



ENFANT, ADOLESCENT ET ASPECTS BIOLOGIQUES DE LEUR PRATIQUE DES APS

**Mme Ben Ezzeddine Lamia /Cazorla Georges
Maitre Conférences (HDR)**

SOMMAIRE

1 - Identification des facteurs étudiés :

Caractéristiques de la performance motrice (produit et processus).

Schéma synoptique des facteurs physiologiques de la motricité (processus).

Croissance maturation et développement des différents tissus. Conséquences sur la pratique des APS.

2 - Différences enfant - adolescent - adulte :

Evolution des performances motrices en fonction de l'âge (produit).

Souplesse,

Force,

Puissance,

Endurance musculaire

Capacités anaérobies : alactique et lactique

Capacité aérobie : VO_2 max, vitesse aérobie max, endurance, économie de locomotion.

3 - Effets de l'éducation physique et de l'entraînement.

***1- CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT
DES DIFFERENTS TISSUS***

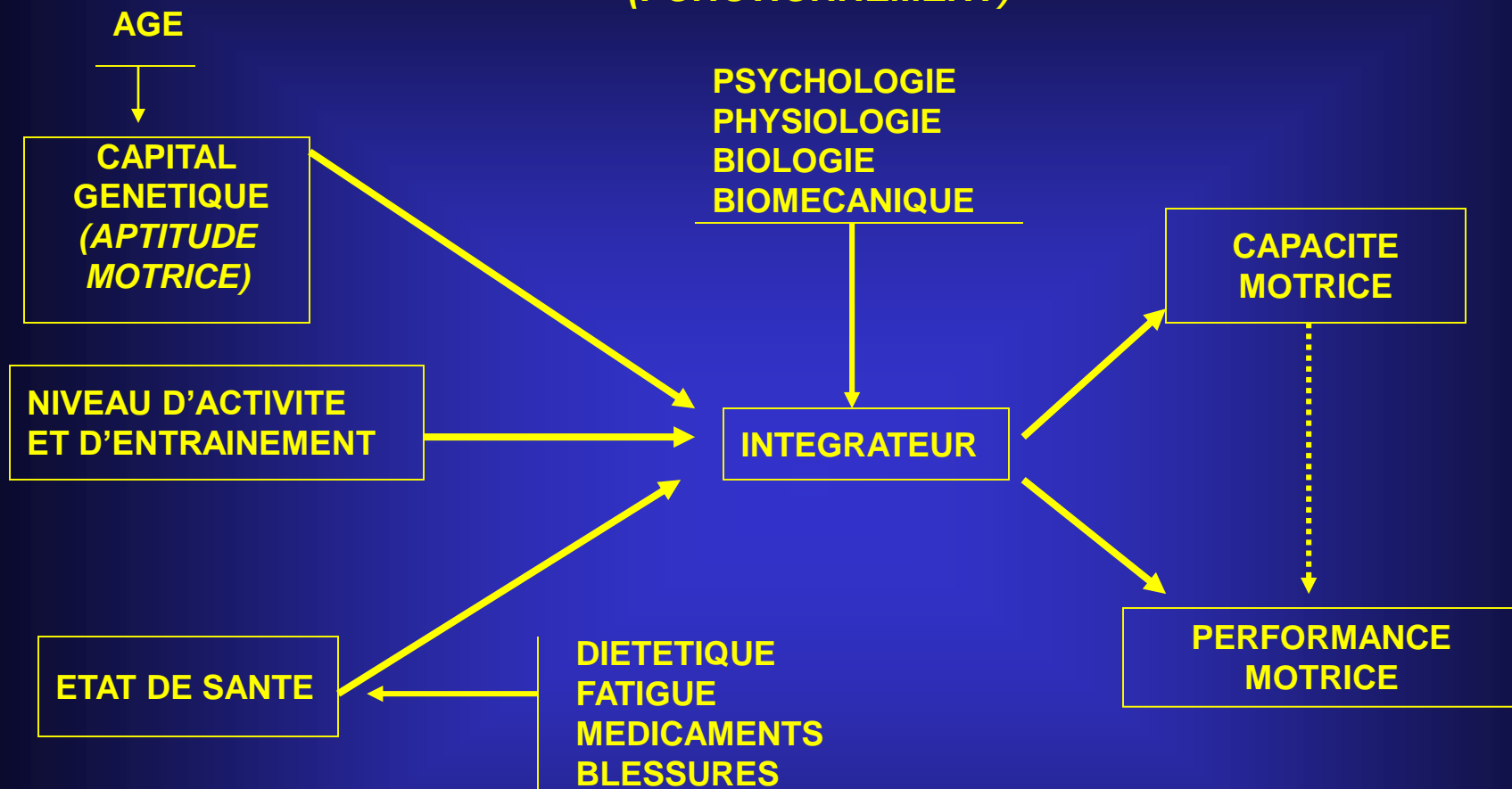
L'étude des facteurs physiologiques de la motricité de l'enfant et de l'adolescent au cours de l'exercice se heurte à des difficultés de trois ordres :

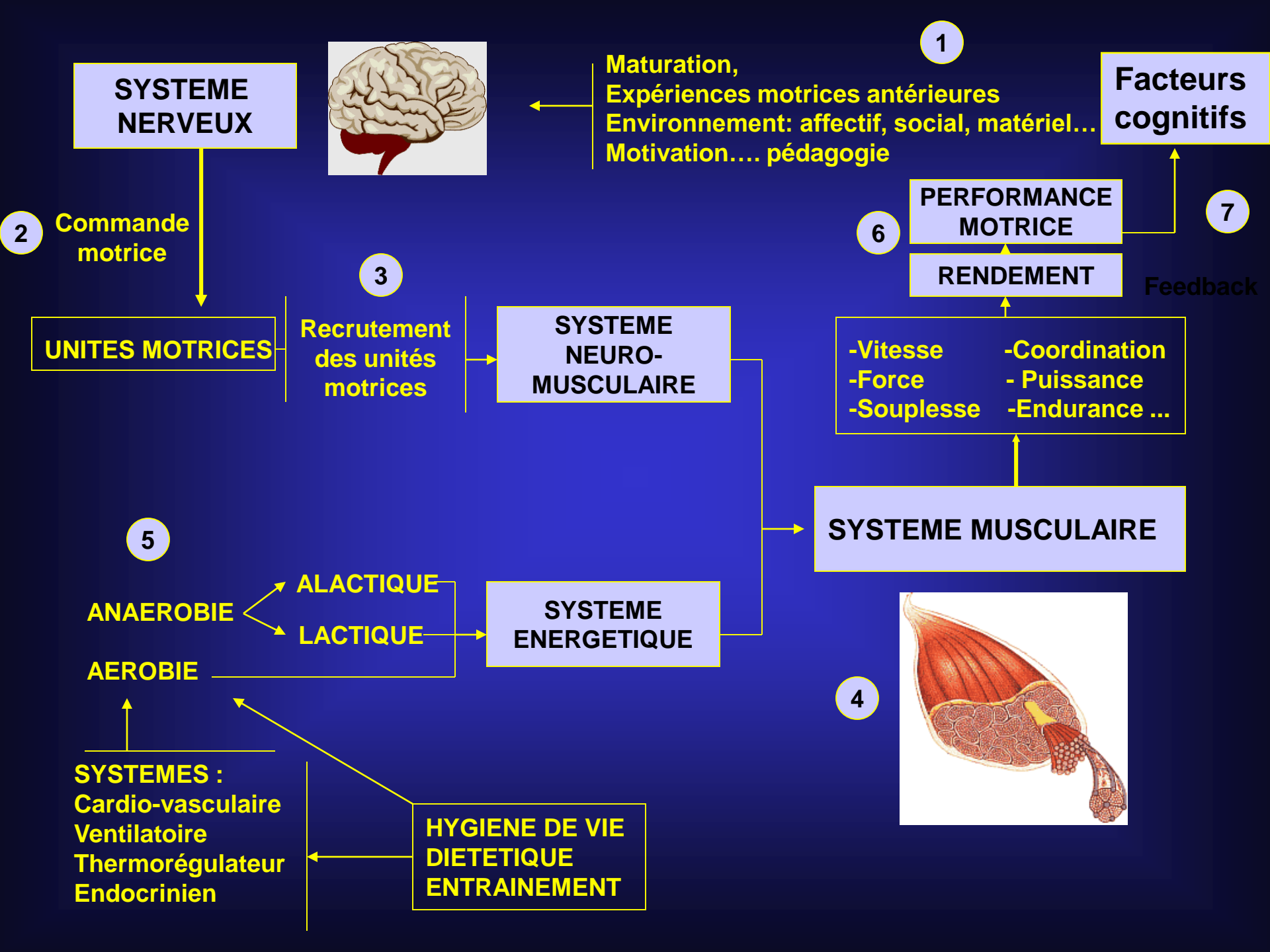
- ➔ **Ethique** : Très peu de données recueillies expérimentalement chez les enfants surtout âgés de moins de 11 ans.
- ➔ **Méthodologique** :
 - 1- Difficile de distinguer ce qui revient, d'une part à la croissance, au niveau habituel d'activité individuelle et d'autre part, à l'entraînement contrôlé.
 - 2 - Les études longitudinales sont très rares et ne sont qu'exceptionnellement comparatives à un groupe témoin.
- ➔ **Subjective** : L'enfant plus que l'adulte éprouve des difficultés à bien respecter les consignes et répugne à l'effort maximal voire supramaximal qui conduit à l'épuisement.

INTERACTIONS

PROCESSUS (FONCTIONNEMENT)

PRODUIT





CROISSANCE

Mesures biométriques
standardisées

EVALUATION NORMATIVE

+

MATURATION

Appréciation des stades atteints
dans les étapes critiques du
développement ontogénétique

OBSERVATIONS LONGITUDINALES

**DEVELOPPEMENT
MOTEUR**

Peut être caractérisé par les capa-
cités motrices évaluées par des
tests ou des batteries de tests stan-
dardisés

**EVALUATION NORMATIVE OU
NORMATIVO-CRITERIEE**

+

**APPRENTISSAGES
MOTEURS**

Caractérisés par les capacités
cognitives qui ne peuvent être
évaluées qu'au cours des diffé-
rents apprentissages. Les tests
utilisés dépendent des contenus
de ces apprentissages

EVALUATION FORMATIVE

COMPORTEMENT MOTEUR

COMPORTEMENT MOTEUR

Dépend du nombre et de la qualité des apprentissages moteurs antérieurs, des capacités motrices et des capacités cognitives.

ECHELLES D'APPRECIATION ET TAXINOMIES PREALABLEMENT DETERMINEES.

OBSERVATION ORGANISEE



ENVIRONNEMENT

Caractérisé par des variables inconnues et constamment en évolution aléatoire (ex: match ou situations pédagogiques contrôlées).

GRILLES D'OBSERVATION



CAPACITE D'ADAPTATION

Dépend de la "plasticité" des comportements moteurs et des situations de l'environnement

Évaluée par la modification de variables de l'environnement (situations pédagogiques nouvelles) et par l'observation et l'analyse de la ou des réponse(s) fournie(s).

CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DES DIFFERENTS TISSUS

Croissance et maturation

La croissance comme les performances motrices devraient être ramenées à l'âge biologique et non aux catégories ...benjamins, minimes, cadets...

En utilisant les techniques d'analyse des radiographies du poignet et de la main, pour un même âge calendaire nous avons trouvé jusqu'à quatre ans de différence d'âge biologique !

La maturation des filles est en avance de 2 à 2.5 ans sur celle des garçons

Tableau 1 : Echelles de Tanner à partir du développement de la pilosité pubienne (PP) et des organes génitaux (G) du garçon au cours de la puberté et de la croissance [3]. Les âges osseux présentés [4] résultent de moyennes, il peut cependant exister d'importantes variations, c'est pourquoi les âges donnés entre les parenthèses, sont les dates limites observées par Tanner.

Garçon					
Stade	Pilosité pubienne (PP)	Âge osseux moyen (an) (mini-maxi)	Stades	Organes génitaux (G)	Âge osseux moyen (an) (mini-maxi)
I PP1	Absence de pilosité pubienne, léger duvet semblable à celui du reste de l'abdomen		I G1	Testicules, scrotum et pénis de taille pré pubère : < 2,5 cm	< 10 ans
II PP2	Quelques poils légèrement pigmentés, droits, allongés, en général à la base du pénis, quelque fois sur le scrotum.	13,4 (11,3 - 15,6)	II G2	Croissance du scrotum et des testicules : >2,5cm. Peau scrotale plus rouge, plus mince et plus rugueuse. Pas d'augmentation du pénis.	11,8 (11,3 - 15,6)
III PP3	Poils pubiens bien visibles, pigmentés, bouclés, limités à une petite zone autour de la base du pénis et étalés latéralement.	14 (11,8 - 16)	III G3	Epaississement et croissance en longueur du pénis : 3 à 3,5 cm, allongement du scrotum et augmentation du volume des testicules.	12,8 (11,8 - 16)
IV PP4	Pilosité de type adulte, mais peu fournie, ne s'étendant pas au-delà des plis inguinaux.	14,5 (12,2 - 16,5)	IV G4	Le pénis continue de grandir, le contour du gland devient visible. Pigmentation plus marquée du scrotum. Testicules : 3,5 à 4 cm.	14,5 (12,2 - 16,5)
V PP5	Pilosité adulte s'étendant sur la surface interne des cuisses et progressivement sur la ligne médiane de l'abdomen, (sommet en losange).	15,2 (13 - 17,3)	V G5	Organes génitaux adulte. Testicules > 4 cm.	15,5 (13 - 17,3)

	Stade A1	Stade A2	Stade A3	Stade A4
Pilosité axillaire	Pas de poil IMPUBERE	Duvet sous l'aisselle DEBUT DE LA PUBERTE	Début des poils PUBERTE EN COURS	Poils abondants PUBERE
Pilosité du visage et mue de la voie	Duvet et voix douce IMPUBERE	Duvet et voix qui mue PREPUBERE	Moustache et voix ± grave PARAPUBERE	Voix grave PUBERE

Stades pubertaires chez les garçons

	Stade A1	Stade A2	Stade A3	Stade A4
Pilosité axillaire	Pas de poil IMPUBERE	Duvet sous l'aisselle DEBUT DE LA PUBERTE	Début des poils PUBERTE EN COURS	Poils abondants PUBERE
Développement des seins	Stade 0 de Sempé IMPUBERE	Duvet et voix qui mue Stades 1 et 2 de Sempé	Stade 3 de Sempé	Stade 4 de Sempé PUBERE

Stades pubertaires chez les filles

Radiographies de la main de deux enfants âgés de 11 ans et 9 mois

Âge osseux :
9 ans 10 mois



Âge osseux :
13 ans 6 mois



TISSU NERVEUX

1 - Le tissu nerveux se développe dans deux domaines :

. la prolifération dendritique et la myélinisation d'une part,

La totalité de la prolifération dendritique est réalisée au cours du développement embryologique, tandis que la myélinisation des fibres nerveuses est plus progressive.

La myélinisation du cortex se fait plus rapidement pendant l'enfance et se poursuit jusqu'au cours de la période pré-pubertaire.

. et d'autre part, la multiplication des liaisons synaptiques qui confère une très importante « plasticité » au système neuro-moteur dès lors qu'il est fortement sollicité par son environnement.

2 - L'enfant est donc très tôt équipé pour développer sa neuro-motricité fine (augmentation des liaisons synaptiques : à partir de 1 - 2 ans)

mais la motricité exigeant les mouvements les plus rapides, les plus précis et les plus spécialisés ne peut atteindre sa pleine efficacité que lorsque la maturation synaptique, la myélinisation des fibres nerveuses, les liaisons et les coordinations neuro-musculaires auront atteint leur plein état de maturité c'est à dire vers 6 – 7 ans..

Cet état constitue l'âge privilégié des apprentissages multiples et très variés.

Il serait donc dommageable d'enfermer cette grande plasticité neuromotrice dans les schèmes moteurs souvent trop rigides de la spécialisation précoce.

- **2 - L'enfant est donc très tôt équipé pour développer sa neuro-motricité fine (augmentation de la prolifération synaptique) mais la motricité exigeant les mouvements les plus rapides, les plus précis et les plus spécialisés ne peut atteindre sa pleine efficacité que lorsque la myélinisation des fibres nerveuses est achevée.**

TISSU OSSEUX

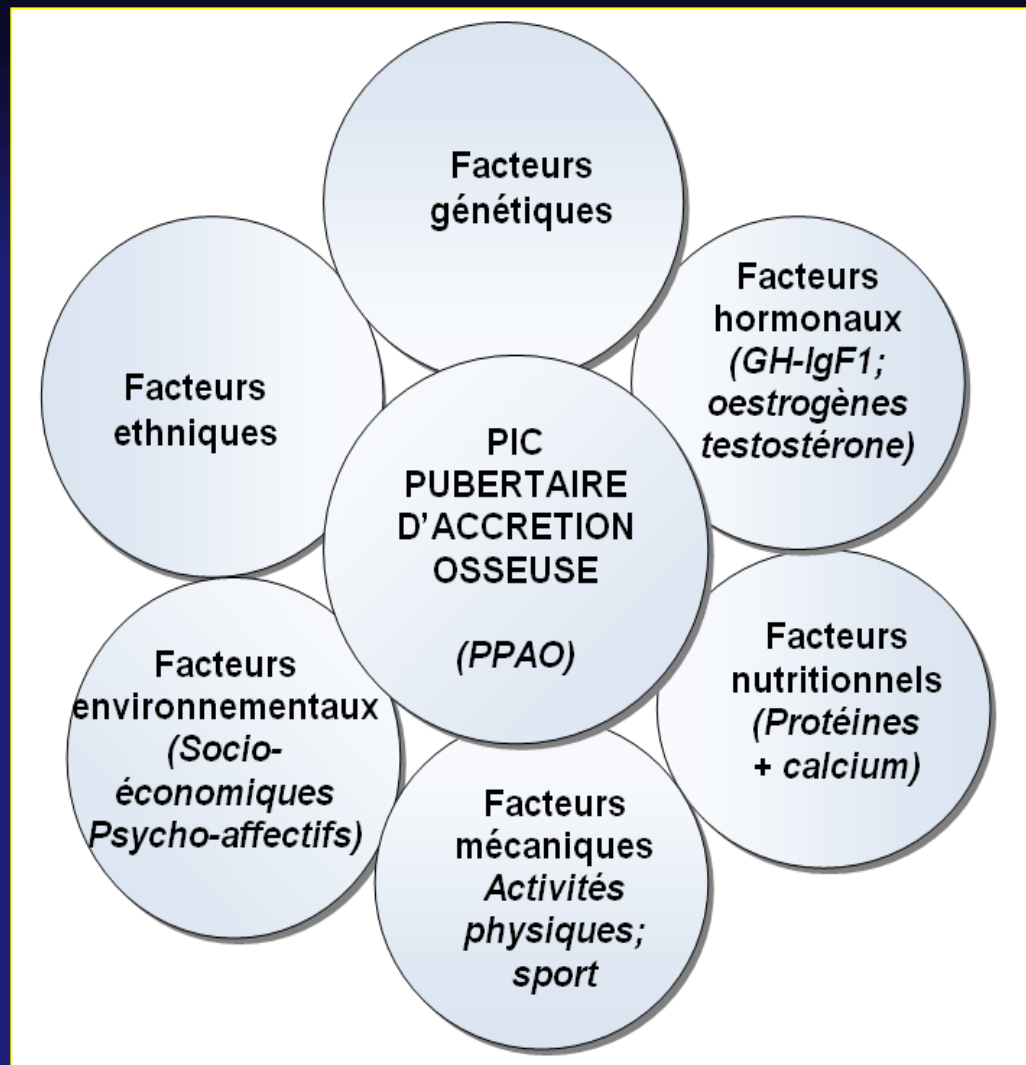


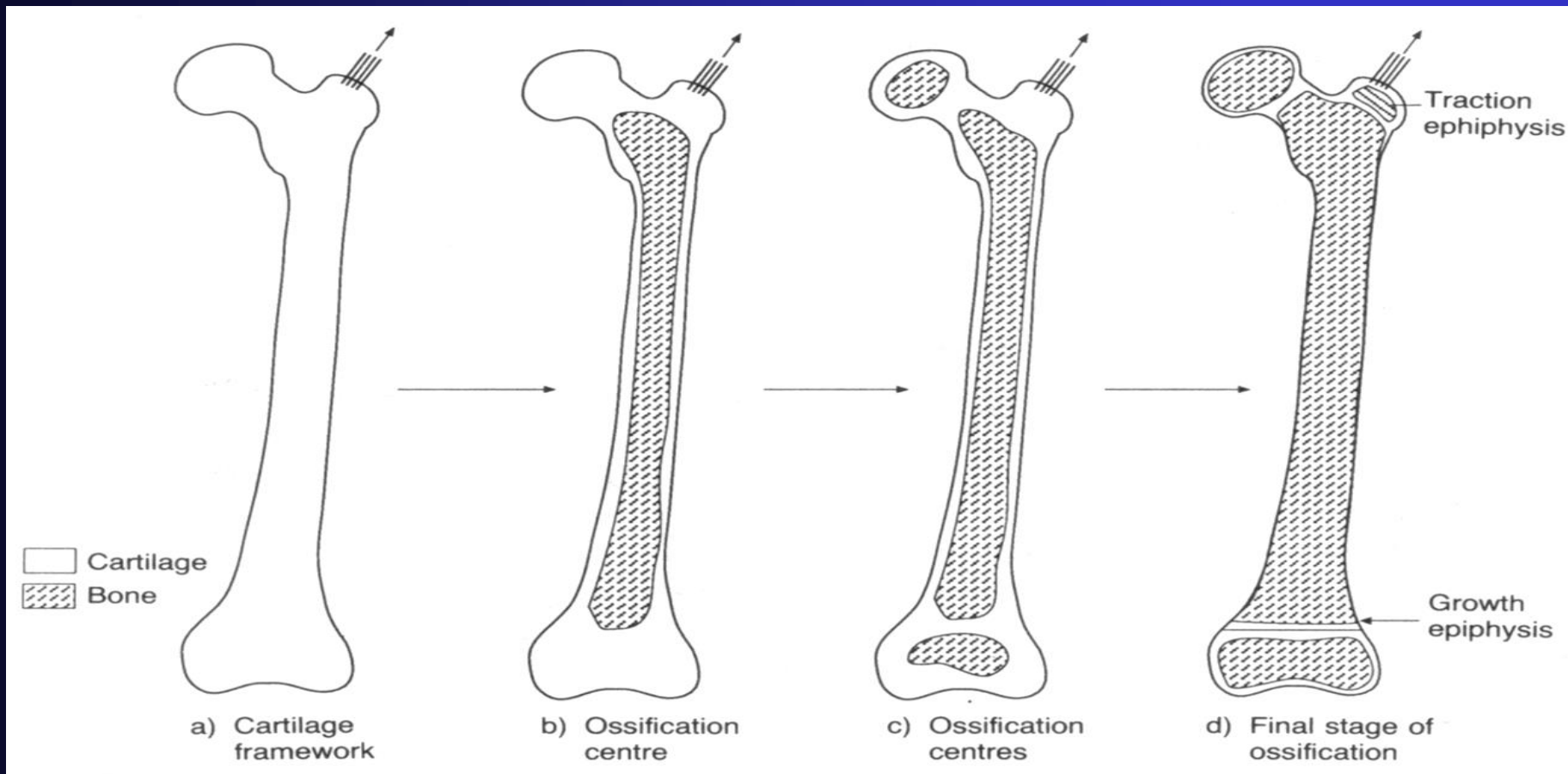
Figure 4 : Interactions des différents facteurs susceptibles d'expliquer la plus ou moins grande accréation osseuse au cours de la puberté. Le manque d'activité physique et une nutrition mal équilibrée au cours de cette période de la vie sont souvent à l'origine des problèmes de fragilisation osseuse rencontrés aussi bien au cours de l'adolescence que plus tard par l'adulte vieillissant, notamment par la femme ménopausée chez laquelle l'ostéoporose pose un problème de santé publique.

