

PLAN DU COURS

3. La motricité volontaire de l'enfance à l'adolescence

3.1. Émergence de la préhension

3.2. La conquête de la verticalité

3.3. Mouvements de pointage et d'atteinte

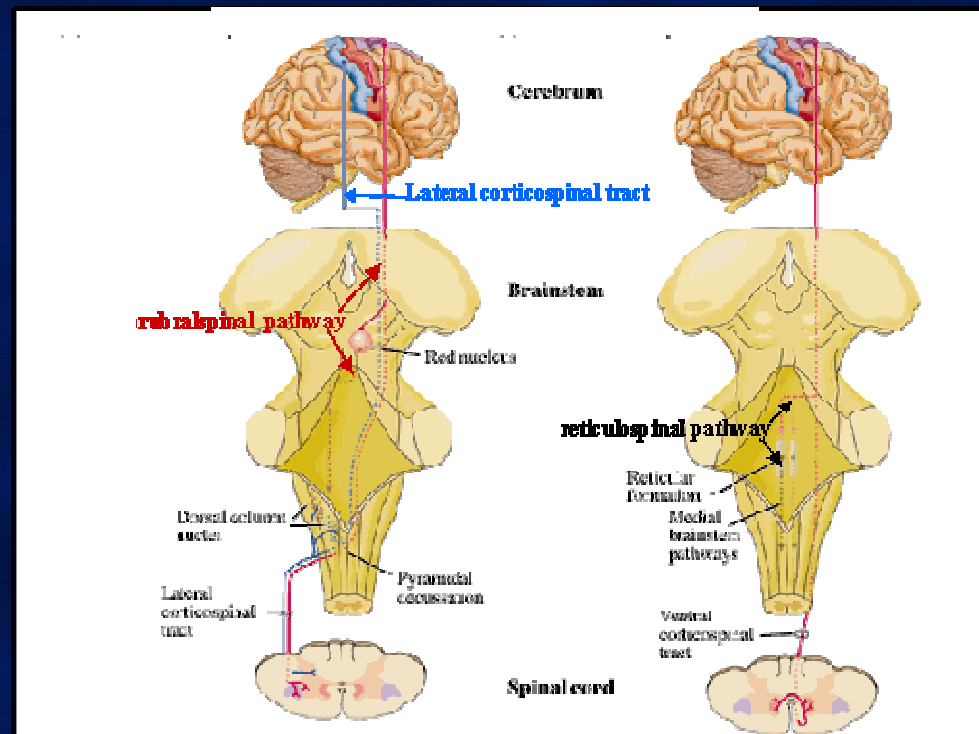
3.4. Les tâches d'interception

3.5. Evolutions posturales et locomotrices

3.6. Coordinations motrices complexes

MOTRICITE VOLONTAIRE

- ❖ La motricité volontaire suppose un déclenchement intentionnel du geste
- ❖ Elle se distingue en cela de la motricité spontanée et de la motricité réflexe



LE DEVELOPPEMENT DE LA PREHENSION

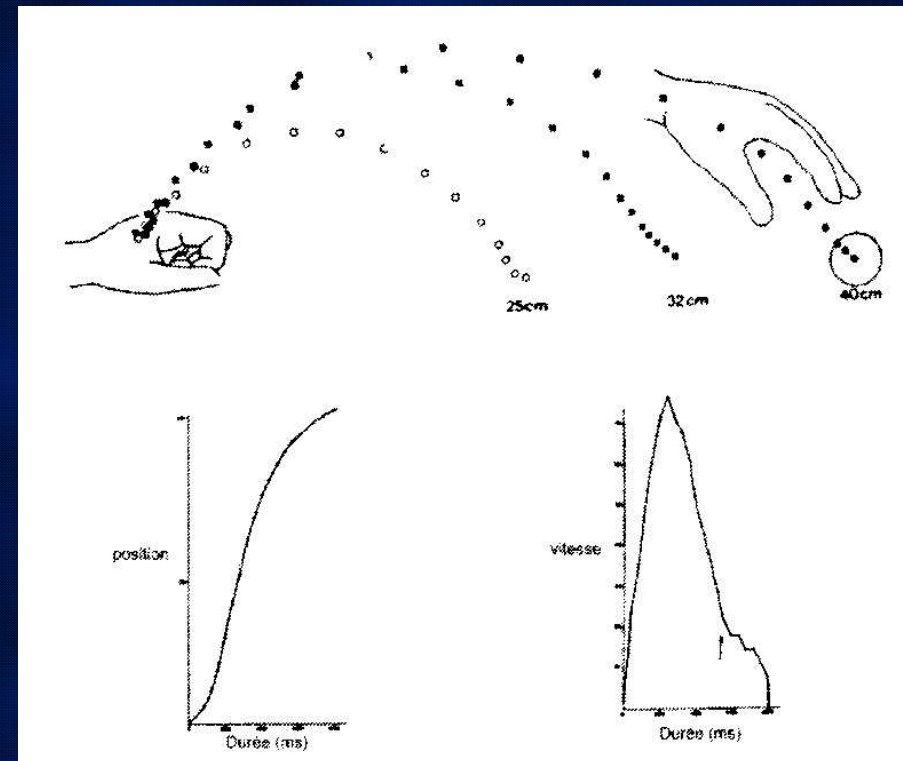
❖ Le geste de préhension implique une coordination motrice complexe

☞ phase de transport du bras

☞ phase d'ajustement de la main

☞ phase de saisie

➤ expression d'une coordination visuo-manuelle



LES PREMIERES APPROCHES VOLONTAIRES

- ❖ Les premiers mouvements d'approche volontaire apparaissent vers 3 mois



Daniel Reaching Out
Aug 2001

12 weeks old

LES PREMIERES APPROCHES VOLONTAIRES

❖ Les premiers mouvements d'approche volontaire apparaissent vers 3 mois

👉 Ils se distinguent nettement des mouvements spontanés d'étirement du bras (pre-reaching)

La main ne s'ouvre qu'en présence d'un objet à attraper

👉 Les *stimuli* en mouvement sont plus propices au déclenchement du geste que les *stimuli* fixes

LES PREMIERES APPROCHES VOLONTAIRES

❖ Les premiers mouvements d'approche volontaire apparaissent vers 3 mois

👉 Les mouvements sont au départ chaotiques et saccadés

L'organisation de la phase de transport devient comparable à celle de l'adulte entre 15 et 24 mois

