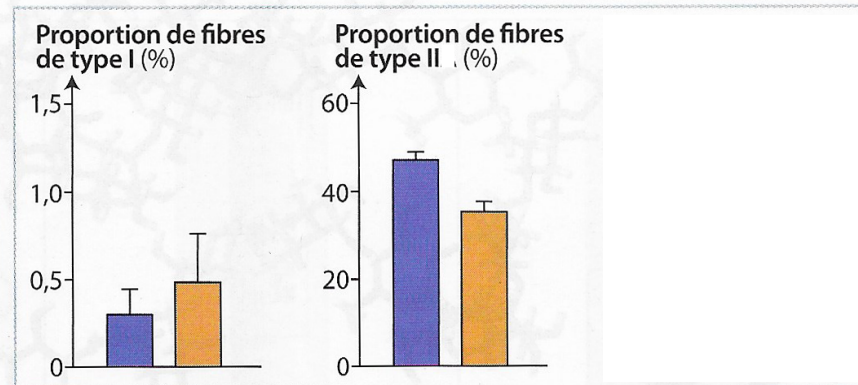
a Conséquences sur la performance

Source : Vihang A Narkar et al., Cell (2008)



b Conséquence sur le nombre de mitochondries. Les mitochondries sont repérées par un traceur fluorescent.

Source : Chunying Li et al., Nitric Oxide (2016)



c Conséquences sur les fibres musculaires

Source : C. Cervero et al., Neurotherapeutics (2016)