TISSU OSSEUX

- 1- La croissance en taille est très rapide pendant les 2 premières années.
A deux ans l'enfant atteint environ 50 % de sa taille définitive. Ensuite, la vitesse de croissance se ralentit pour s'accélérer à nouveau en période pubertaire.**
- 2 - Le pic de vitesse de croissance en taille se situe aux environs de 12 ans chez les filles et de 14 ans chez les garçons. La taille maximale est en général atteinte vers 16.5 ans chez les filles et 18 ans chez les garçons.**
- 3 - L'exercice associé à une alimentation équilibrée sont indispensables à la croissance des os. L'exercice augmente essentiellement l'épaisseur, la densité et la résistance des os, mais n'a aucun effet sur leur croissance en longueur.**

1- LES DANGERS

Éviter d'exercer de trop fortes tractions et pressions sur un os en pleine évolution au cours de la croissance.



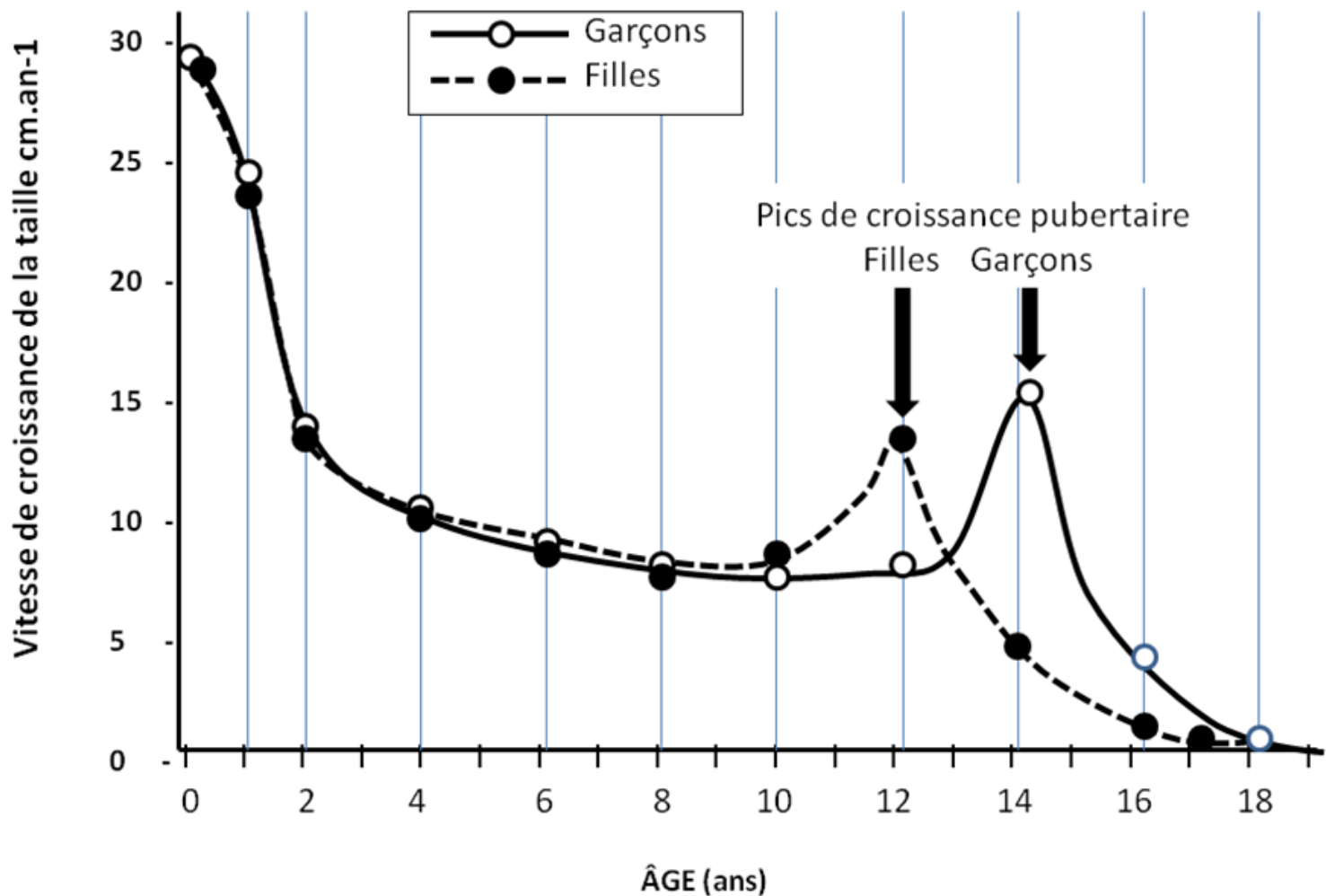
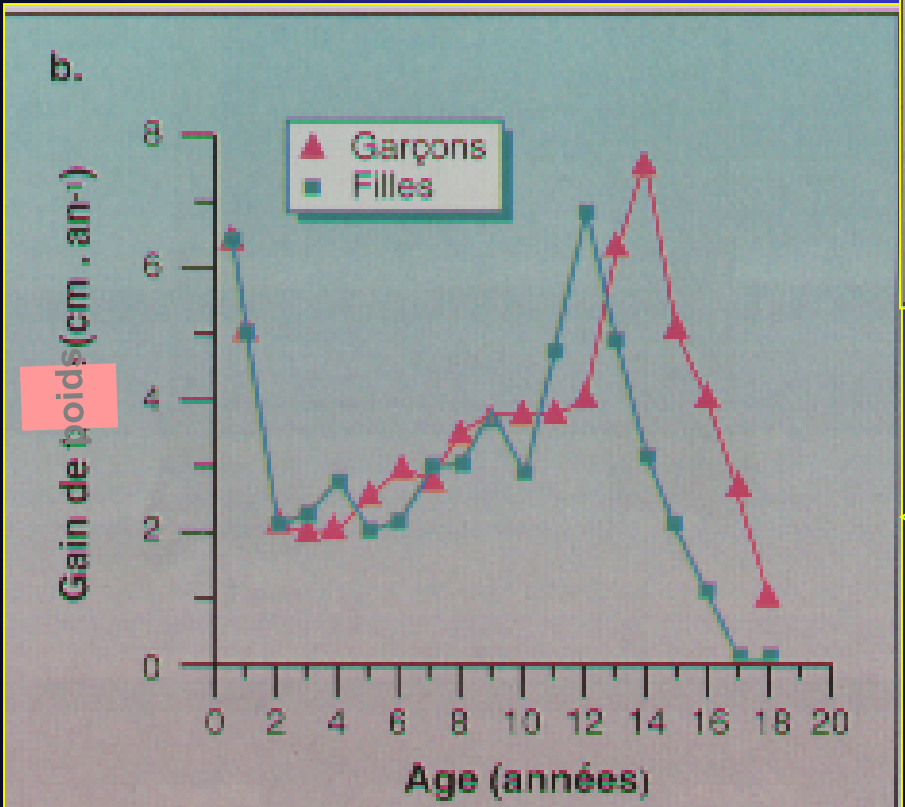
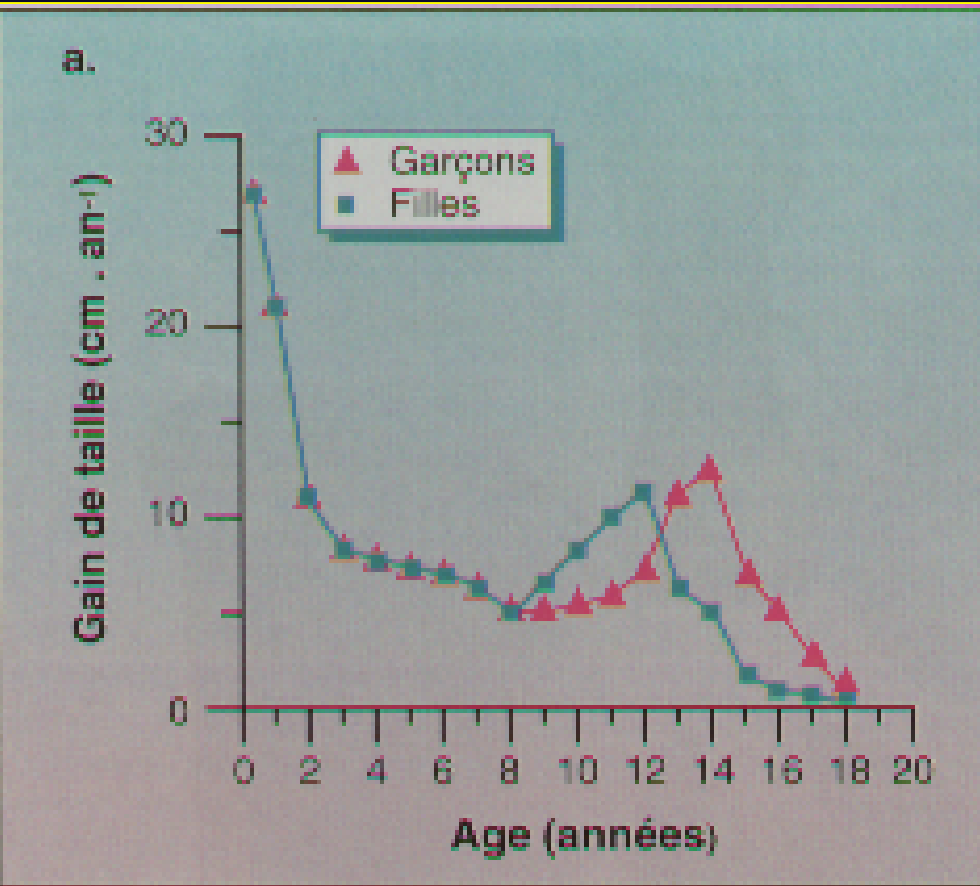


Figure 5 : La vitesse de croissance de la taille (cm.an⁻¹) au cours de l'enfance, de la puberté et de l'adolescence des garçons et des filles. La puberté se caractérise par une poussée de croissance en moyenne environ deux ans plus tôt chez la fille pour atteindre un pic deux ans après le début de la poussée de croissance pubertaire aussi bien chez la fille que chez le garçon. Chez ce dernier le pic est en général plus important que celui de la fille. Ensuite la vitesse de croissance diminue pour devenir nulle vers 17 ans chez les filles et vers 18-20 ans chez le garçon.

CROISSANCE EN TAILLE (cm) →



← CROISSANCE EN POIDS (kg)

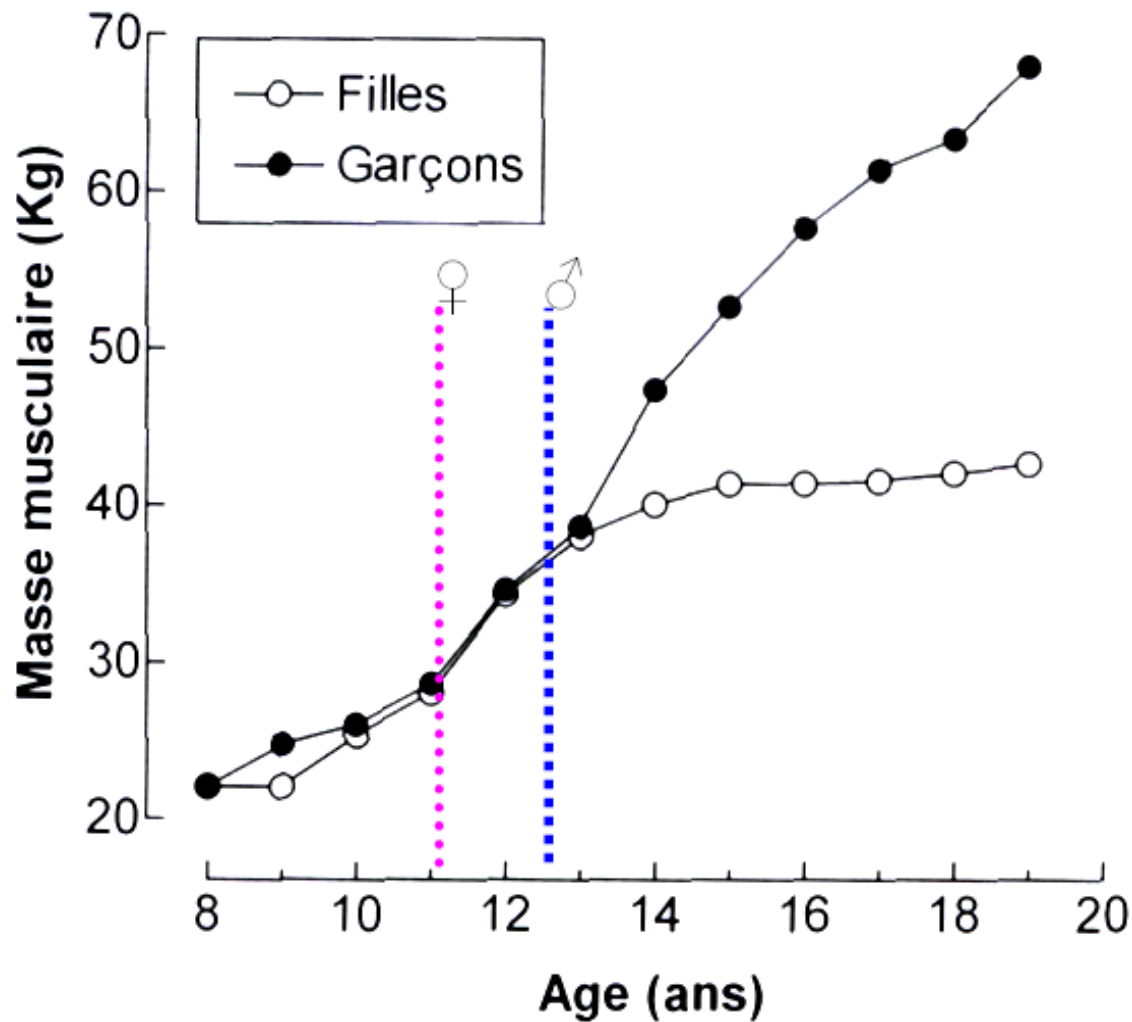
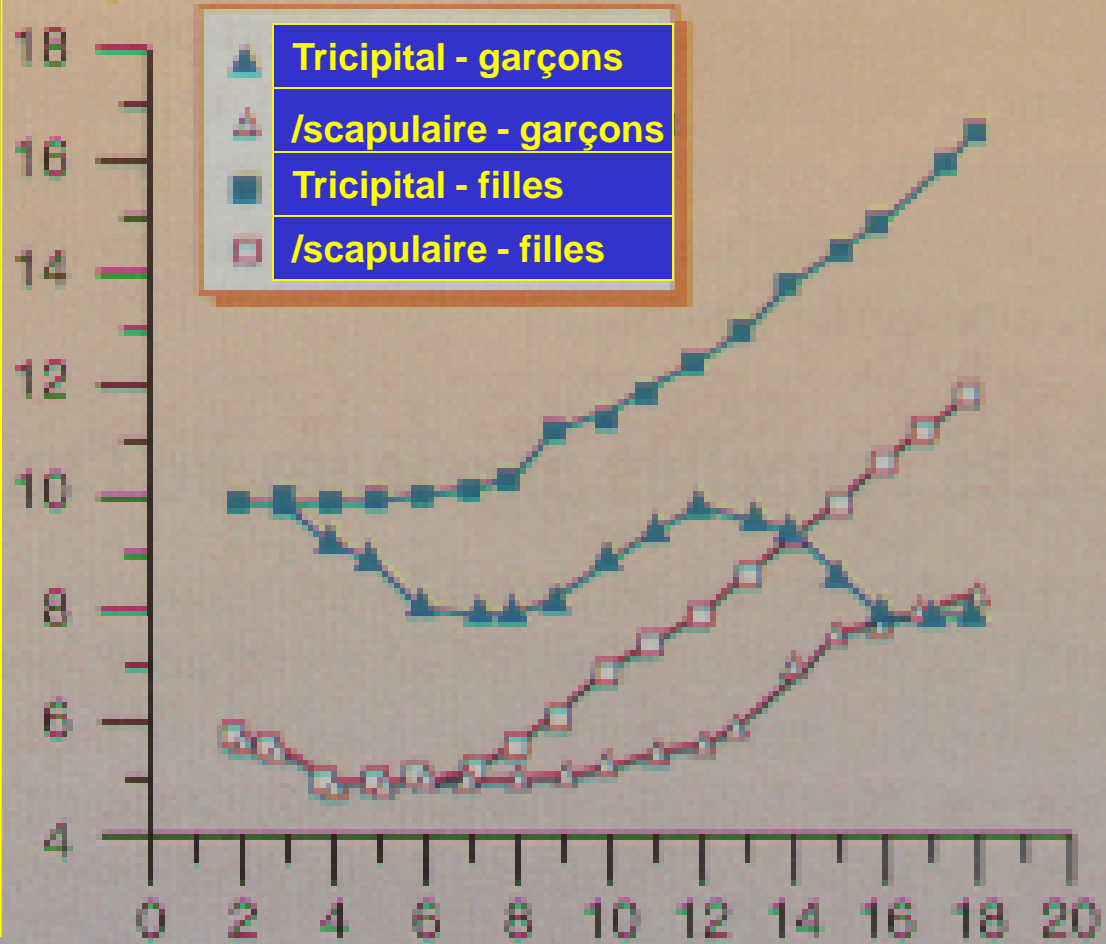


Figure 7 : Evolution de la masse musculaire au cours de la croissance des filles et des garçons. Les barres verticales indiquent le début de la puberté respectivement chez la fille (♀) et le garçon (♂). D'après Forbes (1972) modifié.

TISSU ADIPEUX

Epaisseur des plis cutanés (mm)



Agés (années)

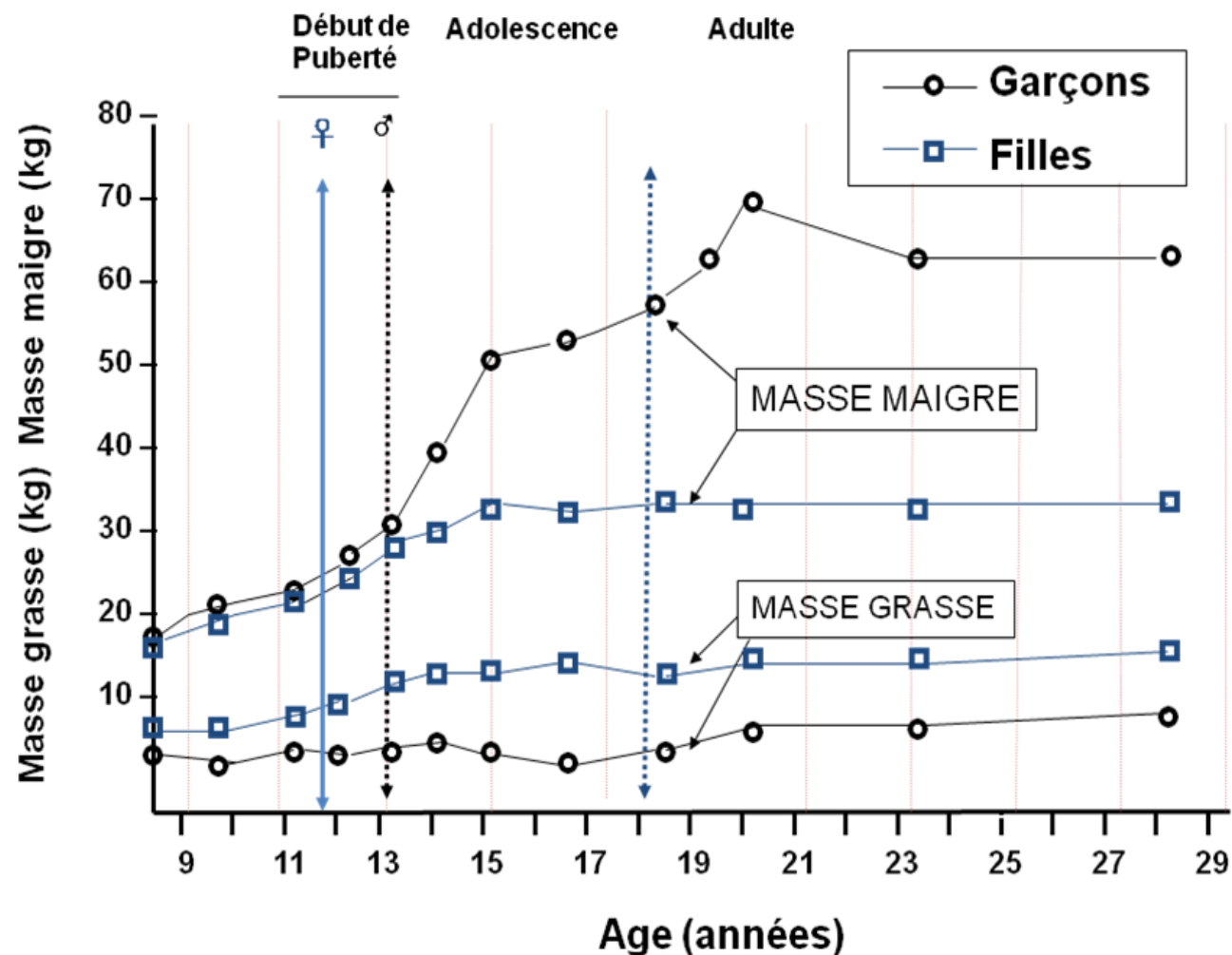


Figure 8 : Variations de la masse maigre (MM) et de la masse grasse (MG) chez la fille et le garçon entre 8 et 28 ans (D'après Malina et Bouchard ; 1991 [27]). Il est surtout à remarquer que la MM continue d'augmenter chez le garçon alors que sa masse MG diminue sensiblement au cours de l'adolescence et se maintient ensuite, ce qui change le rapport le rapport MM/MG et donc le % que représente la MG alors que son poids demeure stable. Au contraire chez la fille la MG augmente significativement au cours de la puberté et de l'adolescence alors que sa MM n'augmente linéairement que jusque vers 15 ans et stagne ensuite ce qui entraîne une élévation de son % de MG par rapport à la masse corporelle totale.

TISSU MUSCULAIRE et FIBRES MUSCULAIRES

- 1 - Les travaux de Colling-Saltin (1978) et de Elder et Kakulas (1993) ont clairement montré que le développement embryologique des fibres musculaires repose sur une différenciation des fibres IIc (dites de transition, à métabolisme glycolytique et oxydatif) dès le troisième mois de la gestation. L'apparition des fibres de type IIb (essentiellement glycolytique) s'accroît au cours des mois de gestation. Chronologiquement, se forment ensuite les fibres de type IIa (glycolytiques et oxydatives), puis celles de type I (essentiellement oxydatives). L'essentiel de la distribution des fibres musculaires se termine entre 2 et 3 ans.**
- 2 - Selon le type d'entraînement, les pouvoirs biochimiques des fibres (surtout des fibres IIc et IIa) évoluent majoritairement dans le sens d'une augmentation de leur pouvoir oxydatif.**

TISSU MUSCULAIRE

- 1 - La masse musculaire représente 25 % du poids total à la naissance et près de 40 % à l'âge adulte. La majorité de ce gain survient à la puberté ([] testostérone x 10).**
- 2 - L'accroissement du tissu musculaire est le résultat d'une hypertrophie et pas ou peu d'une hyperplasie.**
- 3 - Au cours de la croissance, le nombre de myofibrilles, de myofilaments et de sarcomères augmentent . Ces développements peuvent être accélérés par la pratique régulières d'activités physiques.**
- 4 - L'allongement des muscles au cours de la croissance se fait par l'augmentation du nombre de sarcomères, favorisée par l'exercice en général et les étirements en particulier.**

2 - PERFORMANCES MOTRICES

DIFFERENCES ENFANTS,
ADOLESCENT, ADULTE

PERFORMANCES MOTRICES

Les capacités motrices se développent surtout pendant les 18 premières années de la vie, même si chez les filles elles tendent à se stabiliser aux environs de la puberté.

Cette évolution particulière chez les filles s'explique probablement par l'augmentation de la masse grasse sous l'influence des oestrogènes et par le mode de vie plus sédentaire.

La force, la puissance, et la vitesse augmentent proportionnellement à la masse musculaire.