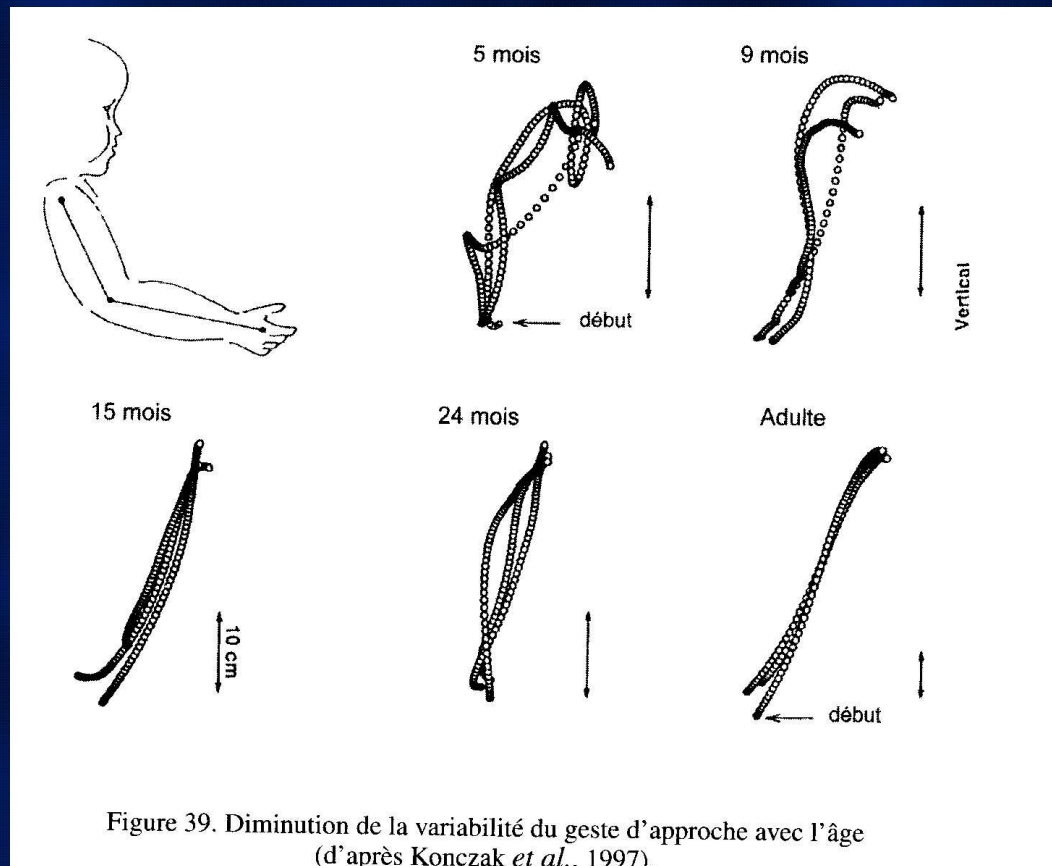
👉 La variabilité spatio-temporelle du geste est très importante

Mouvements non rectilignes et multidirectionnels (cf →)

L'organisation séquentielle "flexion de l'épaule --> extension du coude" (synergie) est acquise vers 24 mois

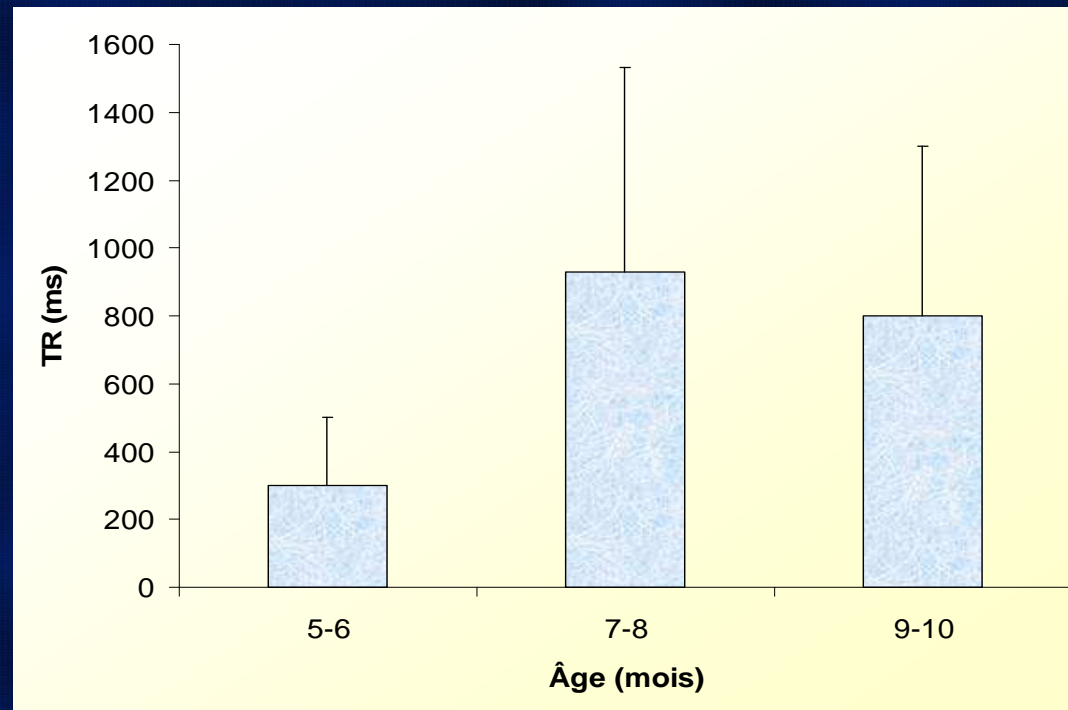
LES PREMIERES APPROCHES VOLONTAIRES

❖ Les premiers mouvements d'approche volontaire apparaissent vers 3 mois



LE DECLENCHEMENT DE LA PHASE DE TRANSPORT

❖ Evolution du Temps de Réaction (TR) d'un mouvement d'approche



👉 Evolution non linéaire du TR avec l'âge

LE DECLENCHEMENT DE LA PHASE DE TRANSPORT

❖ Evolution du Temps de Réaction (TR) d'un mouvement d'approche

👉 L'augmentation du TR autour de 7-8 mois illustrerait le passage d'un mode de contrôle réactif et automatique à un mode de contrôle prédictif

👉 Le déclenchement plus lent du geste d'approche permettrait une meilleure prise en compte des caractéristiques de l'objet

👉 Première réorganisation des relations visuo-manuelles

LE GUIDAGE DE LA PHASE DE TRANSPORT

- ❖ En condition normale, la vision de la main n'est pas indispensable chez le bébé dès lors que l'objet à atteindre est visible
- ❖ Par contre, les bébés de 9 mois sont incapables de corriger leur trajectoire après un déplacement inattendu de la cible alors qu'ils le peuvent s'ils voient leur main
- ❖ La vision de la cible est particulièrement importante entre 7 et 11 mois

EVOLUTION DE LA PHASE D'AJUSTEMENT DE LA MAIN

- ❖ Le bébé adapte la configuration de sa main après avoir touché l'objet jusqu'à 7-8 mois
- ❖ L'ajustement anticipé de l'ouverture de la main à la taille ou à la forme de l'objet n'apparaît pas avant 8-9 mois
- ❖ De même, l'orientation anticipée de la main à l'orientation de l'objet n'apparaît pas avant 9 mois
- ❖ Par contre, les caractéristiques de poids ou de texture de l'objet ne sont prises en compte de manière anticipée qu'autour de 15 mois

EVOLUTION DE LA PHASE DE SAISIE

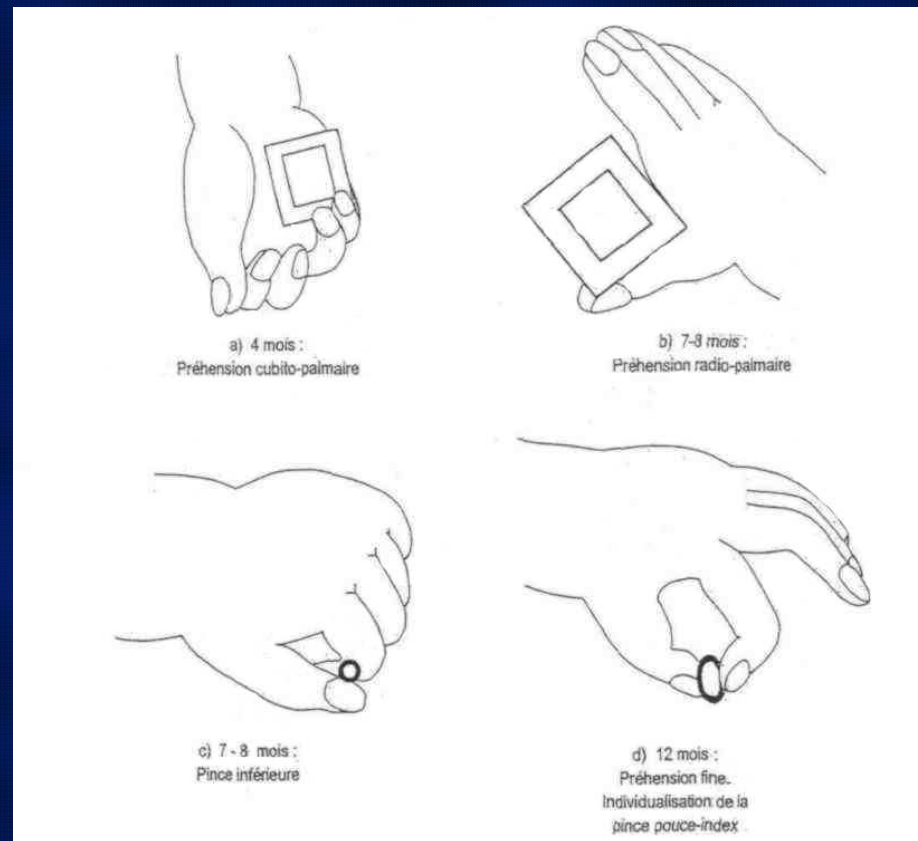
❖ **Transition autour de 20 semaines (4 mois ½) :
d'un stade d'agrippement en force à un stade d'agrippement en précision**

Facteurs invoqués :

- ☞ **Suppression du réflexe d'agrippement**
- ☞ **Amélioration des coordinations visuo-manuelles**
- ☞ **Croissance des doigts**
- ☞ **Maturation du système neuro-musculaire**

EVOLUTION DE LA PHASE DE SAISIE

❖ Transition autour de 20 semaines (4 mois ½) :
d'un stade d'agrippement en force à un stade d'agrippement en précision



LE GESTE GLOBAL DE PREHENSION

- ❖ Couplage adéquat entre phase de transport et phase de saisie



5-6 mois

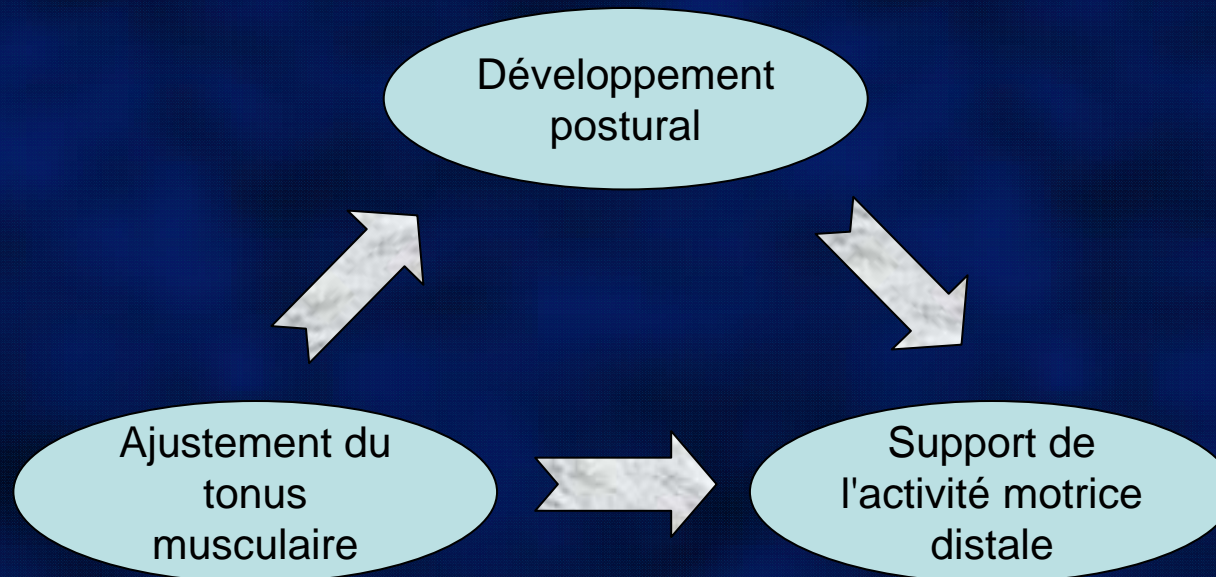
Le bébé attrape les objets pendus

7 mois

Le bébé passe les objets d'une main à l'autre

LE DEVELOPPEMENT DE LA POSTURE

- ❖ La posture est le maintien du corps en équilibre ou dans une position particulière grâce à une action musculaire synergique