Les gains de force, de puissance et de vitesse sont aussi sous le contrôle neuromusculaire, et donc dépendent du niveau de myélinisation qui n'est achevé qu'à la fin de la puberté

L 'amplitude articulaire
ou « souplesse »

AMPLITUDE ARTICULAIRE OU « SOUPLESSE »

Définition:

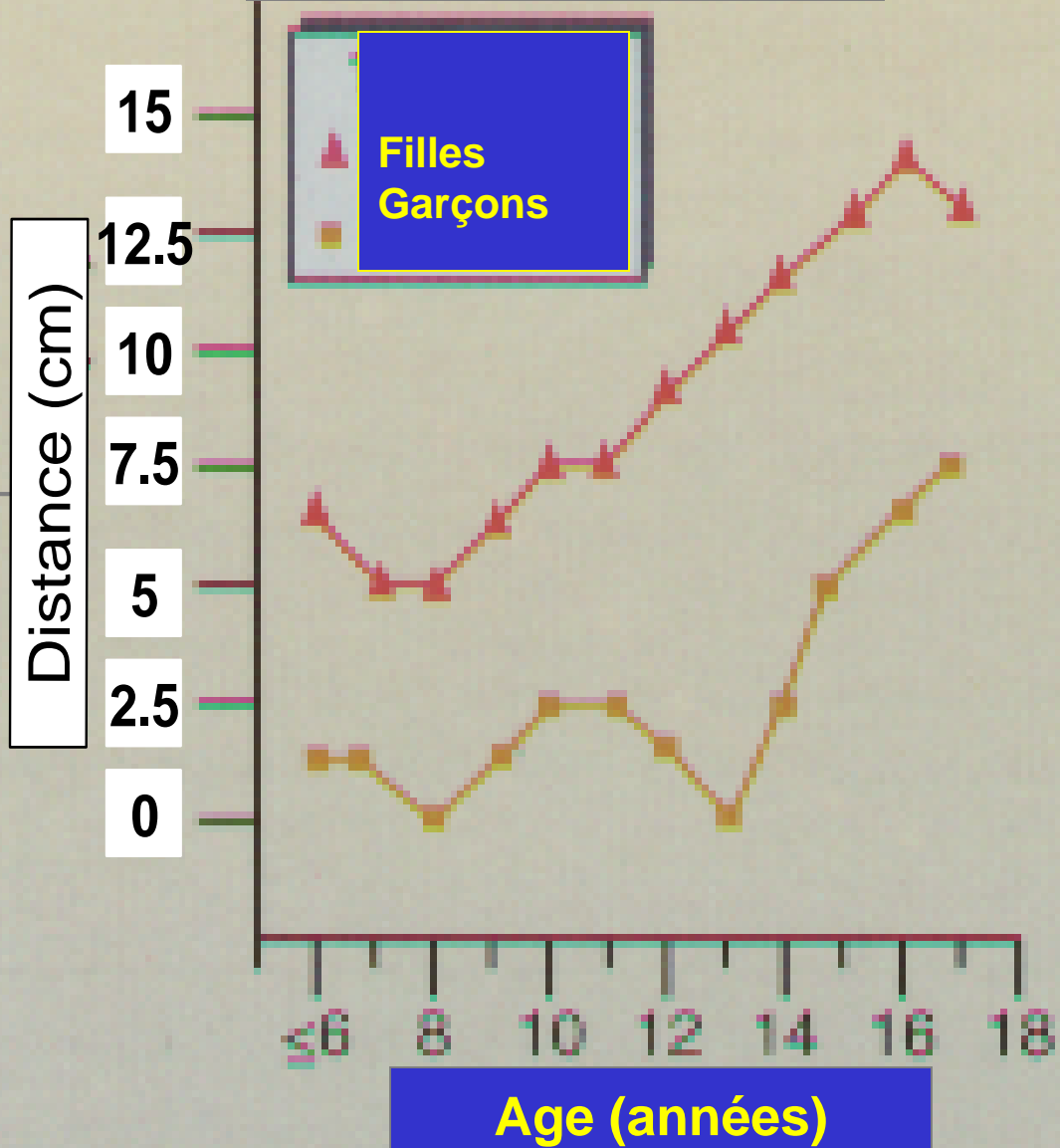
La souplesse peut être définie comme la capacité maximale d'amplitude de mouvement d'une ou de plusieurs articulation et d'une ou de plusieurs chaînes musculaires.

Limites :

La capacité d'amplitude de mouvement peut être limitée par des facteurs anatomo-physiologiques et par l'état psycho-physiologique.

- Parmi les facteurs anatomo-physiologiques on peut retenir :
 - les rapports segmentaires
 - la configuration des surfaces articulaires des segments osseux mobilisés,
 - la tonicité des muscles péri-articulaires,
 - l'élasticité des ligaments et des capsules articulaires,
 - la chaleur du muscle qui agit sur la visco-élasticité des constituants des muscles et des tendons
- L'état psychologique qui se caractérise par une tension ou un relâchement

SOUPLESSE AVANT



A quel âge développer la souplesse?

Puisque l'enfant possède dès le plus jeune âge un niveau élevé de souplesse (Dutil 1978), un entraînement «poussé» de l'amplitude de ses articulations ne semble pas nécessaire avant 9-10 ans sauf pour certains sports comme la gymnastique, la danse et toutes autres activités motrices de haute expression corporelle.

Par contre apprendre très tôt à l'enfant les techniques d'auto étirement

D'après certains auteurs (Sermejew et coll. 1964), la période optimale pour développer cette qualité et pour obtenir les gains les plus importants se situerait entre 11 et 14 ans. La souplesse doit être ensuite entretenue très régulièrement afin de conserver le niveau acquis.

La force musculaire

Définition

La force est la capacité d'un muscle ou d'un groupe musculaire à développer une tension.

Cette force peut s'exercer pour:

- Immobiliser une ou plusieurs articulations on la définit alors comme force isométrique.
- Mobiliser une ou plusieurs articulations il s'agit alors d'une force anisométrique concentrique lorsque les insertions musculaires se rapprochent ou anisométrique excentrique lorsque les insertions sont écartées.

Facteurs déterminants de la force musculaire

La force musculaire dépend de l'inter-action de trois facteurs:

- de la qualité de la commande nerveuse,**
- de la qualité des groupes musculaires sollicités,**
- et du couple muscles-articulation(s) mis en jeu.**

1- La qualité de la commande nerveuse permet de recruter un nombre plus ou moins important d'unités motrices au sein d'un même muscle.

Pour augmenter la force, le système nerveux central dispose de trois mécanismes :

- . un recrutement de plus en plus important d'unités motrices (sommation spatiale = 80% des possibilités maximales);**
- . une augmentation de la fréquence de décharges des unités déjà activées (sommation temporelle = 20% des possibilités maximales);**
- . Une meilleure synchronisation de contraction-relâchement entre muscles agonistes et antagonistes.**

2 - La qualité des muscles sollicités

Notamment:

- de la nature des fibres musculaires qui constituent les unités motrices. Lors de l'augmentation progressive de la tension, ce sont d'abord les unités motrices de type ST (basse fréquence des potentiels d'action) qui sont sollicitées pour exercer des tensions faibles, puis les Fta et enfin les FTb pour les tensions les plus élevées (Haute fréquence des P.A.);
- de la surface de section des fibres et de l'ensemble des muscles sollicités (nombre de myofibrilles et de myofilaments contractiles par mm^2 de section);
- de l'angle de pennation des fibres dans le muscle;
- de l'état de raccourcissement ou d'étirement (ou longueur L_0) du muscle

3 - Le couple muscle-articulation

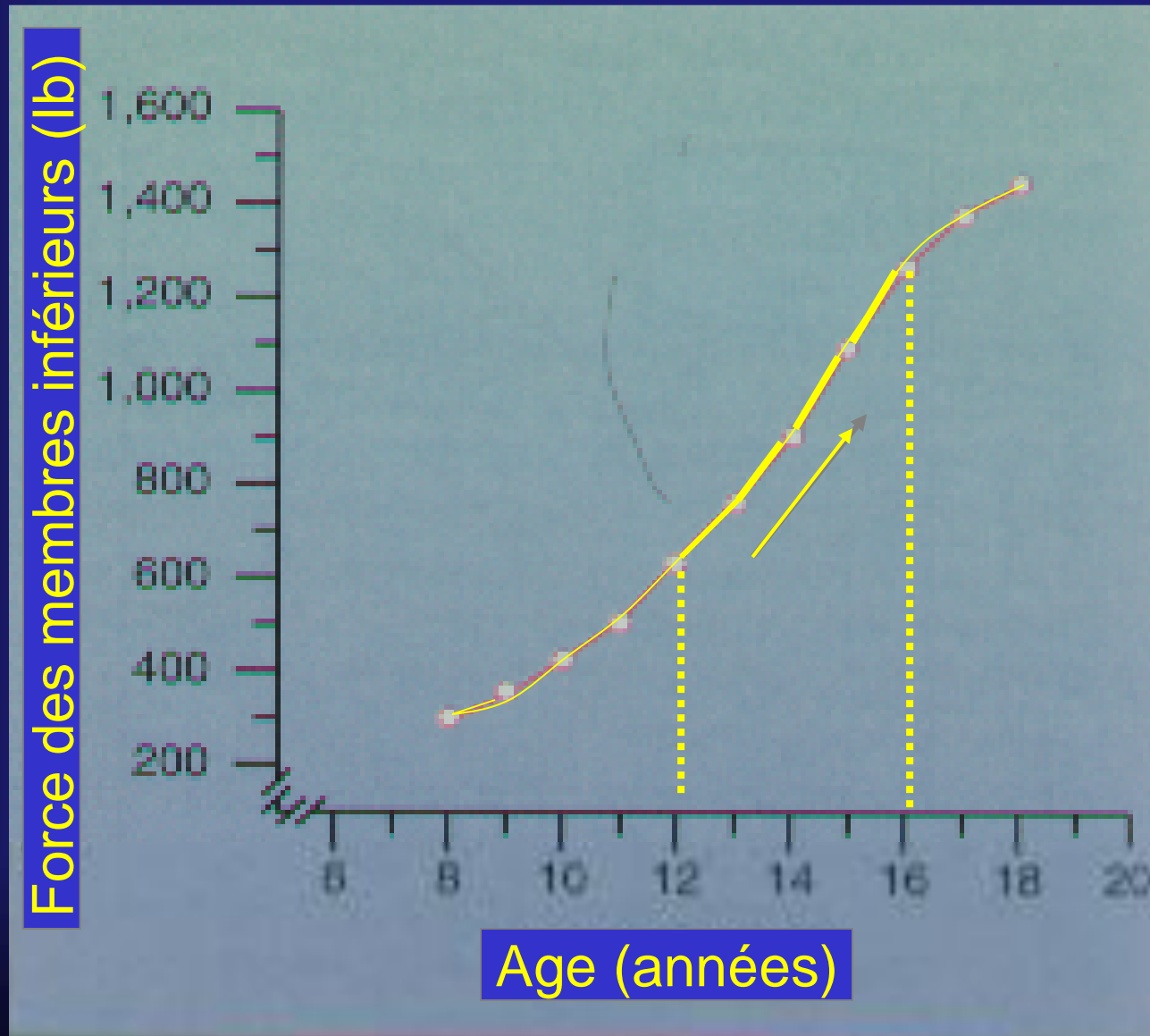
La force dépend aussi:

- de la distance où s'insèrent les muscles sollicités par rapport au centre de l'articulation;
- de l'angle articulaire formé par les segments osseux engagés dans le mouvement;
- des possibilités de transmission de la force aux différents leviers osseux;
- et de la direction de la force vers le milieu extérieur.

Développement de la force au cours de la croissance

- La force musculaire augmente progressivement au cours de la croissance en fonction de l'accroissement de la masse corporelle.
- Avant la puberté, la force maximale des garçons et des filles n'est pas très différente (Weltman, 1989, Sunnegardh et al.1994)
- En moyenne, les filles présentent l'accroissement en force la plus élevée pendant les années de croissance maximale: 11,5 à 12,5 ans
- Chez les garçons, l'augmentation est maximale un an après le pic de croissance :14,5 à 15,5 ans (Bar-Or 1989).
- La force maximale se stabilise vers 18 ans chez la fille et entre 20 et 30 ans chez le garçon.

Etude longitudinale de l'augmentation de la force chez des garçons entre 8 et 18 ans. On remarque une augmentation plus rapide entre 12 et 16 ans



Peut-on et doit-on entraîner
la force chez l'enfant ?

Il a été longtemps soutenu qu'il ne fallait pas soumettre l'enfant à des programmes de renforcement musculaire et de musculation.

Les arguments proposés sont de deux sortes:

- les premiers s'appuient sur le déficit en testostérone de l'enfant pré-pubère qui rendrait inefficace la musculation sur l'augmentation de la force (Vrijens 1978);**
- les seconds sur les risques de la musculation avec charges sur un squelette encore incomplètement ossifié et en pleine croissance (Fleck et Kraemer 1987) .**

Qu'en est-il aujourd'hui ?

Déficit en testostérone...

Les travaux de Vrijens 1978 (programme de 8 semaines), :

. Selon les résultats de ces travaux seuls les muscles du tronc bénéficieraient des effets de la musculation chez les enfants pré-pubères alors que les muscles des membres en bénéficieraient aussi chez les adolescents de 16-17 ans (effets de la testostérone...?);

. Critiques:

- La testostérone ne peut avoir des effets aussi sélectifs;**
- Les charges utilisées étaient trop faibles (20 à 30 % 1 RM);**
- La spécificité de la contraction n 'était pas prise en compte.**

Selon les résultats de travaux plus récents :

Servedio et al. 1985; Sewal et Micheli; 1985 Pfeiffer et Francis 1986; Hakkinen et al. 1989; Ramsey et al. 1990 (50 à 100 % de la charge permettant 10 répétitions), Duchateau 1998 (entraînement pliométrique) : ont montré, aussi bien chez les garçon que chez les filles des gains de force maximale isométrique, de force isocinétique à différentes vitesses, de puissance et d'endurance musculaires.

A la condition de respecter certaines précautions, l'enfant est donc totalement capable d'augmenter sa force musculaire dans les mêmes proportions que celles de l'adulte.

Règles à respecter pour tout programme
visant à développer
la puissance et la force
chez l'enfant et l'adolescent :

Règles à respecter pour éviter les risques:

- 1- examen médical préalable
- 2- respecter la motivation de l'enfant,
- 3- programme dirigé par des éducateurs compétents et spécialistes de l'enfant et l'adolescent (professeur EPS),
- 4- ce programme doit faire partie d'un entraînement général,
- 5- Chaque séance doit toujours être précédée d'un échauffement et suivie d'exercices d'étirement et de récupération,
- 6- doit inclure surtout des exercices à base de contractions concentriques (les contraction excentriques doivent être évitées surtout chez les plus jeunes),
- 7- doit concerner un maximum de groupes musculaires,
- 8- la compétition doit être formellement proscrite,
- 9- ne jamais utiliser des charges maximales chez l'enfant pré-pubère.

Règles à respecter pour éviter les risques:

Le matériel

- doit être adapté à la morphologie et aux capacités de l'enfant et de l'adolescent,
- doit présenter toutes les sécurités requises,
- doit être en parfait état de fonctionnement et vérifié souvent,
- doit être placé dans un endroit bien ventilé et non encombré,

Conseils d'entraînement

Il est souhaitable :

- 1- de commencer à utiliser le poids du corps ou des segments avant d'évoluer progressivement vers l'emploi de charges externes,**
- 2- plutôt que d'haltères, d'utiliser des appareils de musculation adaptés et assurant le bon placement de la colonne vertébrale**
- 3- d'utiliser des exercices avec une amplitude maximale au départ sans charge pour apprendre parfaitement la technique,**
- 4- d'utiliser des charges permettant 8 à 10 répétitions minimum (60-70% de la charge permettant une seule répétition au maximum: 1RM)**
- 5- de s'entraîner 1 à 2 fois par semaine à raison de 15 à 20 min,**
- 6- de ne jamais augmenter les charges tant que la technique n'est pas parfaitement maîtrisée,**
- 7- que chaque exercice ne comporte au maximum que 2 à 3 séries de 6 à 15 répétitions,**
- 8- lorsque l'enfant est capable de répéter l'exercice 15 fois on peut de n'augmenter la charge que très progressivement : 0.5 à 1 kg.**

La vitesse

Définition

La vitesse gestuelle est définie comme le nombre maximum de mouvements susceptibles d'être réalisés en un temps donné.

Dans certaines activités, comme la nage, le cyclisme et la course sur courtes distances, la vitesse gestuelle entraîne une vitesse de déplacement.

Elle est alors définie comme le temps minimum mis pour parcourir une distance donnée.

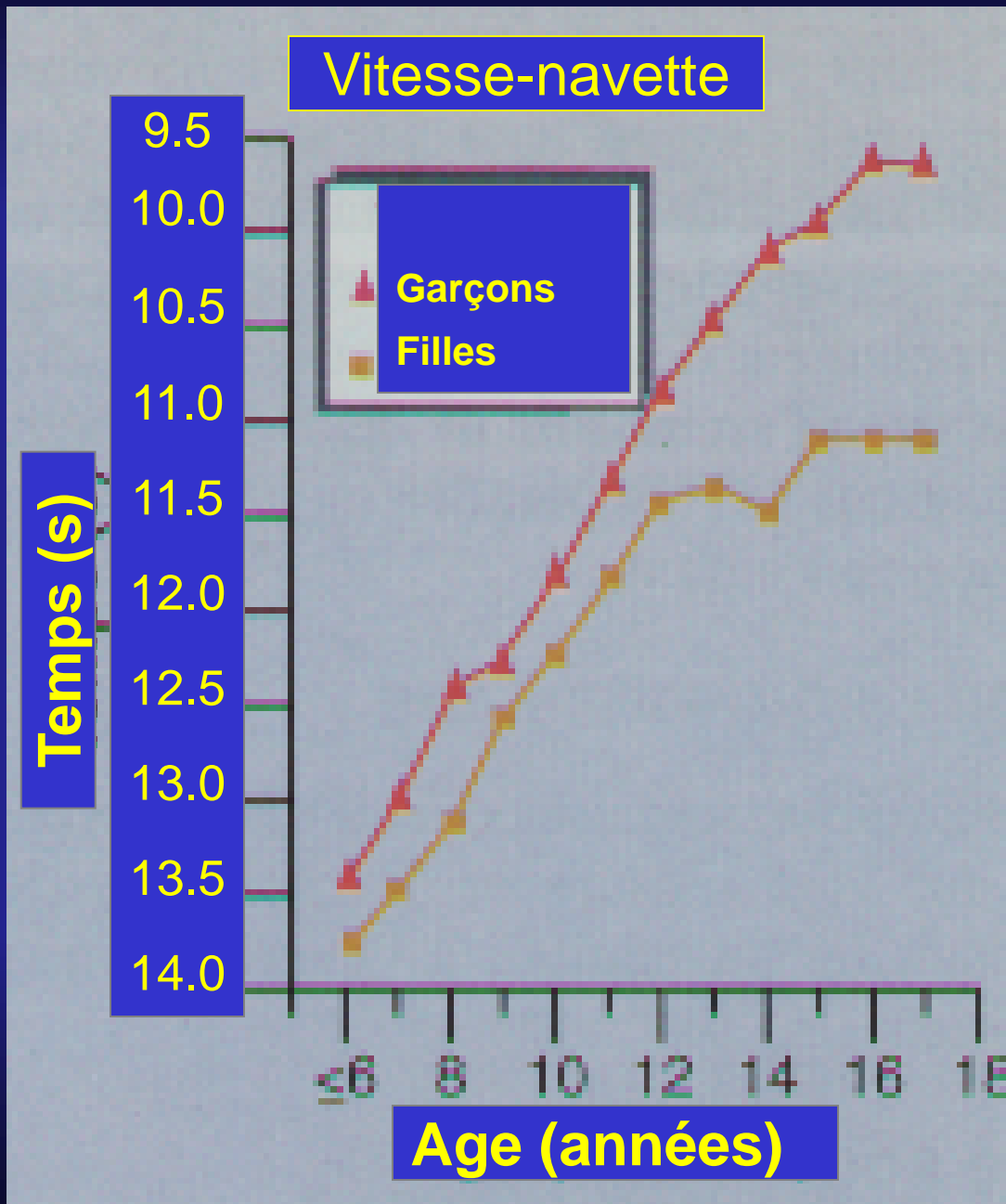
La vitesse gestuelle résulte de plusieurs facteurs anatomo-physiologiques dont elle dépend:

- **du temps de réaction (transmission neuro-musculaire),**
- des possibilités de contraction - relâchement (synchronisation) des groupes musculaires alternativement mis en jeu,
- donc de la nature de la commande et des coordinations neuro-motrices,
- **du nombre et de la qualité des unités motrices sollicitées au sein des groupes musculaires considérés,**
- **du pouvoir de dégradation de l'ATP (pouvoir ATPasique), des têtes des filaments de myosine permettant d'alimenter le couple contraction relâchement,**
- **des réserves en phosphagènes (ATP- CP) immédiatement disponibles,**
- des qualités d'élasticité des groupes musculaires mis en jeu,
- **et des rapports des segments anatomiques déplacés.**

On distingue quatre formes de vitesse:

- la vitesse de réaction qui est sous la dépendance essentielle du système nerveux central,
- la vitesse de démarrage qui dépend du temps de réaction et de la puissance musculaire,
- la vitesse-coordination qui dépend du système nerveux central, de la qualité de contraction des fibres musculaire, de la puissance musculaire et de la coordination neuro-motrice,
- et l'endurance de la vitesse qui dépend surtout des réserves en phosphagène et des possibilités de poursuite du travail musculaire en milieu acide ($\text{pH} < 7$).

VITESSE - COORDINATION



ENTRAINEMENT DE LA VITESSE AU COURS DE LA CROISSANCE

Bien que limitée par les facteurs héréditaires, la vitesse coordination et l'endurance vitesse vélocité peuvent être développées par une pratique d'exercices de vélocité réalisées avant et pendant la puberté (Ratchev et Stoev, 1979 : jeunes âgés de 11 à 14 ans)

Il est parfaitement justifié de commencer très tôt le travail de vitesse. A 6 ans la vitesse dépend étroitement de la coordination nerveuse et du développement des programmes moteurs adéquats. C'est dans le premier âge scolaire que se manifeste la plus forte croissance de la fréquence et de la vitesse de mouvement (Kohler et al. 1978, Stemmler 1977)

Le développement de la vitesse chez l'enfant pré-pubère ne devrait être envisagé qu'en utilisant des activités ludiques.

La puissance musculaire

Définition

La puissance est égale au produit de la force par la vitesse:

$$P \text{ (watts)} = F \text{ (newtons)} \times V \text{ (m/s)}$$

La puissance représente la force maximale susceptible d'être développée par unité de temps.