LE DEVELOPPEMENT DE LA POSTURE

❖ De la position fœtale à la position assise



0 mois
Position
foetale



1 mois
Menton levé



2 mois
Poitrine
décollée
La tête tient
droite
quelques
instants



3 mois
Le bébé
maintenu
tient sa
tête droite



5 mois
Le bébé
participe
activement au
mouvement
d'assise

LE DEVELOPPEMENT DE LA POSTURE

❖ De la position assise à la station debout



7 mois
Le bébé est capable de s'asseoir seul



8 mois
Le bébé commence à tenir debout avec de l'aide



9 mois
Le bébé tient debout, appuyé aux objets



12 mois
Le bébé se hisse debout



14 mois
Le bébé tient debout seul

EVOLUTION VERS LA MAÎTRISE DE L'EQUILIBRE



❖ Équilibre statique vs équilibre dynamique

Développement non figé à 14 mois

👉 Équilibre statique : maintien de l'équilibre en l'absence de déplacement

Vers 3 ans : l'enfant se tient en équilibre sur un pied quelques secondes

Vers 5 ans : l'enfant peut maintenir la position d'équilibre sur la pointe des pieds

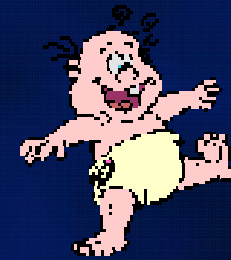
👉 Équilibre dynamique : maintien de l'équilibre en cours de déplacement

Vers 4 ans : l'enfant monte et descend correctement les escaliers

Vers 5 ans : l'enfant saute à cloche-pied mais des différences subsistent selon le pied dominant

EVOLUTION VERS LA LOCOMOTION

❖ Quelques repères



7 mois
Le bébé
rampe

9-10 mois
Le bébé
marche à
quatre pattes



11 mois
Le bébé
commence à
marcher avec
une aide



13 mois
Le bébé
grimpe les
escaliers



14-15 mois
Le bébé
marche seul

LA COORDINATION VISUO-MANUELLE

❖ Elle décrit le fonctionnement du système responsable du pointage, de la réception et de la manipulation d'objets avec la main à partir d'entrées visuelles.



LA COORDINATION VISUO-MANUELLE

❖ Outils d'analyse :

👉 Chronométrie mentale

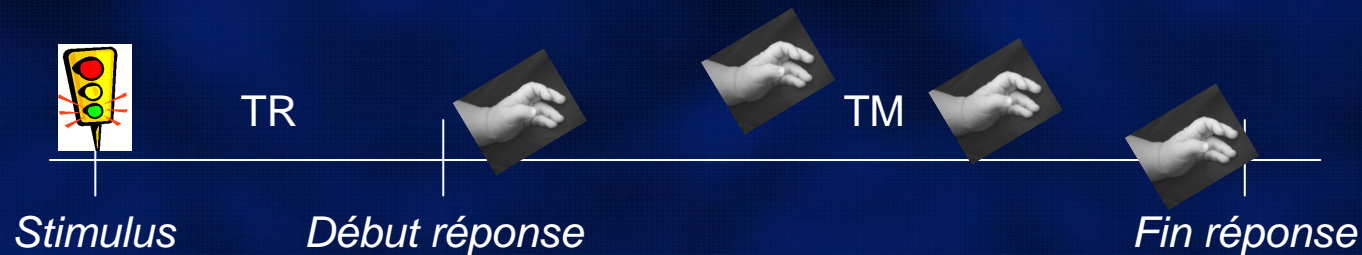


TR = période séparant la présentation du stimulus du début de la réponse motrice

✓ Inférence sur le temps de traitement de l'information préparatoire à l'action et les caractéristiques de programmation du geste

TM = période séparant le début et la fin de la réponse motrice

✓ Inférence sur la nature de la programmation et les caractéristiques d'exécution du geste



LA COORDINATION VISUO-MANUELLE

❖ Outils d'analyse :

👉 Analyse cinématique

Profil de déplacement

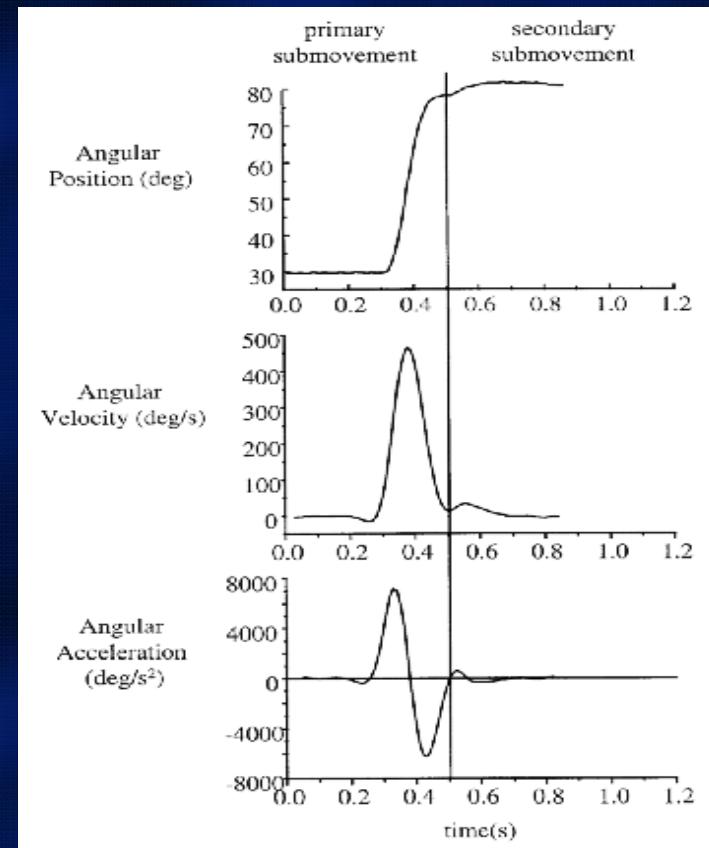
-> séquences de trajectoire

Profil de vitesse

-> corrections en cours de mouvements

Profil d'accélération

-> reprogrammation motrice

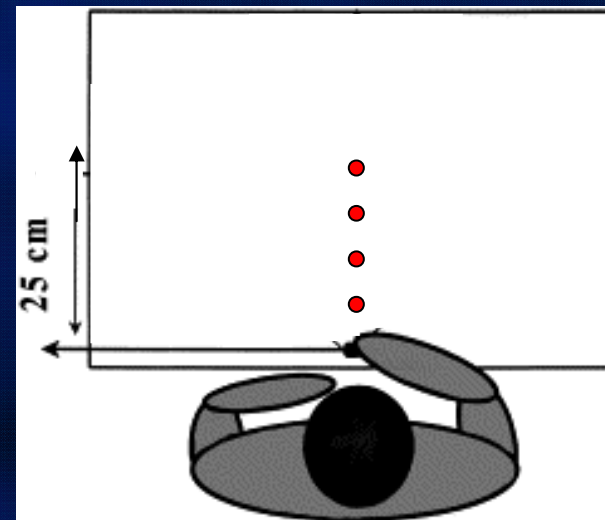


POINTAGE VISUO-MANUEL SUR CIBLES FIXES

❖ Pointages discrets

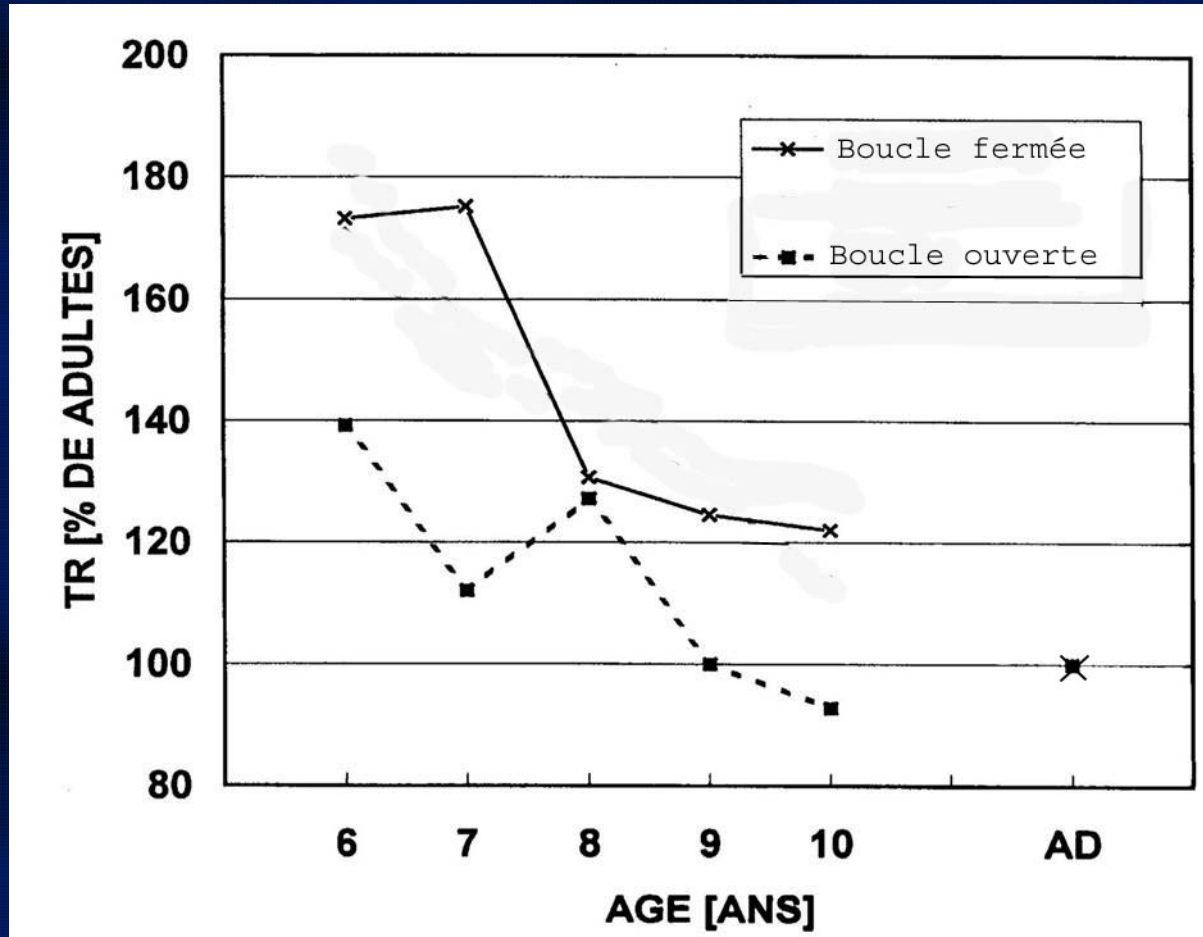
- ✓ Cibles placées dans le plan médian
- ✓ groupes d'âge : 6, 7, 8, 9, 10, adultes
- ✓ Vision de la main (boucle fermée) vs. absence de vision de la main (boucle ouverte)

👉 Vitesse du traitement préparatoire à l'action (TR) en fonction de l'âge



Hauert (1999)

PREPARATION DU POINTAGE VISUO-MANUEL



Hauert 1999

PREPARATION DU POINTAGE VISUO-MANUEL

❖ Principales caractéristiques et principaux résultats des tâches évoquées

✓ Les discontinuités développementales observées pourraient résulter d'une réorganisation sensorimotrice du transcodage de l'espace visuel à l'espace moteur.