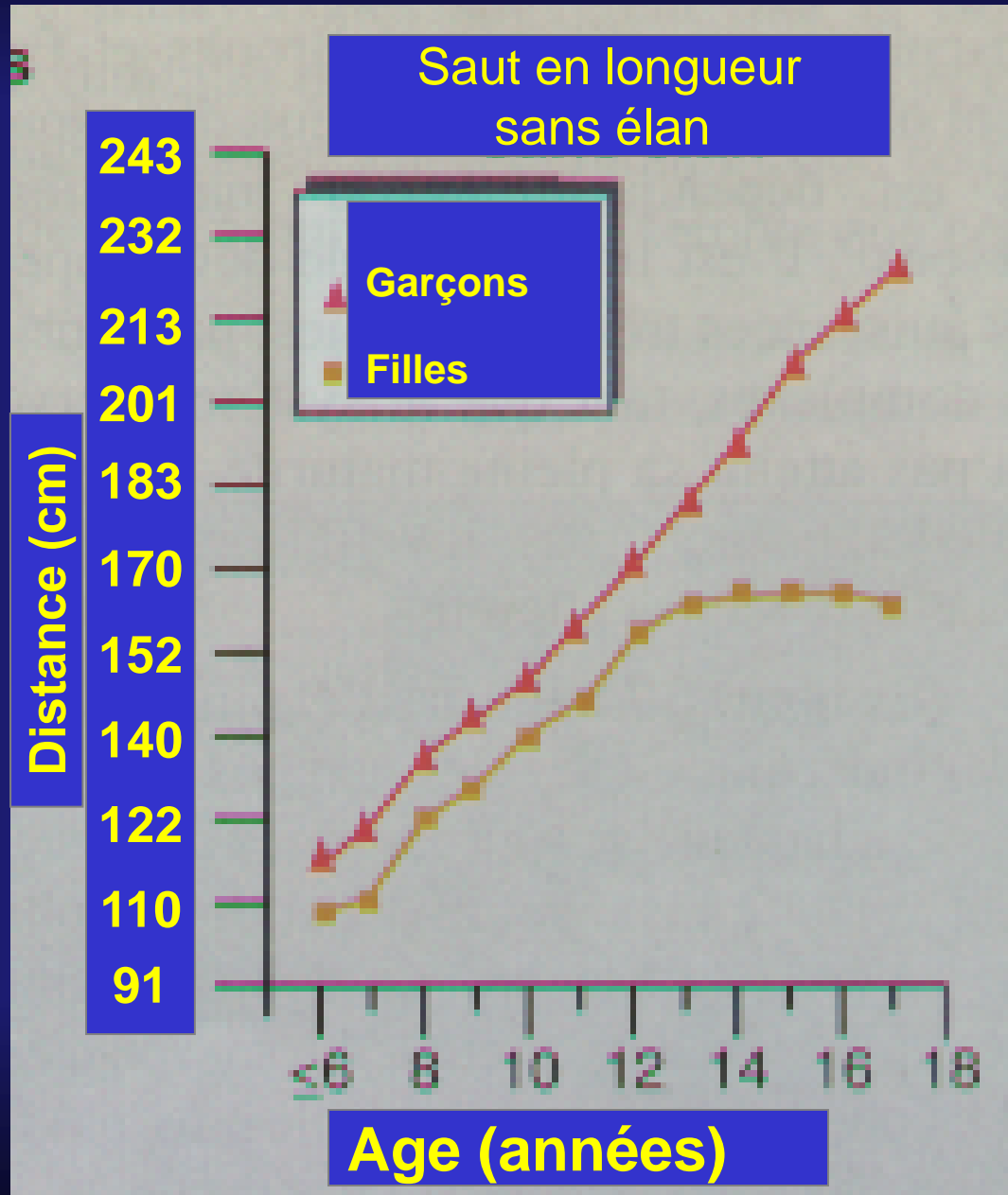
Elle résulte donc de l'interaction de la force et de la vitesse

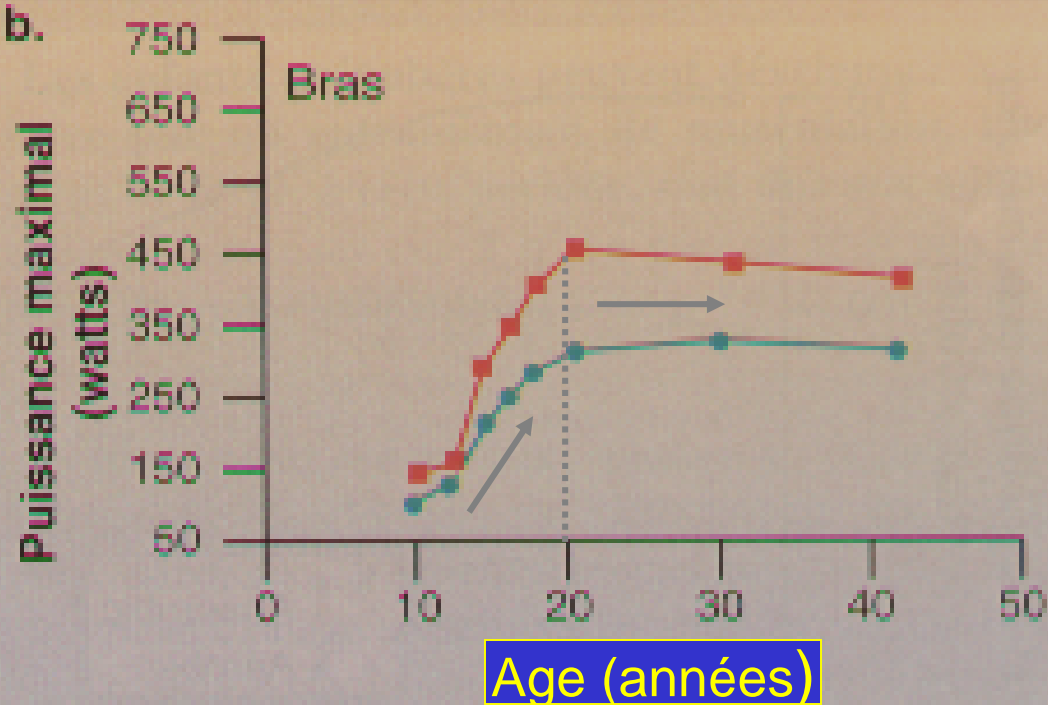
FACTEURS DONT DEPEND LA PUISSANCE MUSCULAIRE

Aux facteurs précédemment énumérés qui conditionnent vitesse et force musculaire, il convient d'ajouter:

- la nature de la commande nerveuse
 - le synchronisme des unités motrices entre elles
 - les réserves en phosphagènes (ATP-PCr) disponibles
 - les qualités élastiques du (ou des) muscle(s) mis en jeu
 - et, la possibilité de liaison force-vitesse des muscles sollicités.
-
- Dans la plupart des épreuves qui évaluent la puissance musculaire (encore appelée "force explosive"), c'est l'ensemble de ces qualités qui est pris en compte.

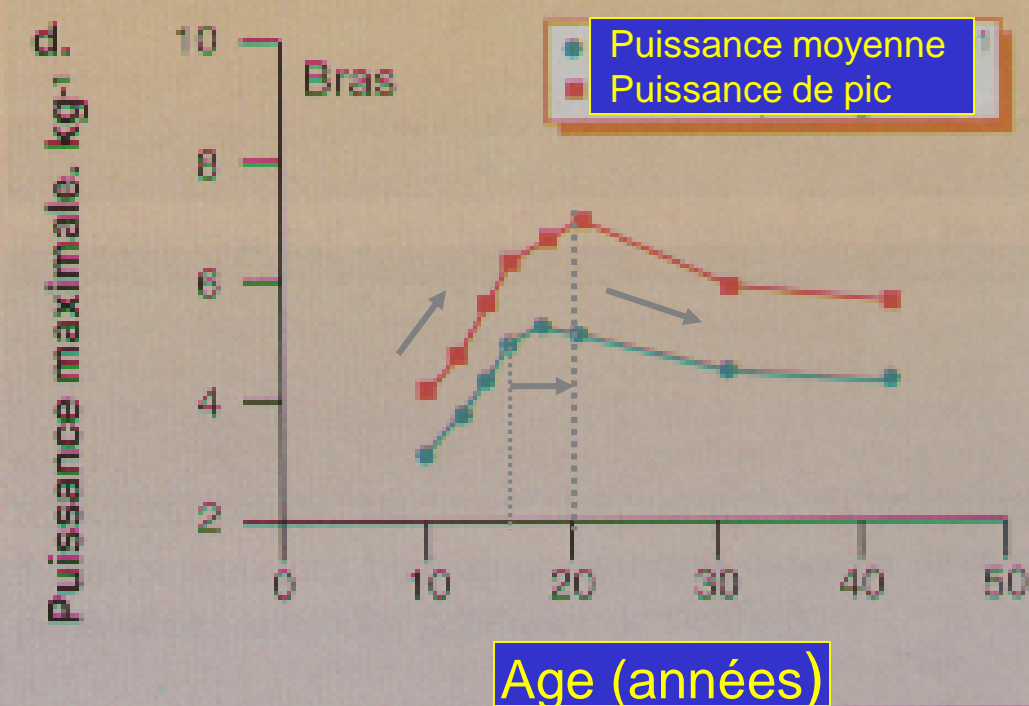
PUISSANCE DES MEMBRES INFERIEURS

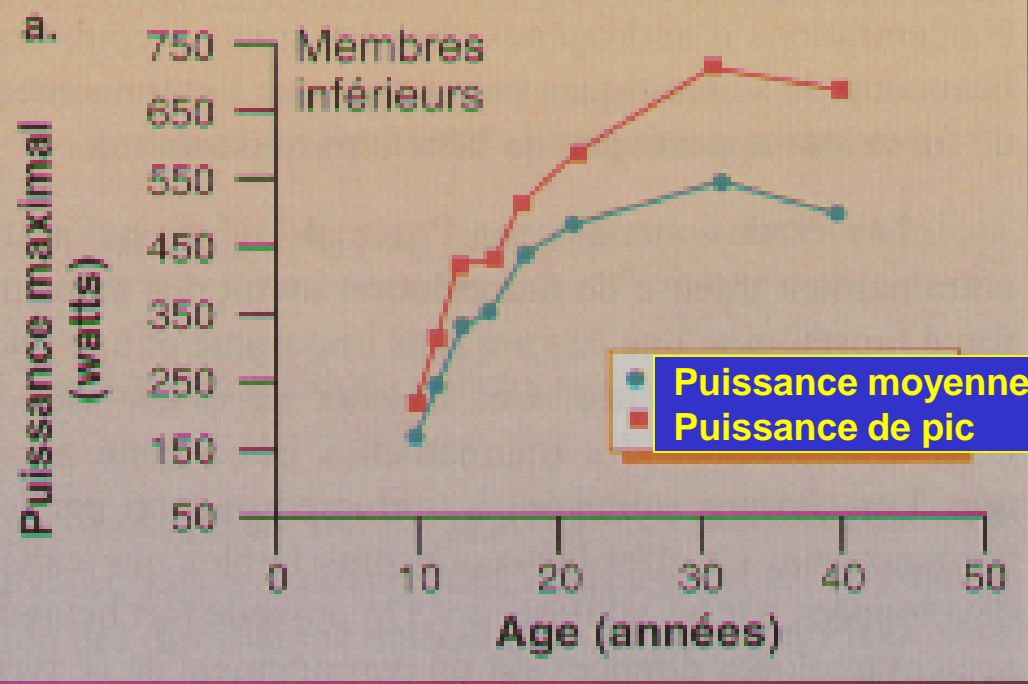




Puissance maximale des membres supérieurs exprimée en valeur brute (watts)

Puissance maximale exprimée par kilogramme de poids : w / kg

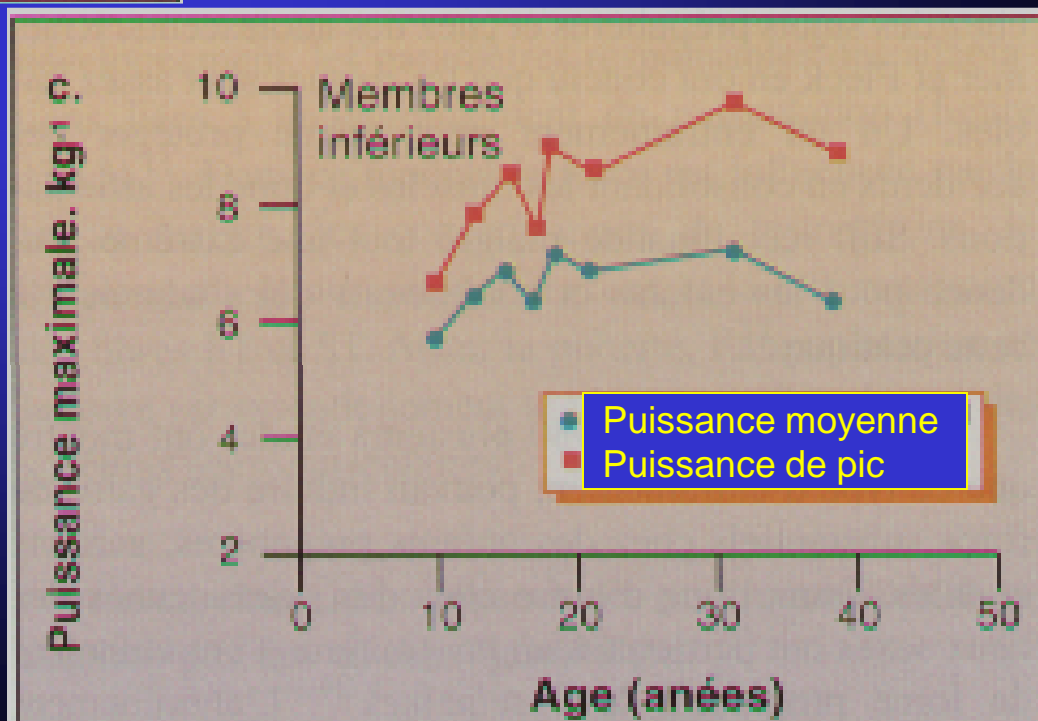




Puissance maximale brute des membres inférieurs en fonction de l'âge.



Puissance maximale par kilogramme de poids : P/kg



L'endurance musculaire

Définitions de l'endurance musculaire

« L'endurance musculaire peut être définie de deux manières :
comme la capacité de maintenir le plus longtemps possible un pourcentage élevé de la puissance maximale. Dans ce cas, les deux variables à retenir sont le *pourcentage* et la *durée de maintien* de ce pourcentage,

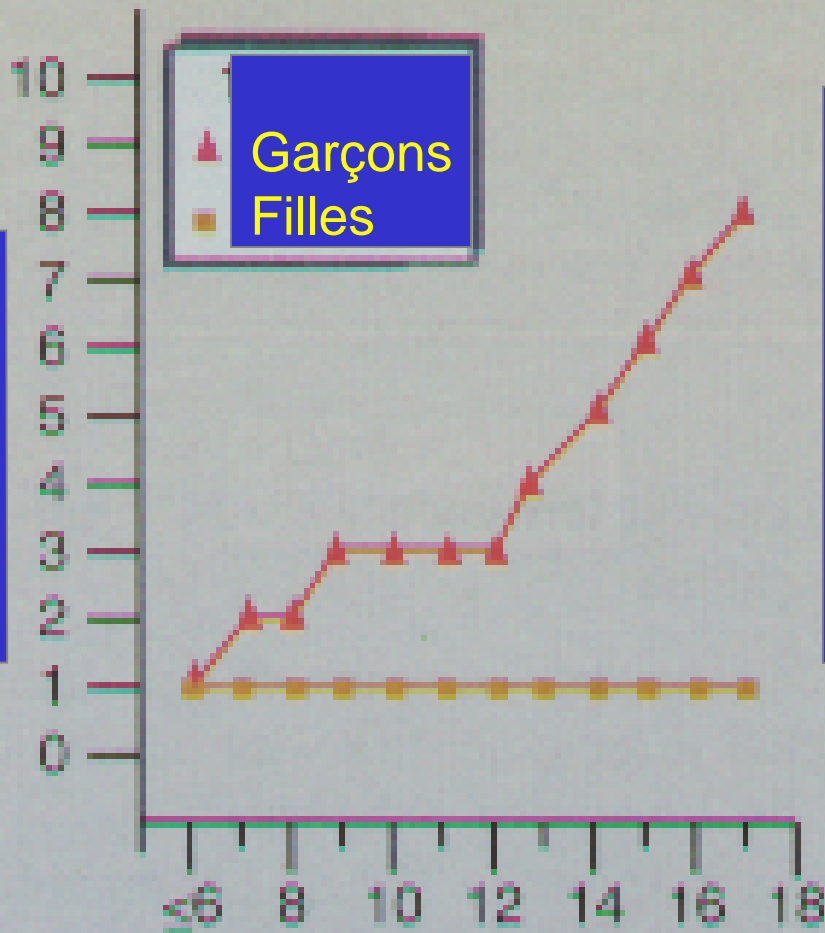
ou comme la capacité de répéter un nombre élevé de fois, un geste ou une action qui exige de la force : nombre d'abdominaux, de pompes, lutte contre un adversaire, démarrages de vitesse fréquents.... Dans ce cas, la variable à prendre en compte est le *nombre de répétitions* ».

A titre d'exemple, l'endurance musculaire est sollicitée dans de nombreuses actions de la vie quotidienne : monter rapidement des escaliers, déplacer une charge lourde sur une distance importante, bêcher son jardin ...

Endurance musculaire des membres supérieurs « Pompes »

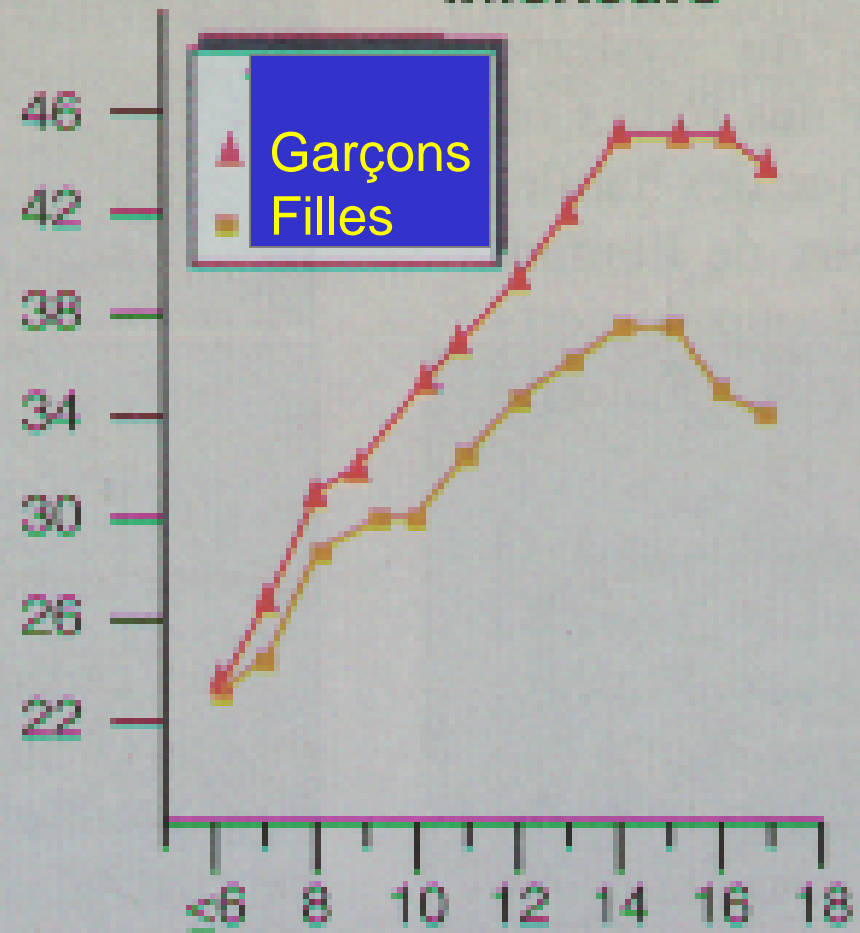
Endurance musculaire des membres inférieurs: Accroupi - Debout

« Pompes »



Age (Années)

Flexion des membres
inférieurs



Age (Années)

**CAPACITES ANAEROBIES ET
APTITUDE A L'EXERCICE
INTENSE DE COURTE DUREE DE
L'ENFANT ET DE L'ADOLESCENT**

La capacité anaérobie traduit la possibilité de maintenir un exercice d'intensité maximale ou supra maximale (égale ou supérieure à la PAM) pendant une durée relativement courte, maximum : 2 à 3 min.

D'un point de vue énergétique deux sources sont principalement mises en jeu:

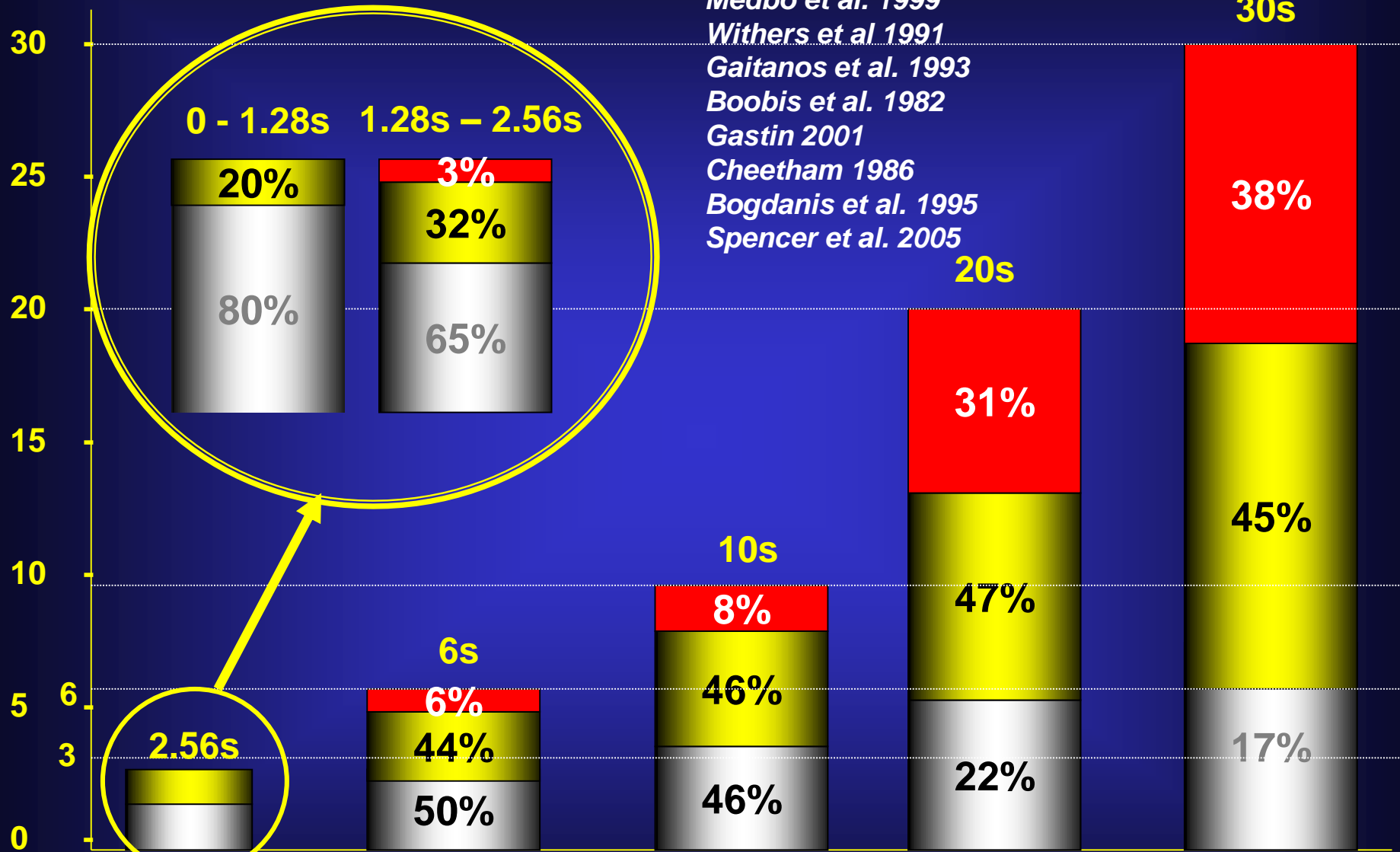
- 1- la source des phosphagènes :ATP et PCr**
- 2- la glycolyse lactique.**

Même lors d'un exercice de très courte durée il est difficile de connaître la part respective de ces deux sources.