✓ Cette dernière opération deviendrait beaucoup plus efficace :

➤ *entre 7 et 8 ans pour des pointages en boucle fermée*

➤ *après 8 ans pour des pointages en boucle ouverte*

CONTRÔLE DU POINTAGE VISUO-MANUEL

❖ Informations sensorielles et contrôle du mouvement

✓ De façon générale, les jeunes enfants éprouvent de la difficulté à incorporer des feed-back sensoriels dans le contrôle du geste au cours du mouvement.



✓ Les informations visuelles permettent de spécifier les paramètres spatiaux du geste à produire (cf partie précédente).

✓ C'est autour de 7-8 ans que l'absence de vision de la main affecte le plus la précision des mouvements de pointage.

CONTRÔLE DU POINTAGE VISUO-MANUEL

❖ Informations sensorielles et contrôle du mouvement

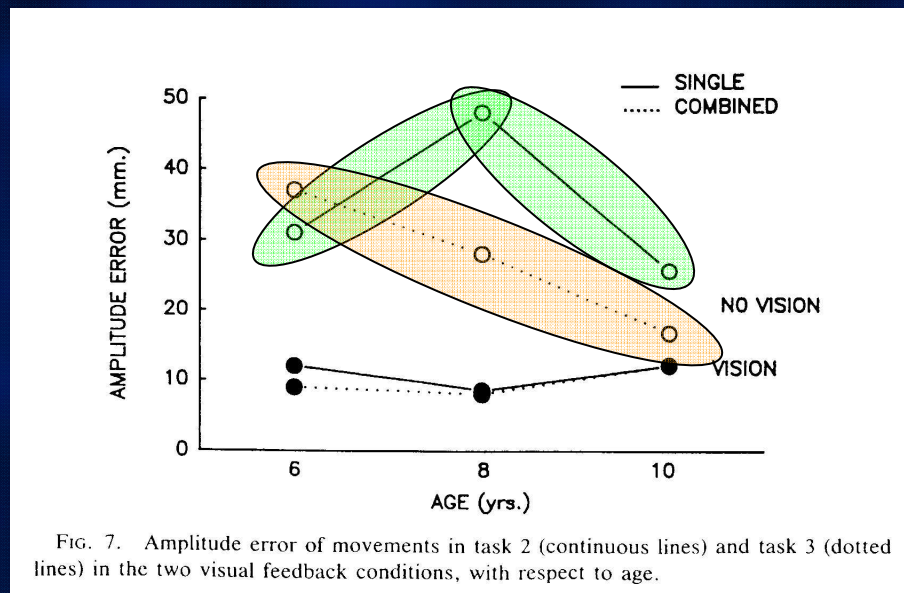


FIG. 7. Amplitude error of movements in task 2 (continuous lines) and task 3 (dotted lines) in the two visual feedback conditions, with respect to age.

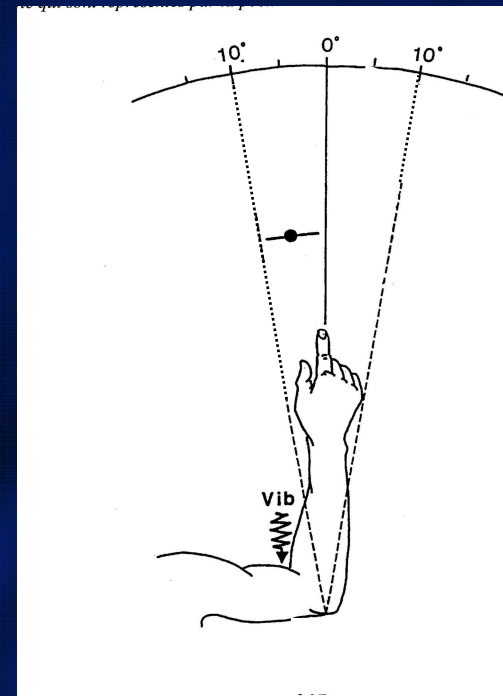
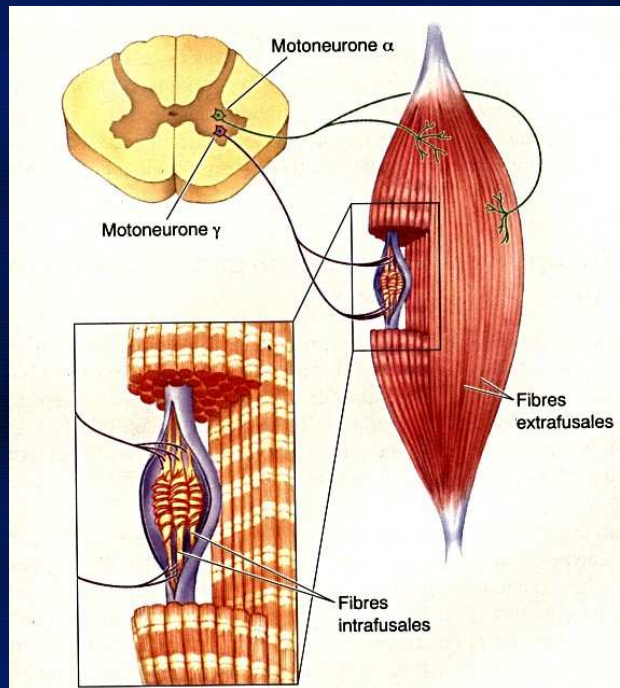
La précision en amplitude du pointage en boucle ouverte montre une évolution non monotone entre 6 et 10 ans