Durées des sprints (s)

Cazorla 2006

Hultman et Sjöholm 1983
 Medbo et Tabata 1989
 Medbo et al. 1999
 Withers et al 1991
 Gaitanos et al. 1993
 Boobis et al. 1982
 Gastin 2001
 Cheetham 1986
 Bogdanis et al. 1995
 Spencer et al. 2005



Métabolismes sollicités au cours de sprints de différentes durées

: ATP-PCr
 Glycogénolyse anaérobie
 Processus aérobie

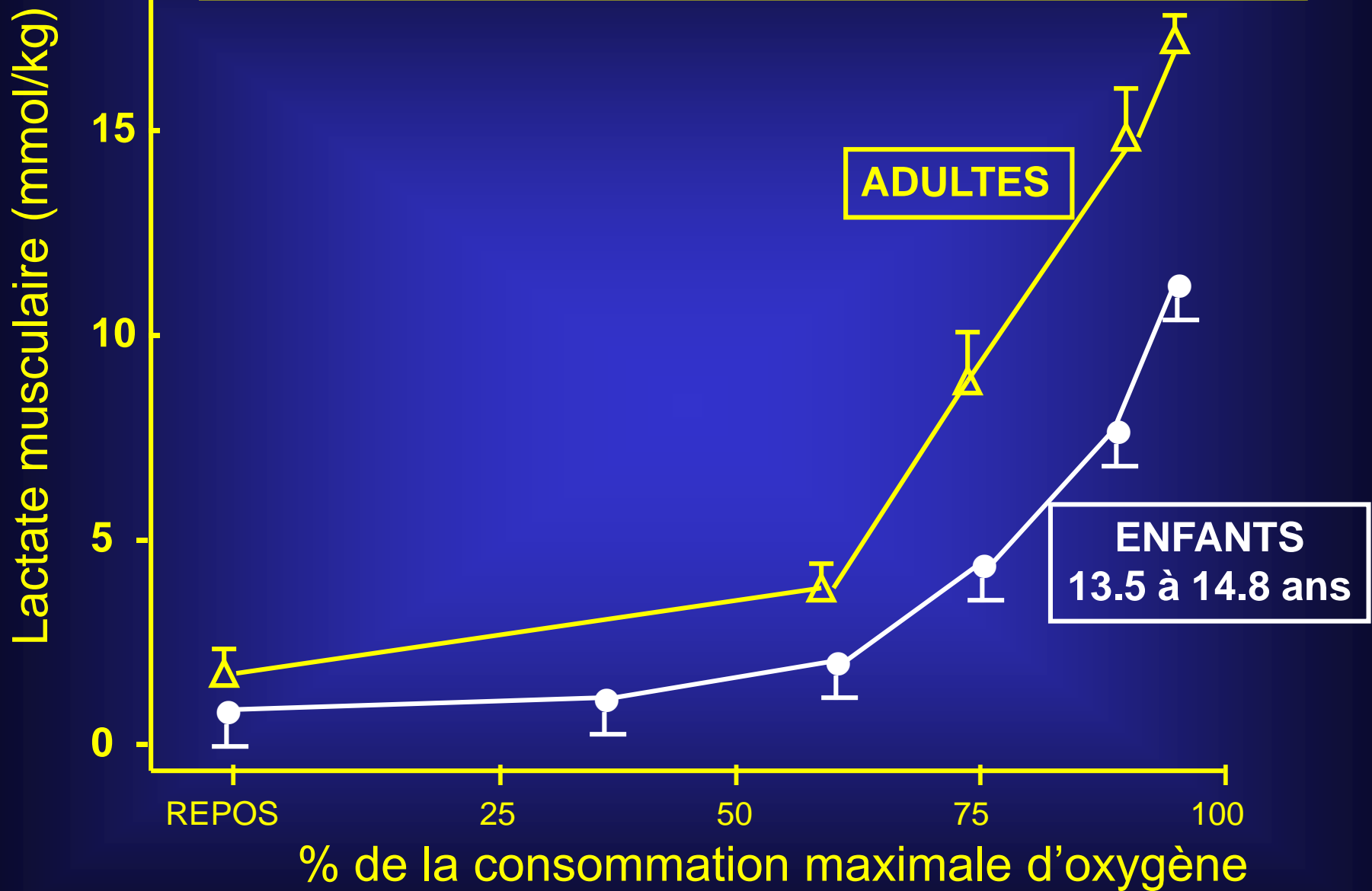
CAPACITES ANAEROBIES

Substrats	Valeurs de repos		Vitesse d'utilisation au cours de l'exercice
	Concentration musculaire (mmole/ kg) de muscle	Comparaison avec des individus plus âgés	
ATP	3.5 à 5	Pas de modification avec l'âge	Identique à celle de l'adulte
CP	12 à 22	Plus faible chez l'enfant	Identique ou inférieure à celle de l'adulte
Glycogène	45 à 75	Plus faible chez l'enfant	Plus basse que celle de l'adulte

D'après Eriksson et Saltin (1974), Eriksson (1980), et Karlsson (1971)

Lactate musculaire chez les enfants et les adultes

D'après Eriksson 1971



- Toutes les études indiquent que les processus anaérobies lactiques sont moins développés chez l'enfant que chez l'adulte. Ainsi, selon Massicotte (1980), la concentration maximale du lactate plasmatique augmente progressivement avec l'âge et passe d'environ 6 mmol.l^{-1} chez l'enfant de 5 ans à 10 mmol.l^{-1} , en moyenne, à 15 ans. Mais il n'atteint pas encore, à cet âge, les valeurs de l'adulte.

Weineck (1983) rapporte que la métabolisation du lactate est plus lente chez l'enfant, ce qui dénote chez celui-ci a une capacité de récupération plus faible que celle de l'adulte. Toujours selon cet auteur, les exercices qui sollicitent la glycolyse anaérobie provoquent de surcroît une sécrétion accrue de catécholamines qui sont des hormones habituellement retrouvées lors des situations stressantes.

- La capacité anaérobie n'augmente sensiblement qu'avec l'avènement de la puberté. Cela s'explique notamment par une activité enzymatique glycolytique moins élevée chez l'enfant et qui semble en rapport avec le degré de maturation sexuelle (Ericksson et Saltin, 1974)

L'entraînement, avant la puberté, n'a que peu d'effets sur les processus anaérobies lactiques : on ne note pas de différence significative entre des enfants sportifs et non sportifs. À partir de la puberté, en revanche, on observe une élévation progressive de la lactatémie maximale, mais les valeurs atteintes restent toujours nettement inférieures à celles de l'adulte (Flandrois, 1984).

Les concentrations et l'activité des enzymes de la glycolyse anaérobie lactique (G. phosphorylase, phosphofructokinase PFK et LDH), sont plus faibles chez l'enfant que chez l'adolescent et plus faible chez ce dernier que chez l'adulte, ce qui simultanément limite leur production d'acide lactique et leur capacité anaérobie.

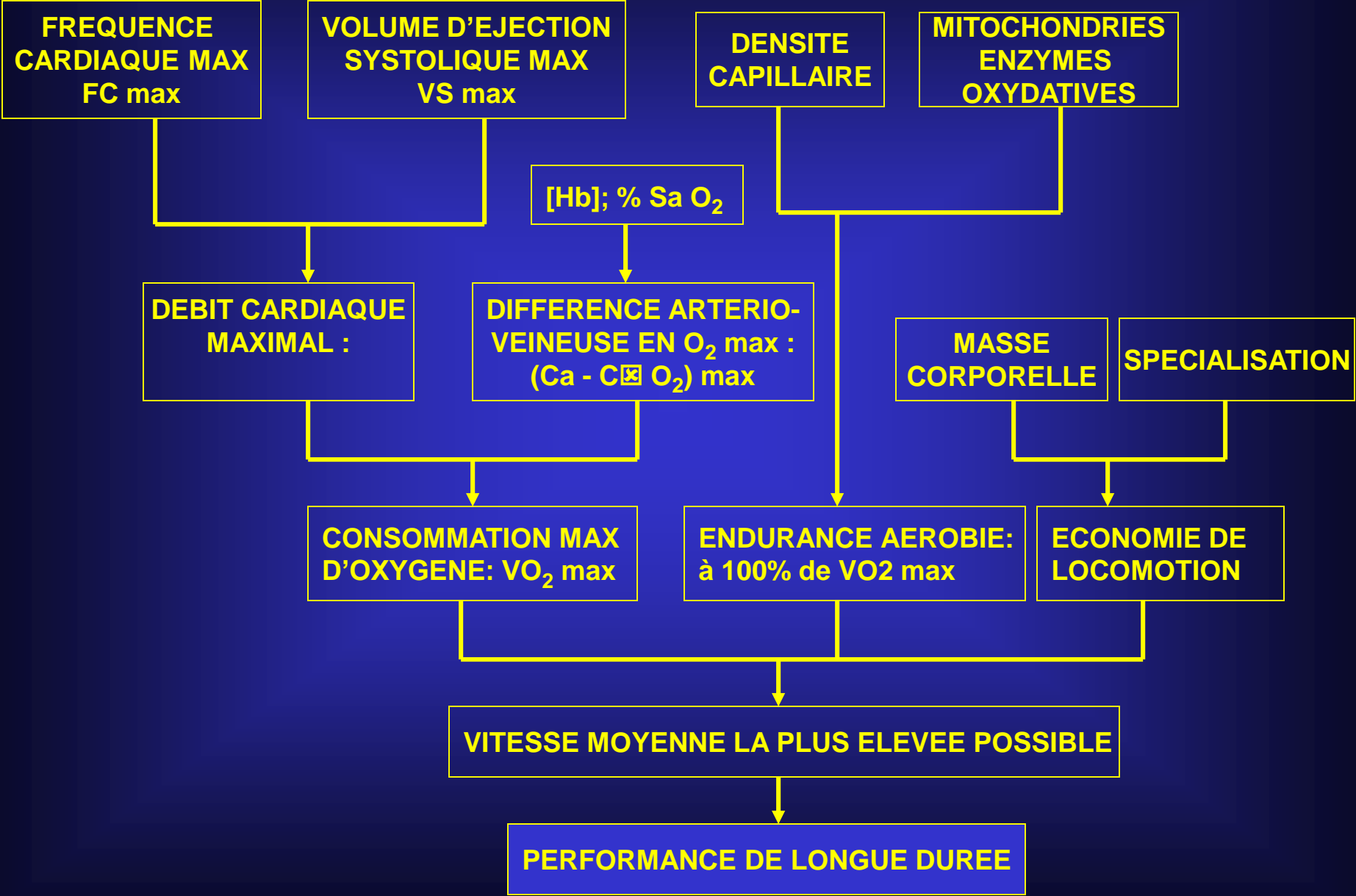
Lors d'exercices maximaux, les enfants n'atteignent pas des quotients respiratoires ($Q_r : VCO_2/VO_2$) aussi élevés que ceux de l'adulte, ce qui est à la fois la conséquence de leur plus faible concentration en lactate et de leur plus faible efficacité de leurs systèmes tampon.

Les puissances anaérobies moyenne et maximale (en pic) sont plus faibles chez l'enfant que chez l'adulte.

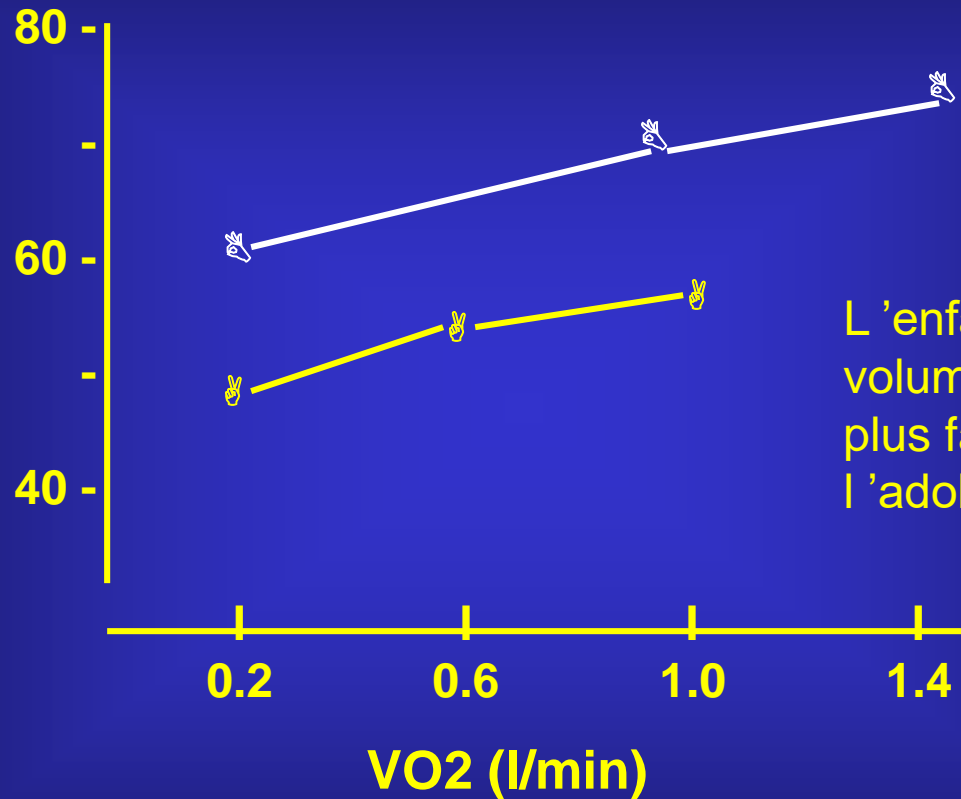
**EST-CE UNE SPECIFICITE PHYSIOLOGIQUE DE L'ENFANT OU UNE
CONSEQUENCE DE SON MODE DE FONCTIONNEMENT ?**

**CAPACITE AEROBIE ET
APTITUDE A L'EXERCICE DE
LONGUE DUREE DE L'ENFANT ET
DE L'ADOLESCENT**

ECONOMIE DE LOCOMOTION (RENDEMENT)



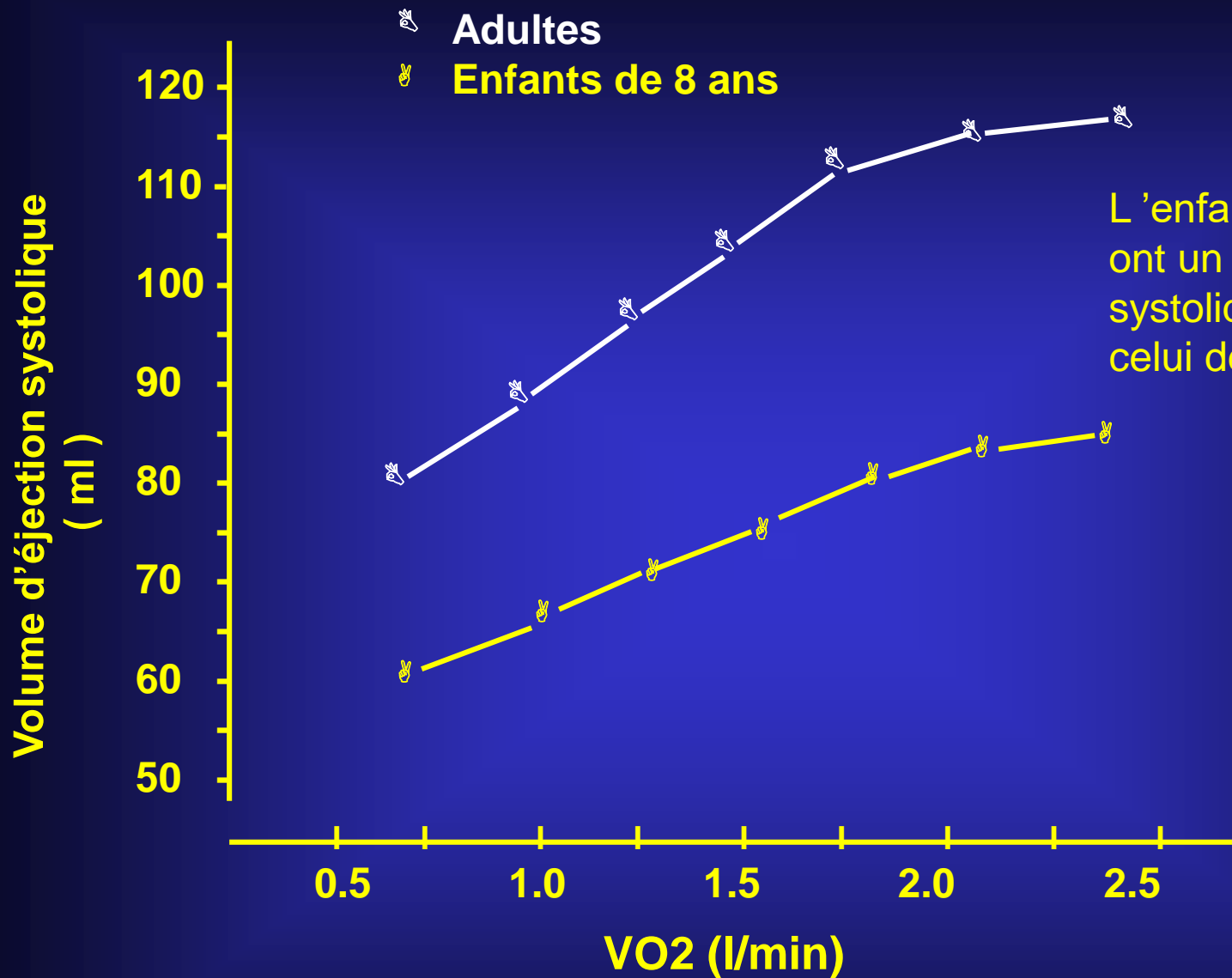
Volume d'éjection systolique (ml)



12.8 ans (11.5-14 ans, n = 12)
9.4 ans (8-11.5 ans, n = 10)

L'enfant et présente un volume d'éjection systolique plus faible que celui de l'adolescent.

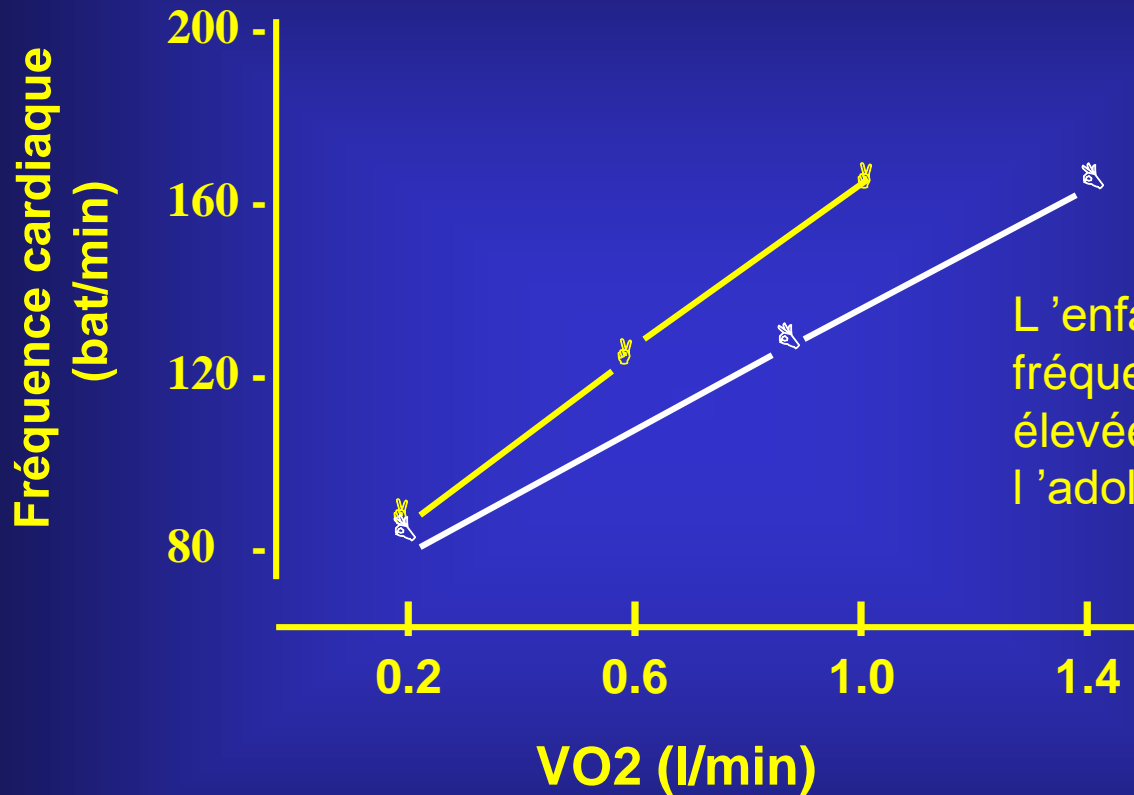
Modifications hémodynamiques survenant au cours d'une épreuve de pédalage en position verticale. (D'après Mocellin et al., 1973)



L'enfant et l'adolescent ont un volume d'éjection systolique plus faible que celui de l'adulte.

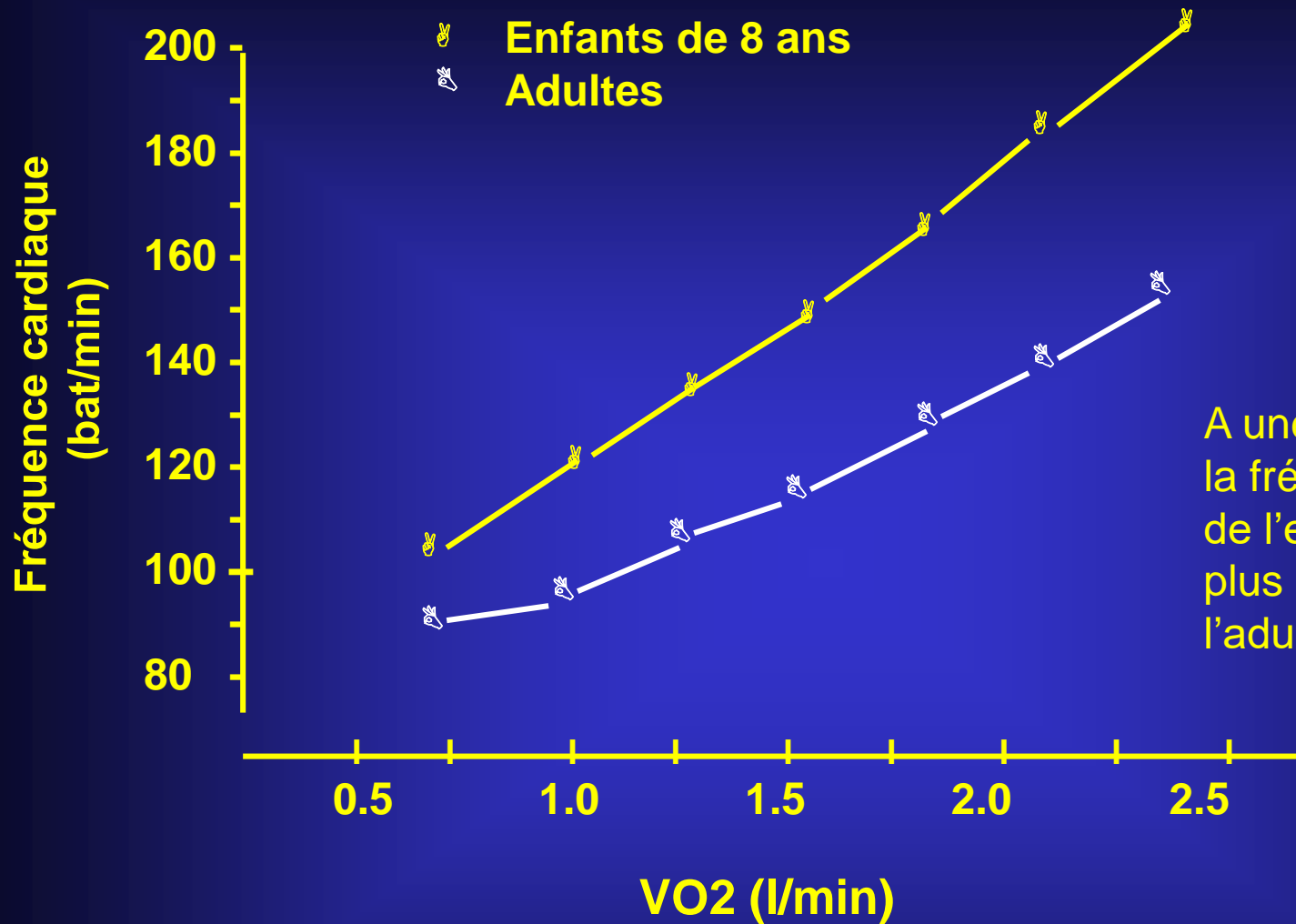
Valeurs sous-maximales du volume d'éjection systolique chez des enfants comparées à celles d'adultes, à un même niveau de consommation d'oxygène. (d'après Wilmore et Costill, 1994)

 **9.4 ans (8-11.5 ans, n = 10)**
 **12.8 ans (11.5-14 ans, n = 12)**



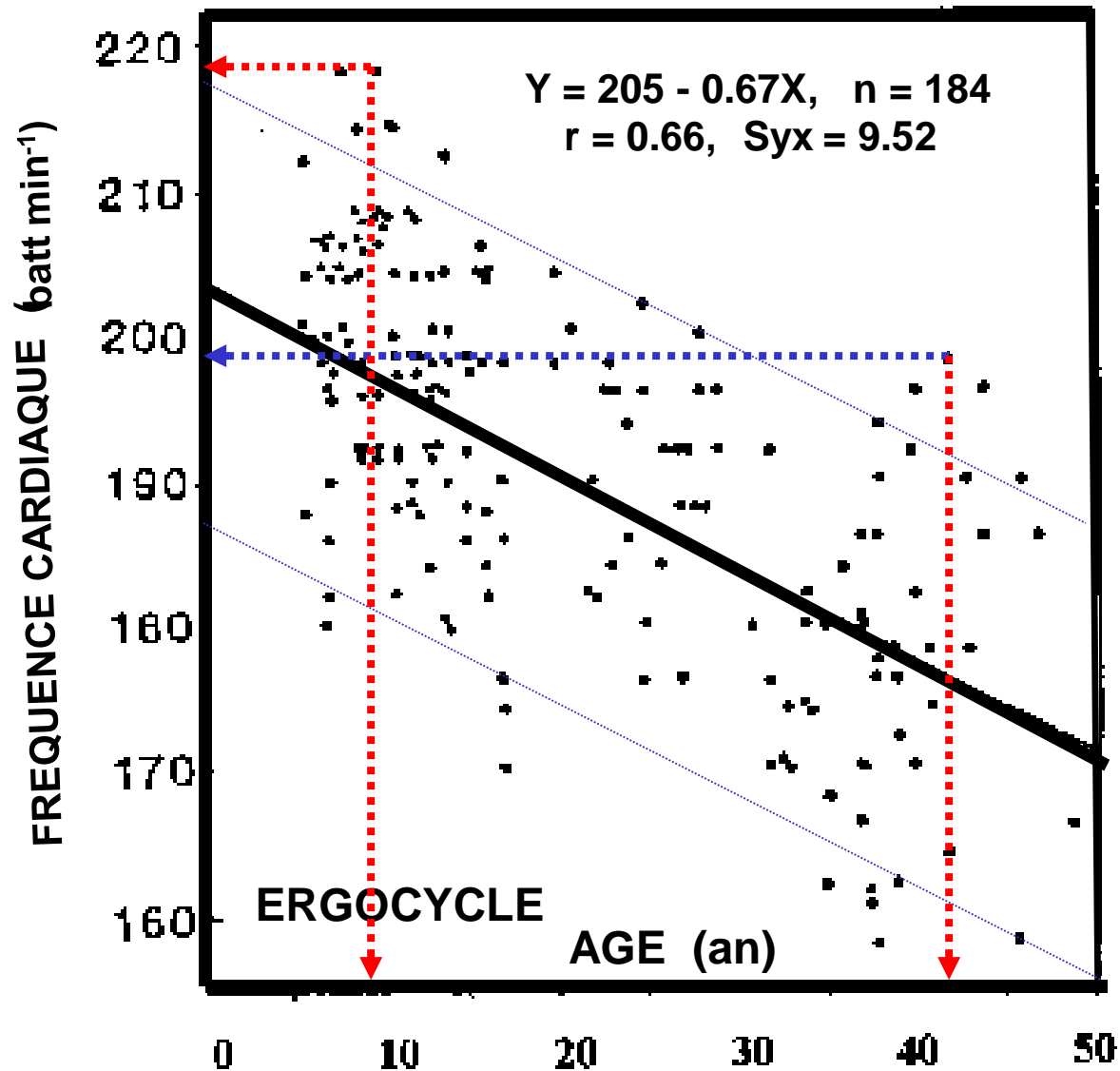
L'enfant et présente une fréquence cardiaque plus élevée que celle de l'adolescent.