Bard, Hay & Fleury 1990

CONTRÔLE DU POINTAGE VISUO-MANUEL

❖ Informations sensorielles et contrôle du mouvement

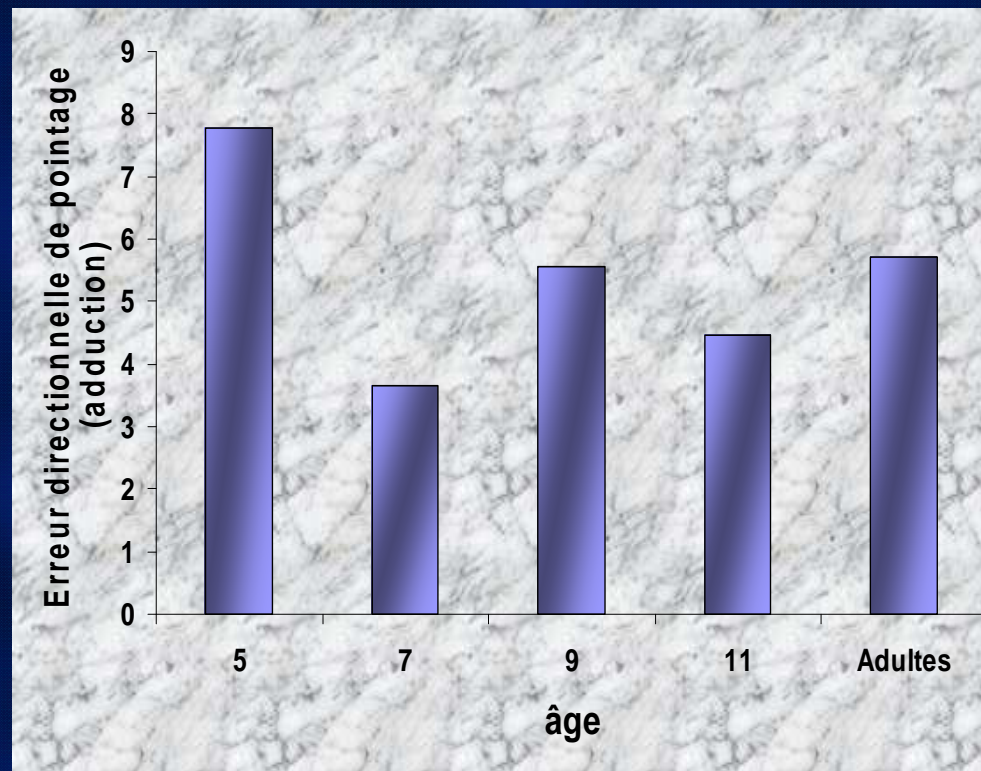
✓ Les informations proprioceptives sont considérées comme déterminantes dans la perception du mouvement chez les adultes.



CONTRÔLE DU POINTAGE VISUO-MANUEL

❖ Informations sensorielles et contrôle du mouvement

- ✓ Vibration appliquée sur le tendon du biceps brachial pendant le pointage à ≠ âges



*Hay & Bard
1999*

CONTRÔLE DU POINTAGE VISUO-MANUEL

❖ Informations sensorielles et contrôle du mouvement

✓ Vibration appliquée sur le tendon du biceps brachial pendant le pointage à \neq âges

👉 La proprioception joue un rôle important dans le contrôle des coordinations visuo-manuelles dès l'âge de 5 ans

👉 Les enfants de 5-6 ans utiliseraient d'avantage l'information proprioceptive pour contrôler leur mouvement de pointage

👉 Entre 7 et 9 ans, la vision jouerait un rôle plus important dans le contrôle du mouvement

👉 Vers 11 ans, les deux sources d'afférences semblent interagir permettant une meilleure efficacité du contrôle moteur

LES HABILETES D'INTERCEPTION

☞ Contraintes organiques et environnementales

Caractéristiques de l'individu Propriétés physiques du milieu



☞ Fenêtre spatio-temporelle d'interception

✓ Action simultanément précise dans l'espace et dans le temps

Amener l'effecteur (la main) au bon endroit au bon moment



LES PREMIERS COMPORTEMENTS D'INTERCEPTION

❖ Vers 3 ans, le jeune enfant est capable d'attraper un ballon les bras tendus vers l'avant



❖ Les premiers vrais comportements d'interception d'un objet en mouvement apparaissent vers 5 ans (L'enfant attrape une balle qu'on lui lance de ses 2 mains vers 5 ans)



❖ La capacité d'intercepter une balle en mouvement d'une seule main ne se développe qu'autour de 6-7 ans



CAPTURE DE BALLE UNIMANUELLE

👉 Etude de la capture de balle unimanuelle chez des enfants de 7 à 11 ans

✓ Rapport entre le nombre de contacts balle-main et le nombre de captures réussies
+ analyse cinématique et chronométrique

Le phase de déplacement de la main ne semble pas poser de gros problèmes chez les plus jeunes (7 ans)

La phase de saisie se révèle beaucoup plus délicate à réaliser (retard de 10 à 15 ms lors de la fermeture de la main)



Alderson (1974)

CAPTURE DE BALLE UNIMANUELLE

👉 Etude de la capture de balle unimanuelle chez des enfants de 7 à 11 ans

✓ Le déficit mesuré lors de la phase de saisie est interprété en termes d'inefficacité de la détermination du "temps restant avant contact balle-main"

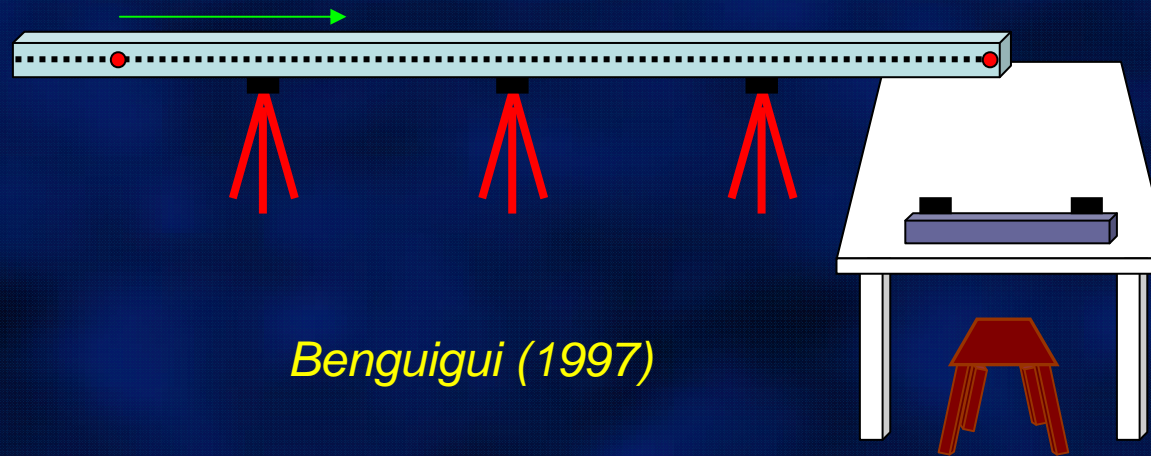
✓ Les habiletés de jugement perceptif seraient donc déterminantes dans la performance des actions d'interception

✓ Quelle est la part de l'expérience des enfants sur le développement de ces habiletés perceptives ?