Modifications hémodynamiques survenant au cours d'une épreuve de Pédalage en position verticale. (D'après Mocellin et al., 1973)

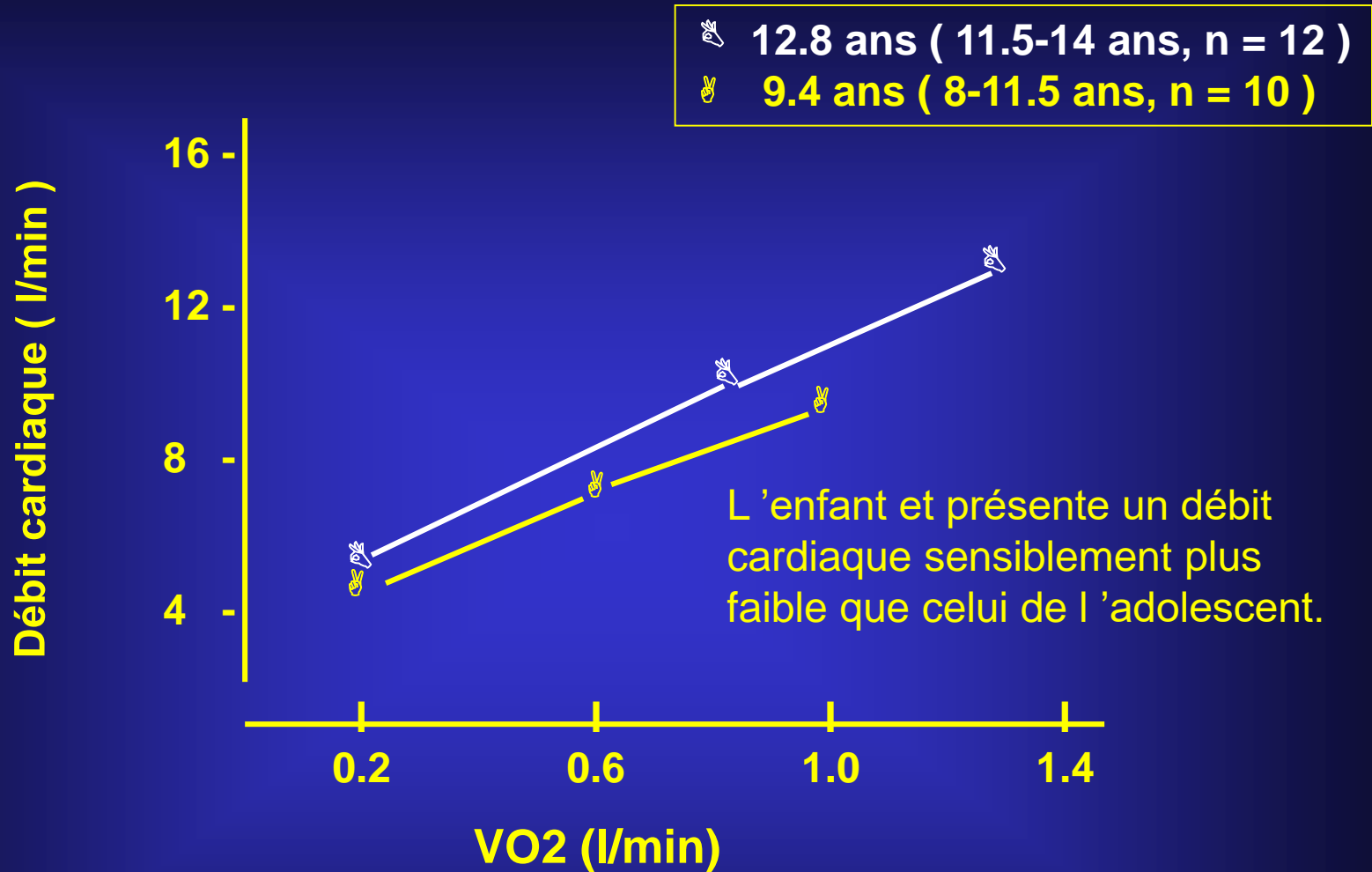


A une intensité donnée la fréquence cardiaque de l'enfant est beaucoup plus élevée que celle de l'adulte

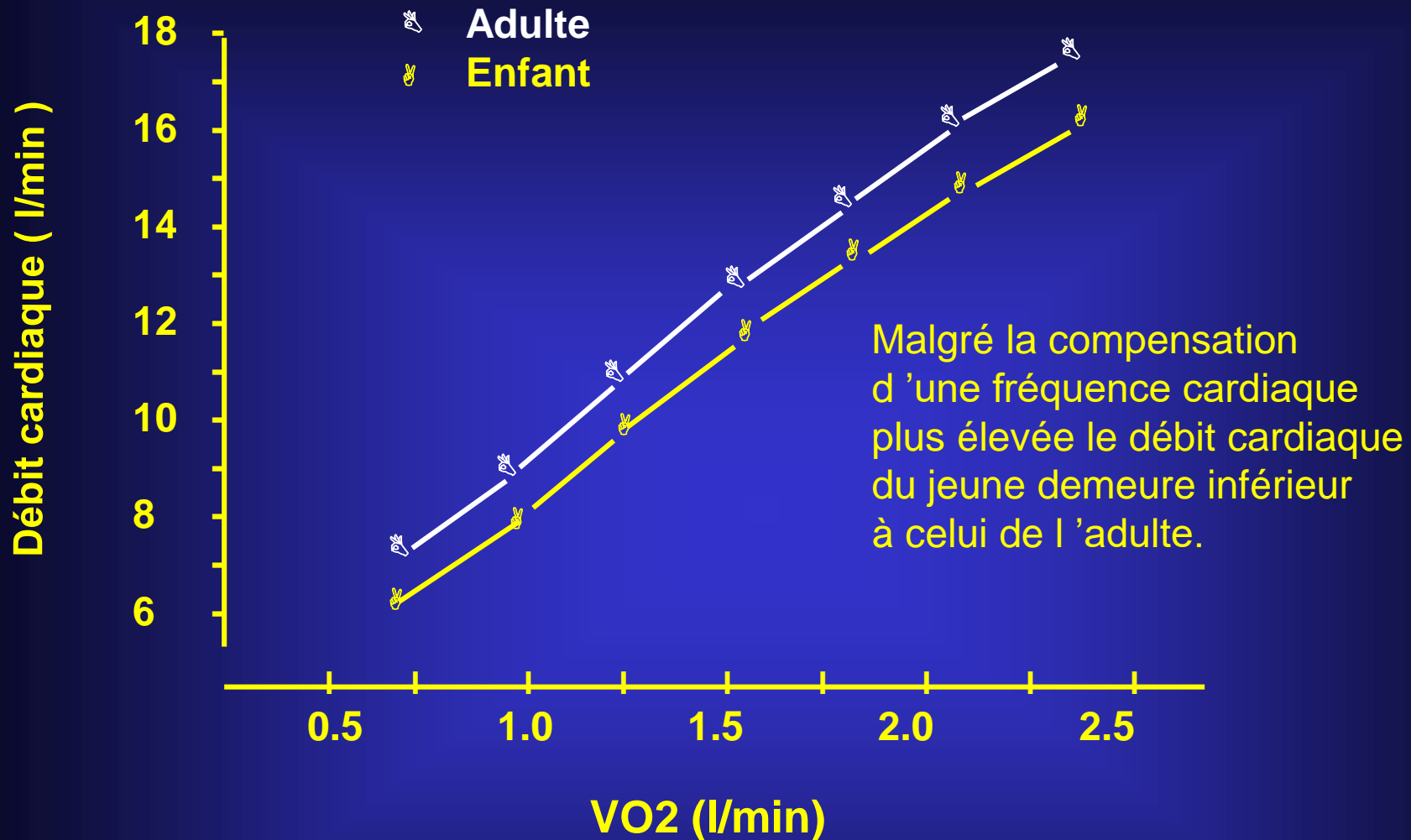
Valeurs sous-maximales de la fréquence cardiaque chez des enfants comparées à celles d'adultes, à un même niveau de consommation d'oxygène. (d'après Wilmore et Costill, 1994)



Fréquence cardiaque maximale en fonction de l'âge chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte: la dispersion des points rend inutilisable l'utilisation d'une valeur moyenne de FCmax pour un âge donné. Adapté de Léger et al., 1990 et 1995.

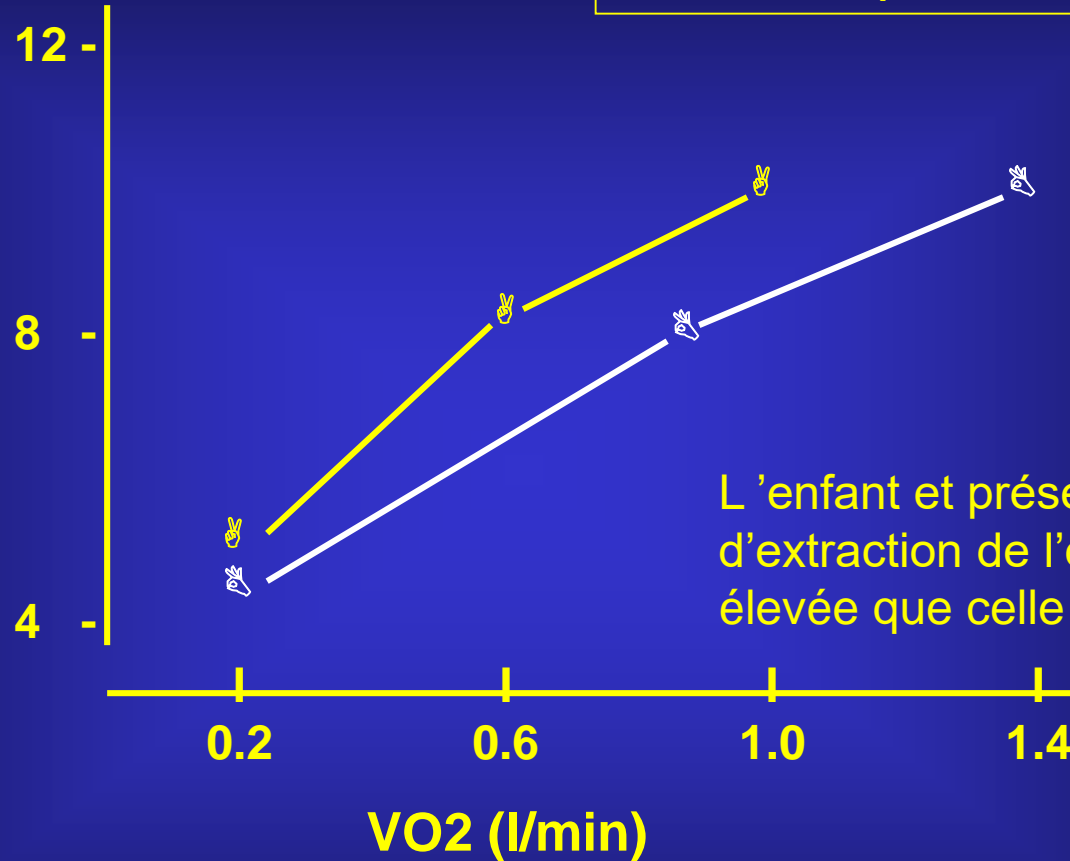


Modifications hémodynamiques survenant au cours d'une épreuve de pédalage en position verticale. (D'après Mocellin et al., 1973)



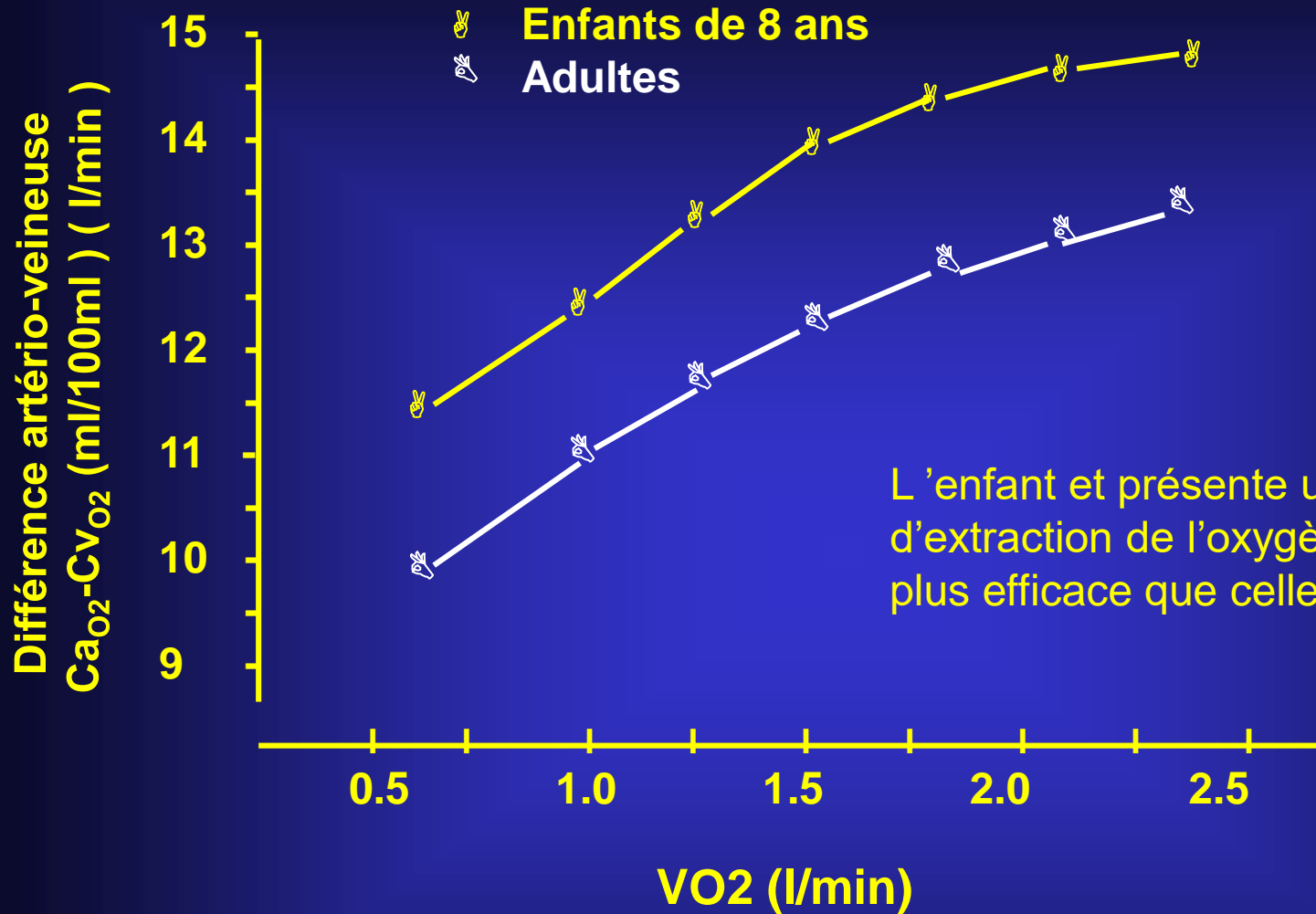
Valeurs sous-maximales du débit cardiaque chez des enfants comparées à celles d'adultes, à un même niveau de consommation d'oxygène. (d'après Wilmore et Costill, 1994)

Différence artério-veineuse
 $Ca_{O_2}-Cv_{O_2}$ (ml/100ml) (l/min)



L'enfant et présente une capacité d'extraction de l'oxygène plus élevée que celle de l'adolescent.

Modifications hémodynamiques survenant au cours d'une épreuve de pédalage en position verticale. (D'après Mocellin et al., 1973)



Valeurs sous-maximales de la fréquence cardiaque chez des enfants comparées à celles d'adultes, à un même niveau de consommation d'oxygène. (d'après Wilmore et Costill, 1994)

Comparaison entre l'enfant et l'adulte de la réponse hémodynamique centrale et périphérique à l'exercice

Fonctions	Réponse de l'enfant comparée à celle de l'adulte
Fréquence cardiaque sous-maximale	Plus élevée pendant les 10 premières années
Fréquence cardiaque maximale	Plus élevée
Volume d'éjection systolique sous maximal et maximal	Plus faible
Débit cardiaque sous maximal	Un peu plus faible
Pressions systolique et diastolique sous maximales et maximales	Plus faible
Débit sanguin des muscles en activité	Plus élevé
Différence artério-veineuse (sang veineux mêlé) sous maximale	Plus élevée

L'enfant présente un volume d'éjection systolique plus faible que celui de l'adulte.

Mais une fréquence cardiaque plus élevée

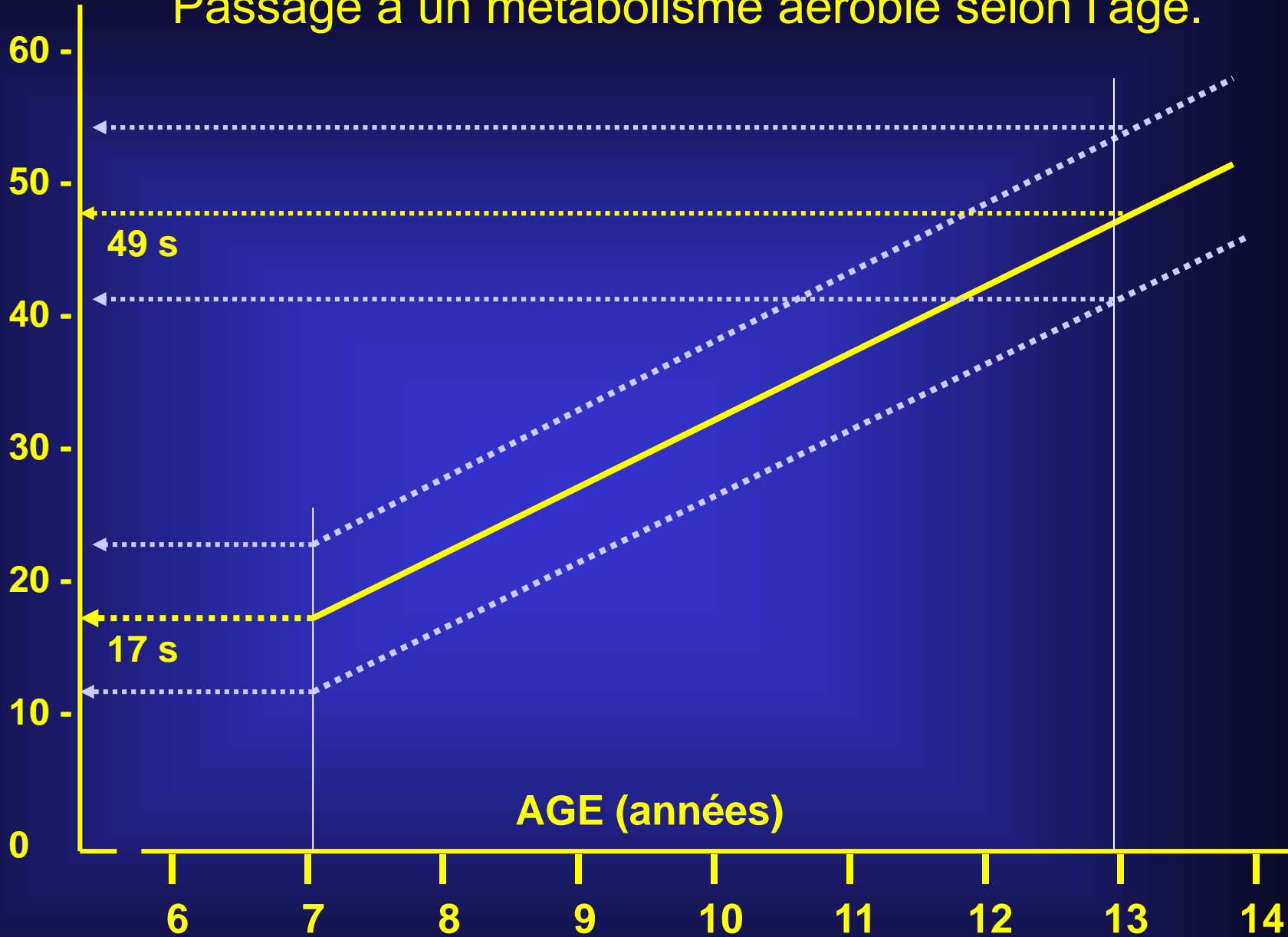
Malgré la compensation d'une fréquence cardiaque plus élevée son débit cardiaque demeure inférieur à celui de l'adulte.

Par contre son système d'extraction de l'oxygène est nettement plus performant,

Et ce n'est pas le seul avantage que l'enfant présente au niveau de la capacité aérobie....

Passage à un métabolisme aérobie selon l'âge.

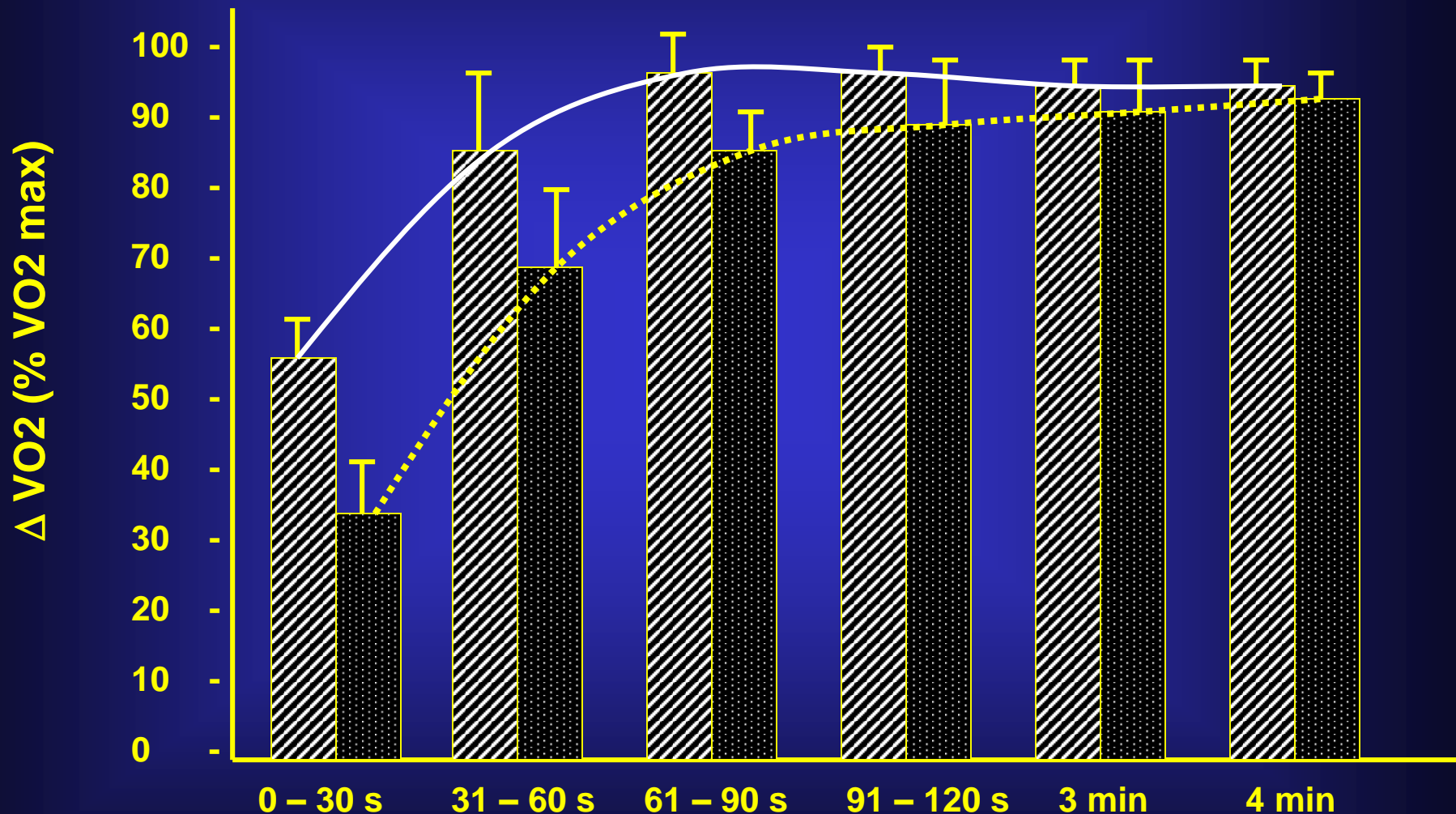
Durée (s) nécessaire pour atteindre 50% de la consommation d'O₂ stationnaire



AGE (années)

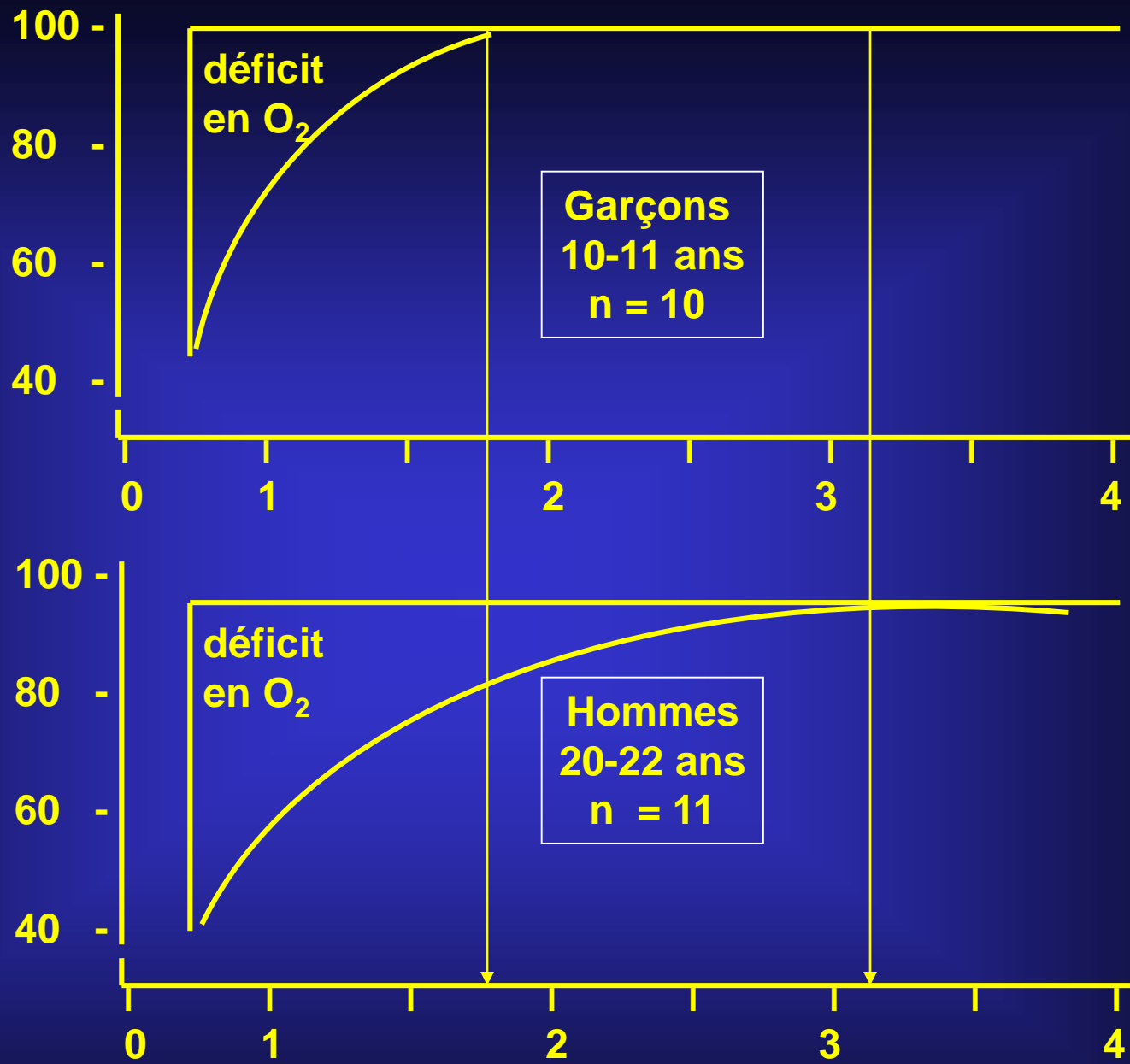
Demi-temps de la consommation d'O₂ au cours d'un exercice sous-maximal sur bicyclette ergométrique (59 watts) chez 28 garçons et filles de 7 à 14 ans. D'après Freedson et al. 1983

Etude comparée de l'évolution des délais pour atteindre le plateau de VO_2max entre l'enfant  et l'adulte 



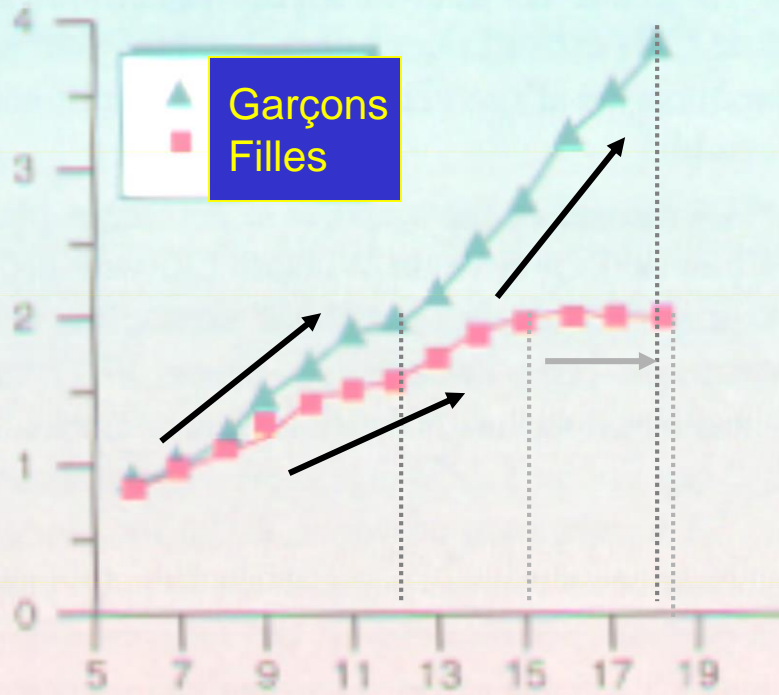
D'après Macek et al. *Int. J. Sports Med.*; 1980

Consommation d'O₂ finale (%)



Déficit en O₂ chez des enfants et des adultes effectuant un exercice sur bicyclette ergométrique à 90-100 % de leur PMA (d'après Bar-Or)

VO₂max (l.min⁻¹)



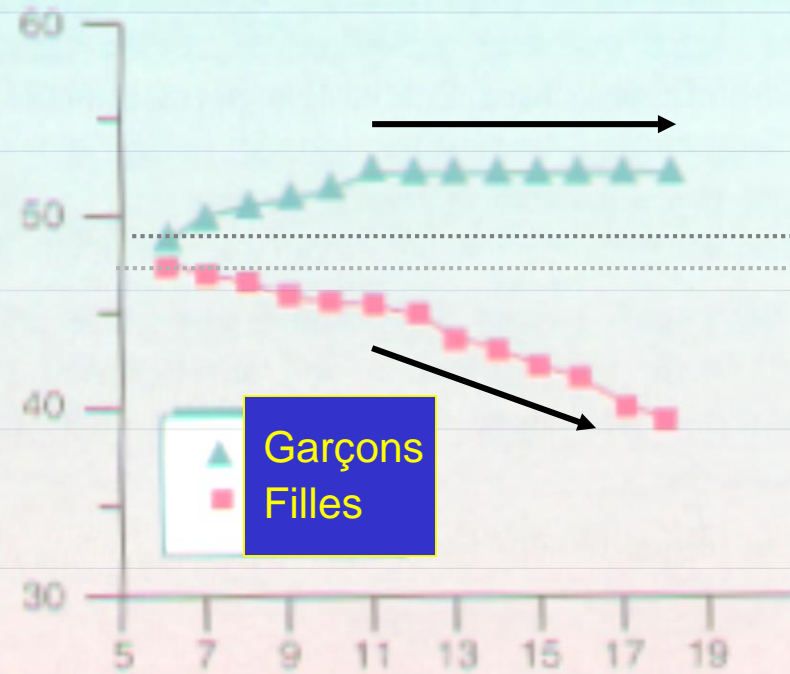
Âges (années)

Exprimé en litre par minute l.min⁻¹ le VO₂max augmente linéairement jusqu' à 18 ans chez les garçons et jusqu' à 14 -15 ans chez les filles...

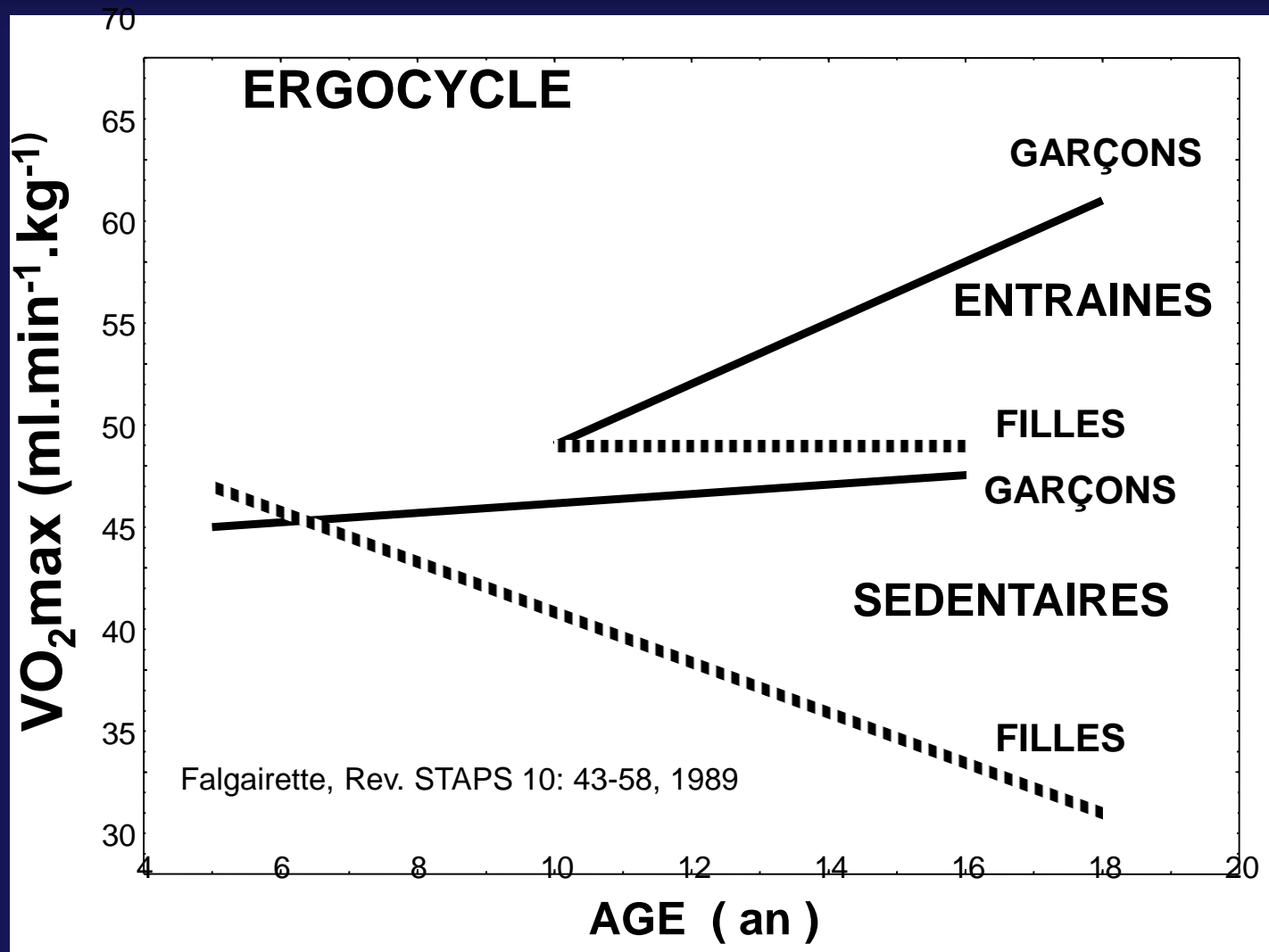
alors que, exprimé en millilitre par minute et par kg de poids (ml.min⁻¹.kg⁻¹) le $\dot{V}O_2$ max semble ne pas augmenter chez le garçon, voire diminuer chez la fille.

b.

VO₂max (ml.min⁻¹.kg⁻¹)

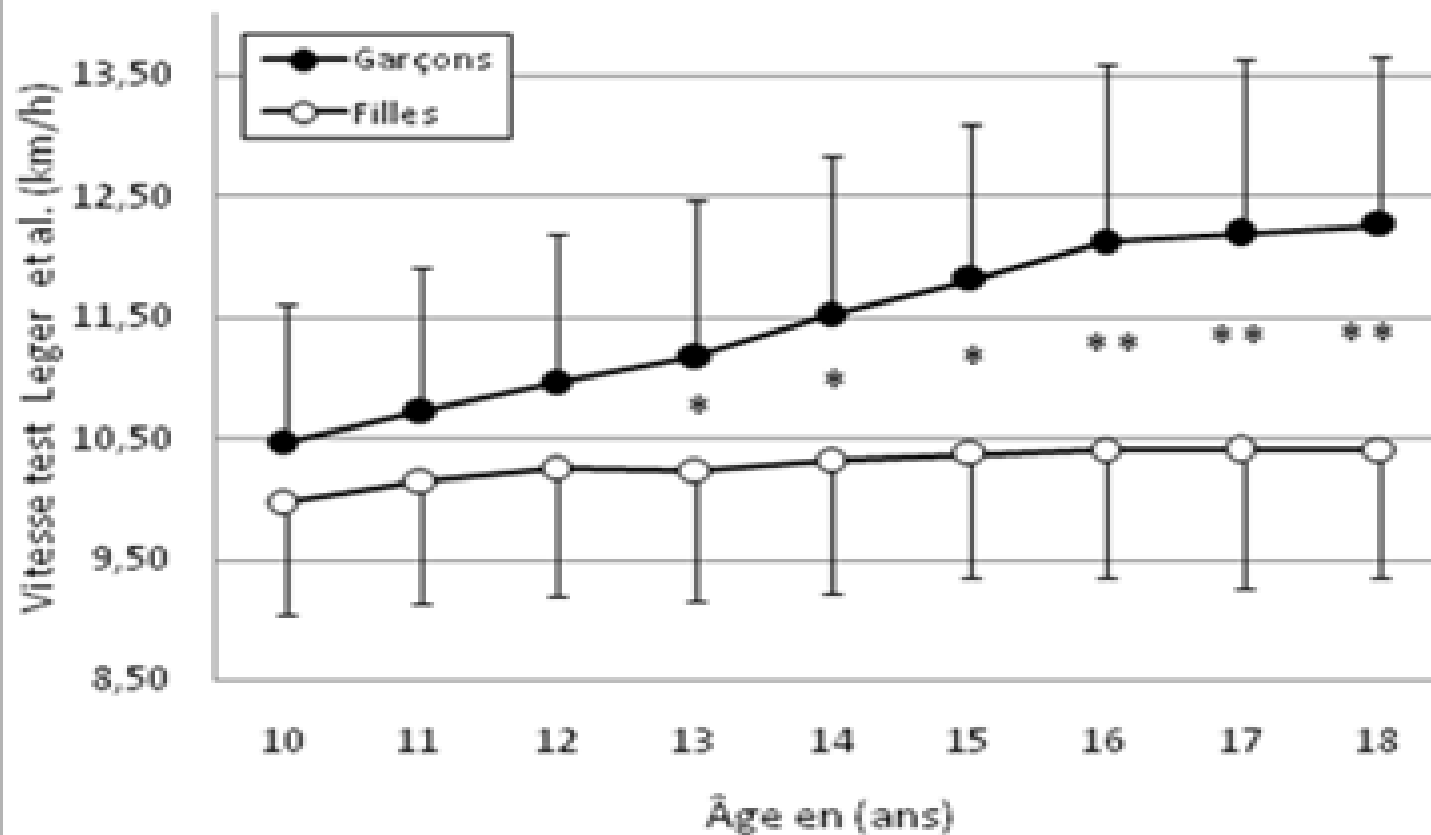


Âges (années)



Valeurs types de VO_2max au cours de la croissance pour enfants “ sédentaires ” et entraînés en endurance. Les valeurs supérieures des enfants entraînés supportent l'idée que l'enfant est sensible à l'entraînement bien qu'un processus de sélection naturelle ne soit pas exclu, les enfants génétiquement avantagés étant ceux qui auraient spontanément choisi de s'adonner à des activités d'endurance. Adapté de Falgairette (1989).

Les tests de terrain pour évaluer la
puissance aérobie maximale des enfants
et des adolescents



TEST NAVETTE AÉROBIE de Léger et al.	G	Moyenne	10,46	10,72	10,95	11,17	11,52	11,81	12,12	12,19	12,26
		Ecart type	1,14	1,2	1,24	1,3	1,32	1,28	1,46	1,45	1,4
		Nombre	13859	15480	24544	27535	27106	22465	13311	15108	8580
	F	Moyenne	9,97	10,14	10,24	10,22	10,31	10,37	10,40	10,41	10,39
		Ecart type	0,93	1,01	1,04	1,06	1,09	1,03	1,06	1,16	1,05
		Nombre	13751	15446	24255	27110	24924	20197	13547	14884	8913

ECONOMIE DE LOCOMOTION

ECONOMIE DE LOCOMOTION (RENDEMENT)

FREQUENCE CARDIAQUE MAX
FC max

VOLUME D'EJECTION SYSTOLIQUE MAX
VS max

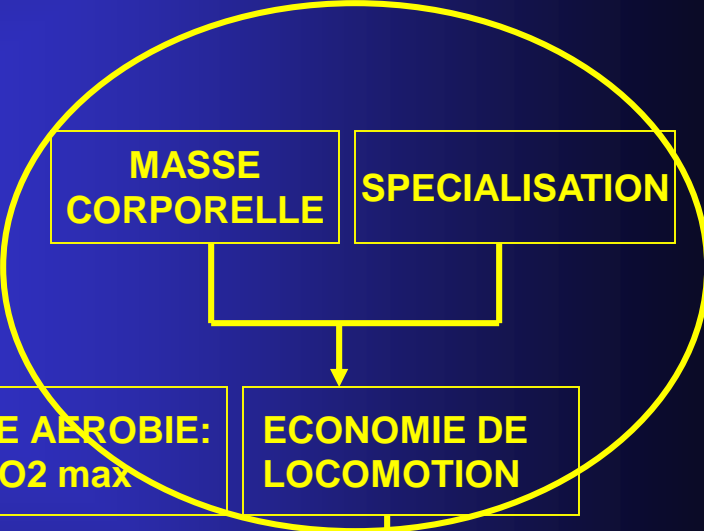
DENSITE CAPILLAIRE

MITOCHONDRIES ENZYMES OXYDATIVES

[Hb]; % Sa O₂

DEBIT CARDIAQUE MAXIMAL :

DIFFERENCE ARTERIO-VEINEUSE EN O₂ max :
(Ca - C_v O₂) max



CONSOMMATION MAX D'OXYGENE: VO₂ max

ENDURANCE AEROBIE: à 100% de VO₂ max

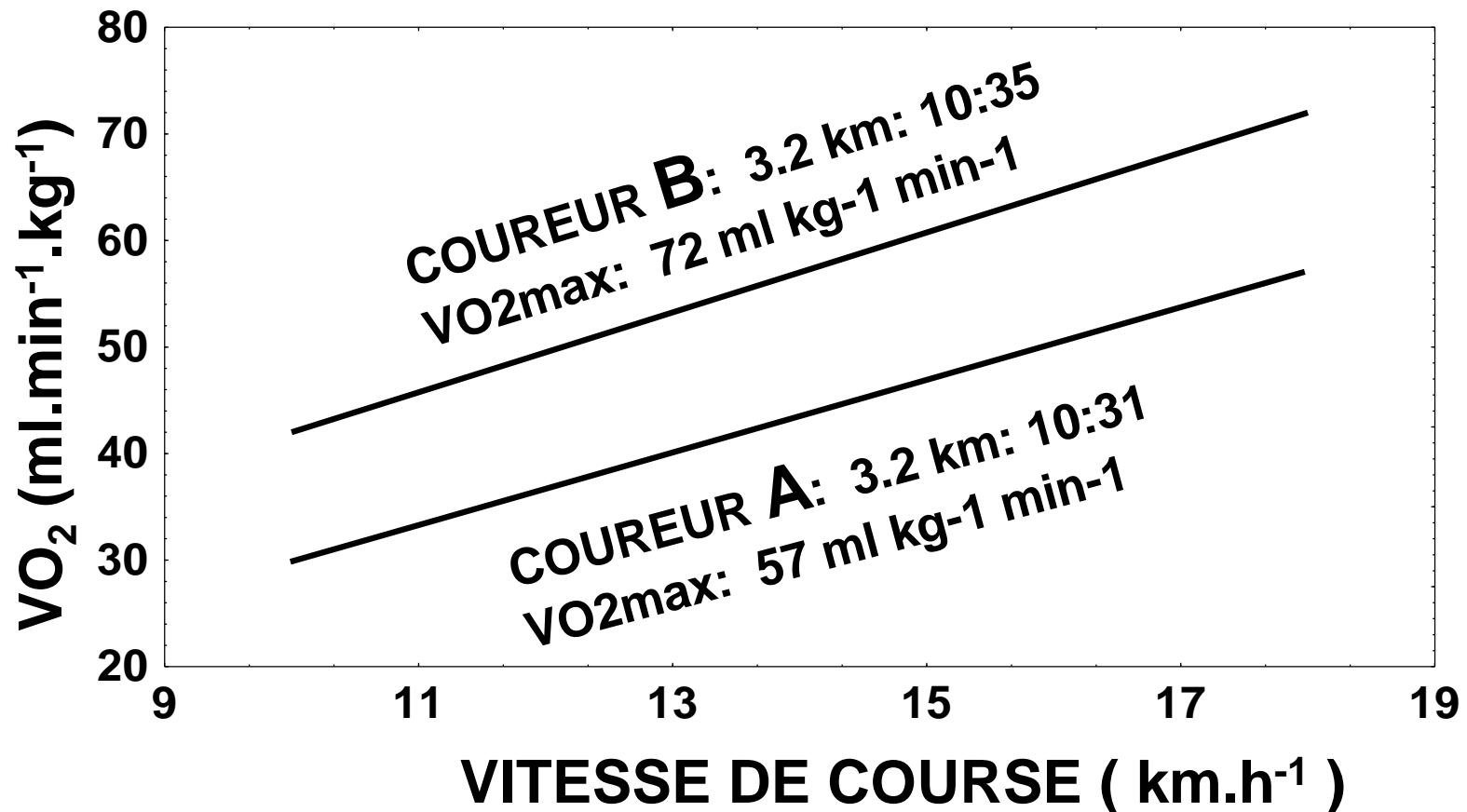
ECONOMIE DE LOCOMOTION

VITESSE MOYENNE LA PLUS ELEVEE POSSIBLE

PERFORMANCE DE LONGUE DUREE

IMPORTANCE DE L'ECONOMIE DE COURSE

Daniels, 74 selon Noakes, MSSE 88



IMPORTANCE DE L'ECONOMIE DE COURSE

Influence de l'économie de locomotion sur la VMA et la performance en compétition. Adapté de Noakes, 1988.

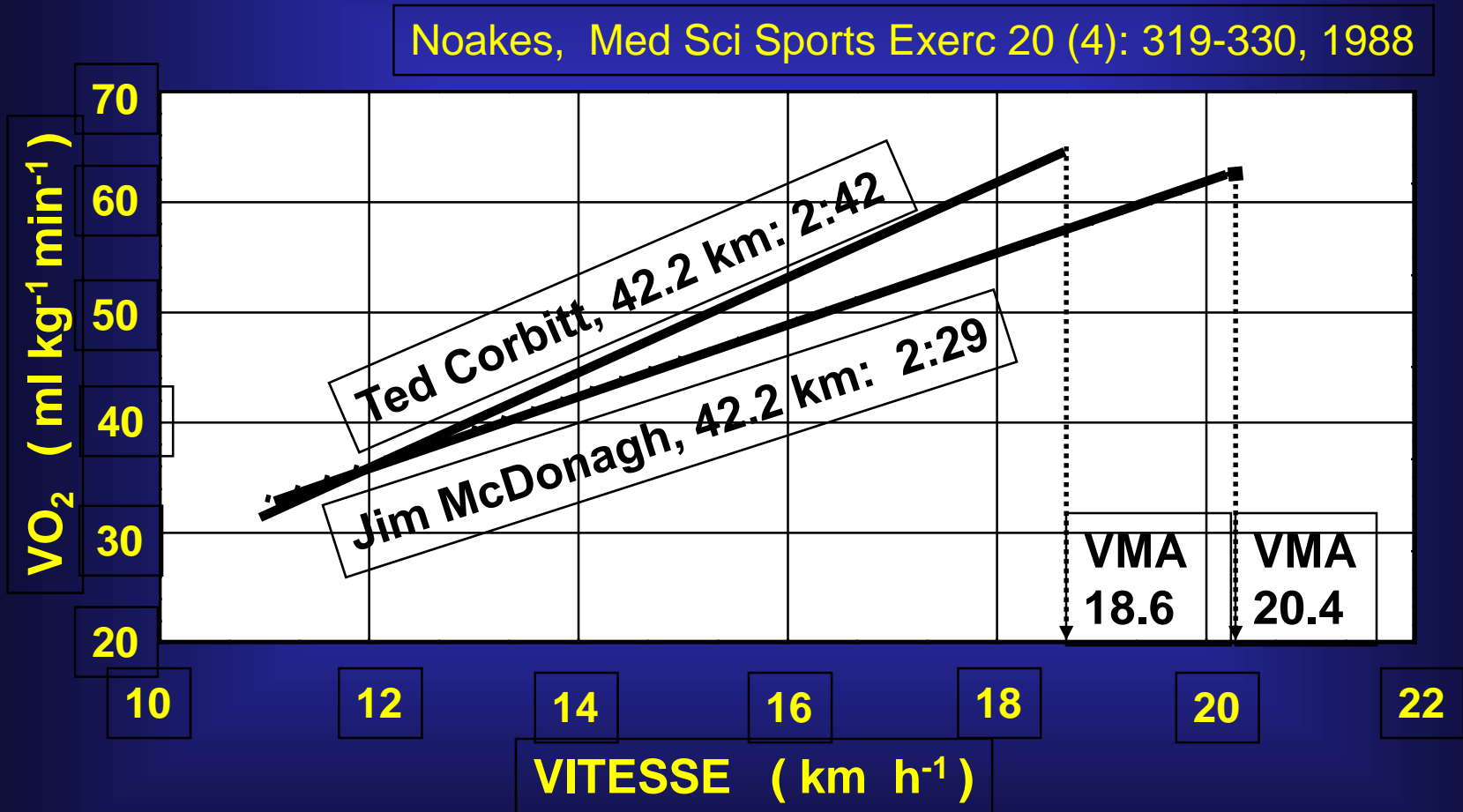
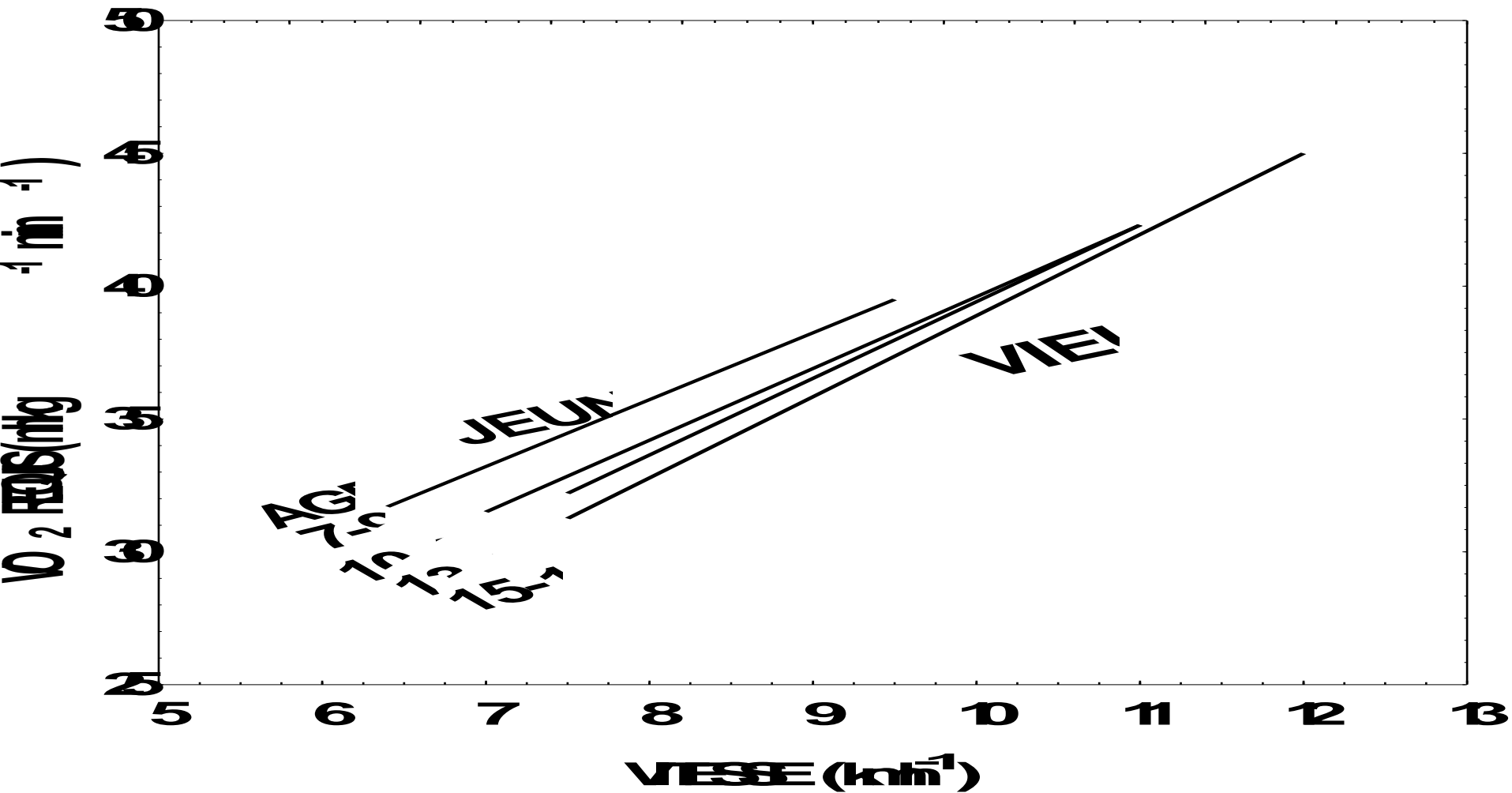


Figure 5

ECONOMIE DE COURSE LORS DE LA CROISSANCE

En période de croissance, les plus âgés sont plus économiques.

Adapté de Léger et al., 1986.



L 'ECONOMIE DE LOCOMOTION DE L 'ENFANT

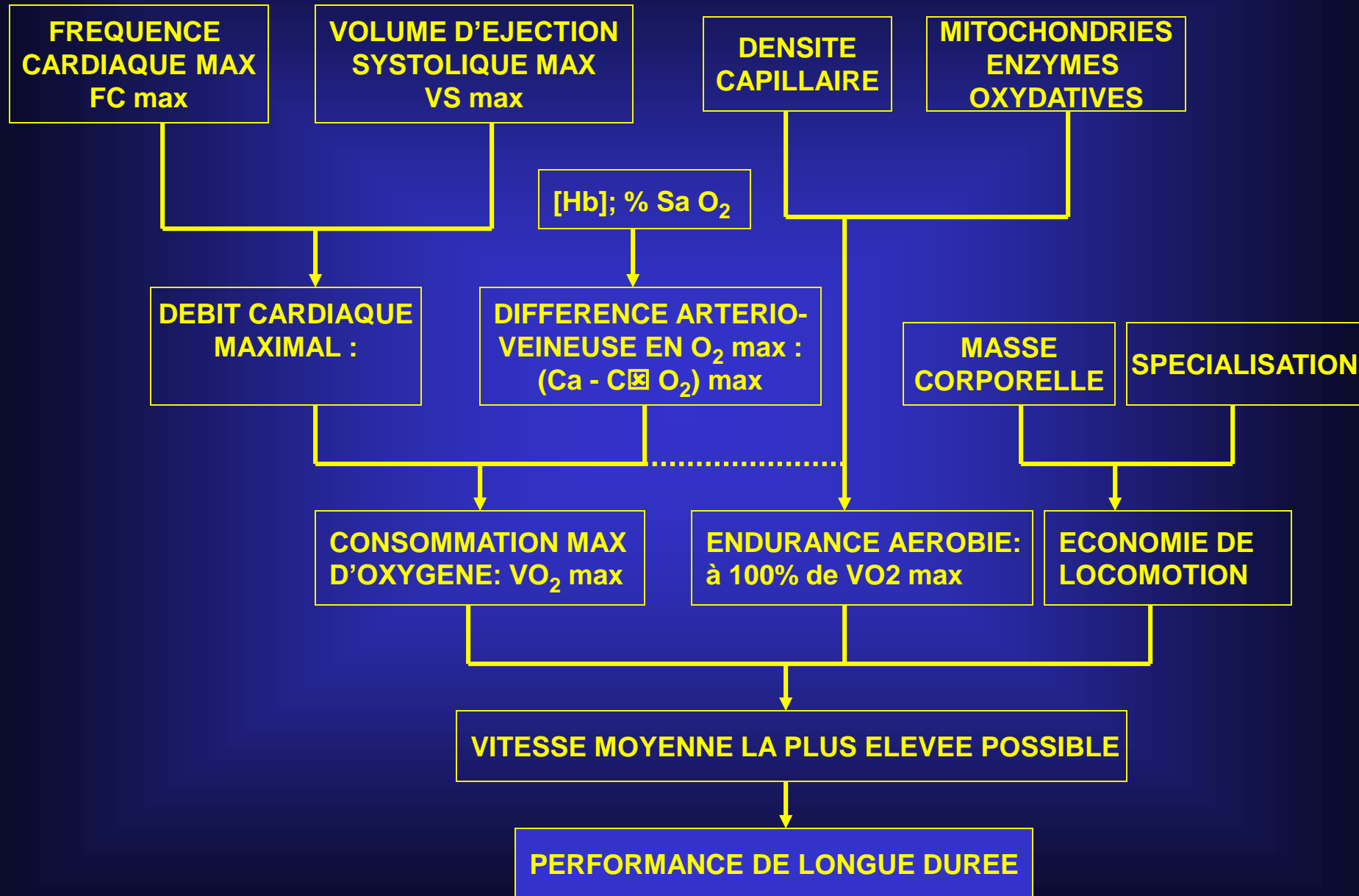
En moyenne l 'enfant présente un moins bon rendement (ou économie de course E.C.) que l 'adulte ce qui se traduit par une plus grande dépense énergétique pour se déplacer à la même vitesse:

Par exemple pour courir à une vitesse de 10 km/h

Age (ans)	E.C.(ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹)
7-9	0.26
10 -11	0.25
14 -15	0.24
16 -18	0.23
18 et +	0.21

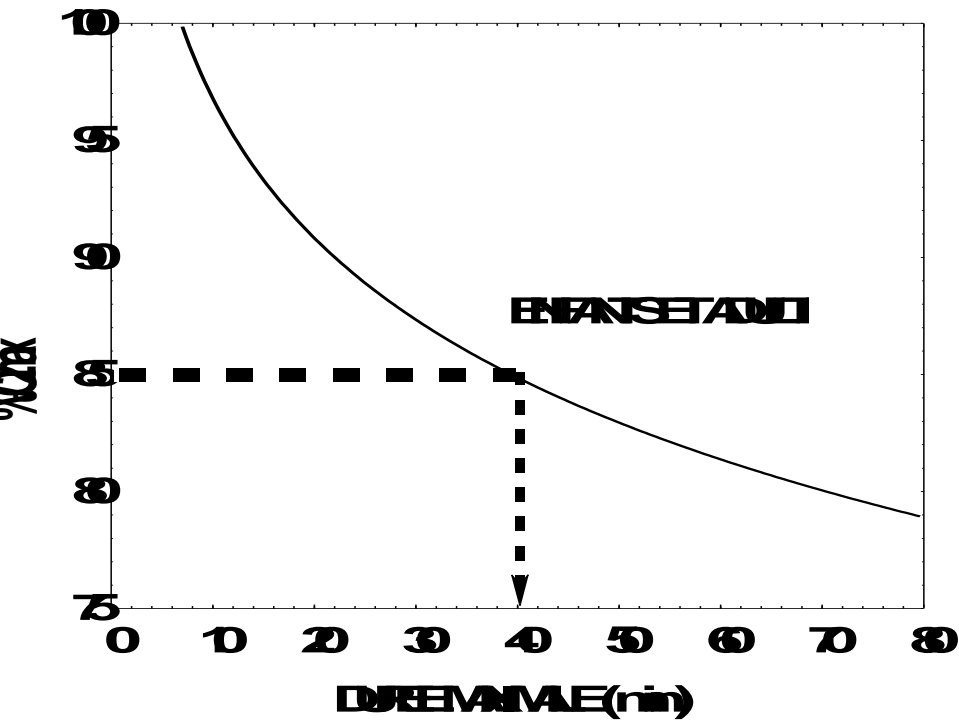
ENDURANCE AEROBIE

FACTEURS PHYSIOLOGIQUES DE LA PERFORMANCE DE LONGUE DUREE

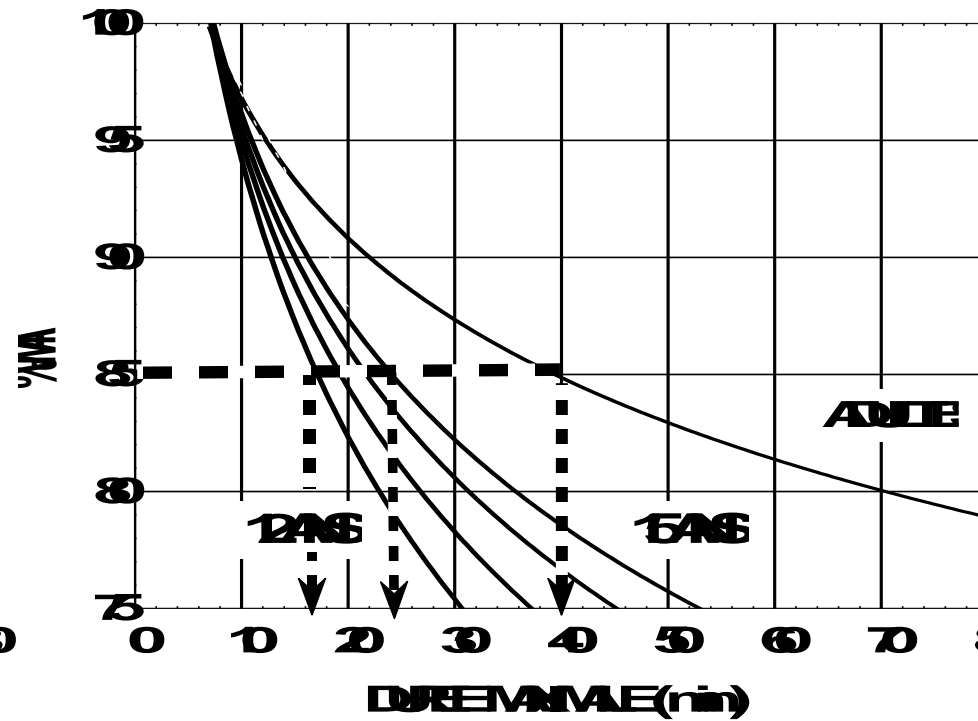


TEMPS LIMITE : %VO₂MAX vs %VMA LORS DE LA CROISSANCE

%VO₂MAX



%VMA



Temps limite: Alors que T_{lim} à %VO₂max est le même chez l'enfant et l'adulte (à gauche), T_{lim} à %VMA est plus court chez le jeune (à droite). A prendre en considération pour fixer la durée des entraînements. Adapté de Berthoin et al., 1996.

2.2 Durée limite à partir d'une épreuve unique

DUREE LIMITE à 100 % de VAM

5 min 12s = temps limite à 100%
obtenu avec des adolescents
(épreuve VAMEVAL)

ENDURANCE AEROBIE				
TRES ELEVEE	ELEVEE	MOYENNE	FAIBLE	TRES FAIBLE
> 15 min.	9 - 11 min.	6 - 8 min.	5 min.	< 4 min.

VAM déterminée avec l'épreuve de course sur piste de Léger et Boucher
(1980)

STRESS THERMIQUE

- L'enfant présente une aptitude moindre à l'échange de chaleur par évaporation, leurs glandes sudoripares produisant moins de sueur que celles de l'adulte.
- L'enfant perd davantage de chaleur par conduction que l'adulte, ce qui augmente le risque d'hypotermie en environnement froid.
- L'enfant est plus sensible que l'adulte aux exercices dans de conditions extrêmes de température.
- L'enfant s'acclimate moins à la chaleur que l'adulte.

QUELQUES BATTERIES DE TESTS POUR EVALUER LES FACTEURS DE LA CAPACITE MOTRICE

**C.A.H.P.E.R. (1980) : Canadian Association for Health,physical Education
and Recreation**

EUROFIT (1985): European Fitness

FRANCE-EVAL (1986) : France Evaluation

EVAREG (1989) : Evaluation Régionale

CAPACITES MOTRICES	C.A.H.P.E.R. (1980)	EUROFIT (1985)	FRANCE-EVAL (1986)	EVAREG (1989)
Endurance musculaire membres sup.	. Suspension bras fléchis	. Suspension bras fléchis	. Tractions bras (G) Suspension bras fléchis (F)	- -
Endurance abdominale	. Sit-up 1 min.	. Sit-up 30 s	- -	- -
Vitesse	. 50 m sprint	- -	. 50 m sprint	. 50 m sprint + 30m lancé
Vitesse-coordination	. Course navette 4 x 10 m	. Course navette 10 x 5 m	. Course navette 10 x 5 m	. Course navette 10 x 5 m
Puissance membres inf.	. Saut long. sans élan	. Saut longueur sans élan	. Saut long. sans élan + détente verticale (Sargent)	Détente verticale
Puissance membres sup.	- -	- -	- -	. Lancer assis MB 3kg
Souplesse	- -	. Assis, flexion avant du tronc	. Debout, flexion avant du tronc	. Debout, flexion avant du tronc
Adresse	- -	- -	. Lancer de 10 balles sur cible	- -
Capacité aérobie	. 800m:6-9ans, 1600m:10-12ans, 2400m:13-17ans	. Navette 20m (Léger et al.) + CT 170	. Navette 20m (Léger et al.)	. Navette 20m (Léger et al.)

L 'EPS scolaire peut-elle permettre
le développement
efficace de la capacité aérobie
(endurance et puissance)
de l 'enfant et de l 'adolescent ?

**POURCENTAGES REPRESENTES PAR LE NOMBRE D'HEURES D'EPS ET LA
DUREE EFFECTIVE D'ACTIVITE MOTRICE D'UN COLLEGIEN DANS UNE ANNEE
CIVILE ET SCOLAIRE**

Nombre d'heures dans une année civile	Nombre d'heures dans une année scolaire	Nombre total d'heures de cours effectifs (26h/semaine)	Nombre total d'heures EPS (3h/semaine)	Durée totale d'activité motrice effective (11 min/h)
8 736 h	6 048 h	936 h	108 h	19 h 48 min.
100 %	69.2 %	10.7 %	1.23 %	0.22 %

EN CONCLUSION...

En fonction de l'âge biologique des enfants et des adolescents, quelles sont les périodes sensibles au développement des principales capacités motrices ?

Périodes	Pré pubertaire		Pubertaire	Post pubertaire : adolescence	
	6 – 8 ans	9 – 11 ans	12 – 14 ans	15 – 17 ans	18 ans et +
Psychomotricité	++++	+++	+		
Apprentissages multiples	+++	++++	+++	++	→ →
Apprentissages techniques	++	+++	+++	++++	++ →
Capacité Aérobie : Endurance	++	+++	+++	+ → →	→ →
Capacité anaérobie lactique : PMA	+	++	++++	+++ →	++ → →
Vitesse-vivacité	++	+++	++++	→ → →	→ → →
Force Musculaire : renforcement général	++	+++	++++	→ → →	→ →
Puissance musculaire : Force max.				++	++++
Endurance musculaire				+++	++++
Souplesse	+	++	++	+++ →	+ → →
	+	++	++++	→ → →	→ → →

L'organisme de l'enfant est capable de s'adapter à toutes les situations que lui offre la pratique sportive.

Par contre, le plus grand danger qui guète l'enfant est plus l'hypo que l'hyperkinésie.

Même en se limitant au développement de sa santé, faire faire du sport à l'enfant devient donc une obligation éducative.

Le problème majeur est de savoir trouver l'activité physique et sportive qui convient le mieux à ses capacités et à ses goûts, de façon à ce que les joies que procurent les pratiques du sport bien adapté ne le privent jamais du plaisir de jouer.

MERCI POUR
VOTRE ATTENTION