HABILETES PERCEPTIVES DE TIMING SPATIO-TEMPOREL

👉 tâche d'anticipation - coïncidence

✓ Estimation du moment d'arrivée d'un mobile sur une cible avec occultation visuelle



Benguigui (1997)

HABILETES PERCEPTIVES DE TIMING SPATIO-TEMPOREL

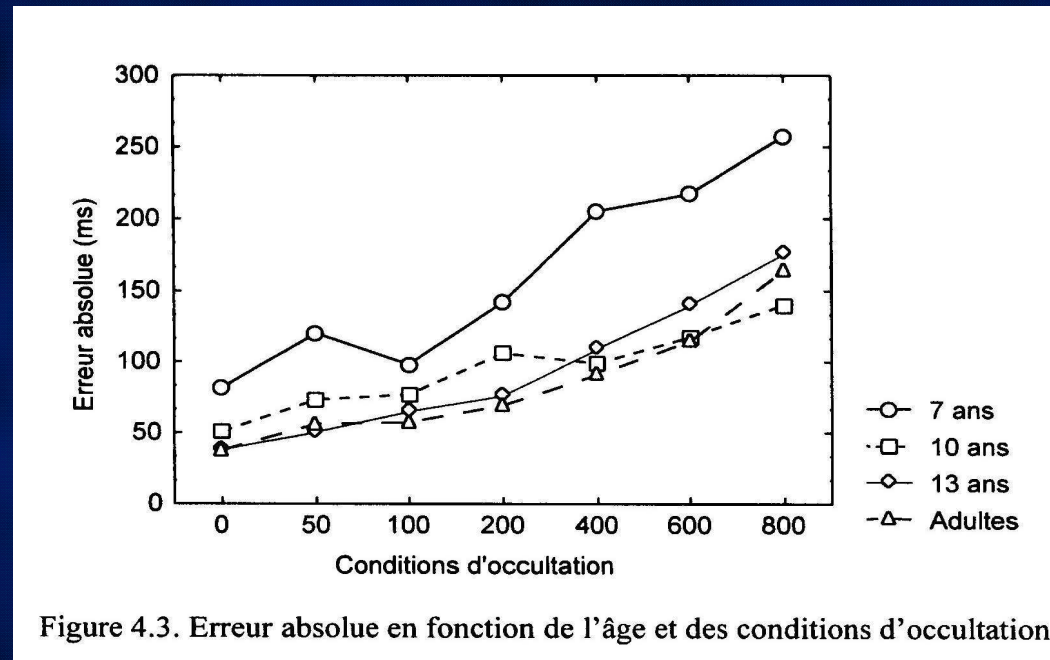


Figure 4.3. Erreur absolue en fonction de l'âge et des conditions d'occultation.

- ✓ Les enfants de 7 ans sont moins précis dans leur jugement que les sujets âgés pour les occultations les plus longues.
- ✓ Aucune différence n'est apparue en fonction de la pratique d'une activité sollicitant fortement les habiletés d'interception.

LES AJUSTEMENTS POSTURAUX

❖ Ajustements posturaux consécutifs (APC) ou réactionnels

☞ **But :** Préservation de l'équilibre à la suite d'une perturbation

❖ Ajustements posturaux anticipés (APA) ou pro-actifs

☞ **But :** Réduction des perturbations de l'équilibre induites par le mouvement
Contribution à l'exécution du mouvement (coordinations posturo-cinétiques)

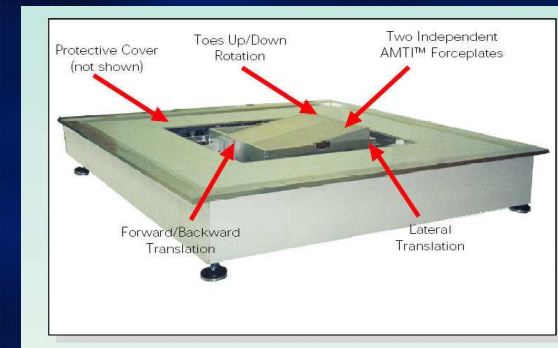


AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Chez les enfants âgés de 3 à 5 mois :



Réactions posturales
céphaliques spécifiques
modulées en fonction de la
direction et de la vitesse
du flux optique



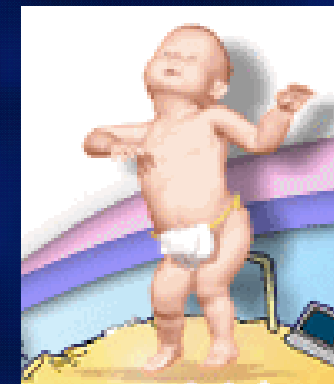
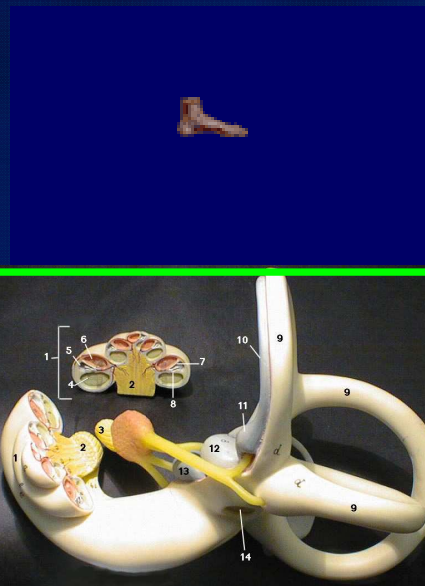
Réactions posturales
céphaliques limitées et non
systématiques chez le
bébé assis : direction et
latence variables

AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Chez les enfants âgés de 3 à 5 mois :

☞ Rôle important de la perception visuelle dans le développement initial du contrôle de tête.

☞ Cette perception visuelle servirait de base au processus de calibration des autres entrées sensorielles impliquées dans le contrôle postural.

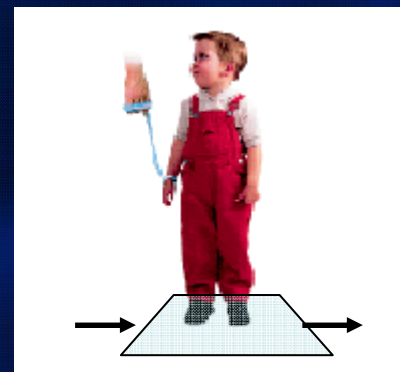


AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Entre 12 et 24 mois

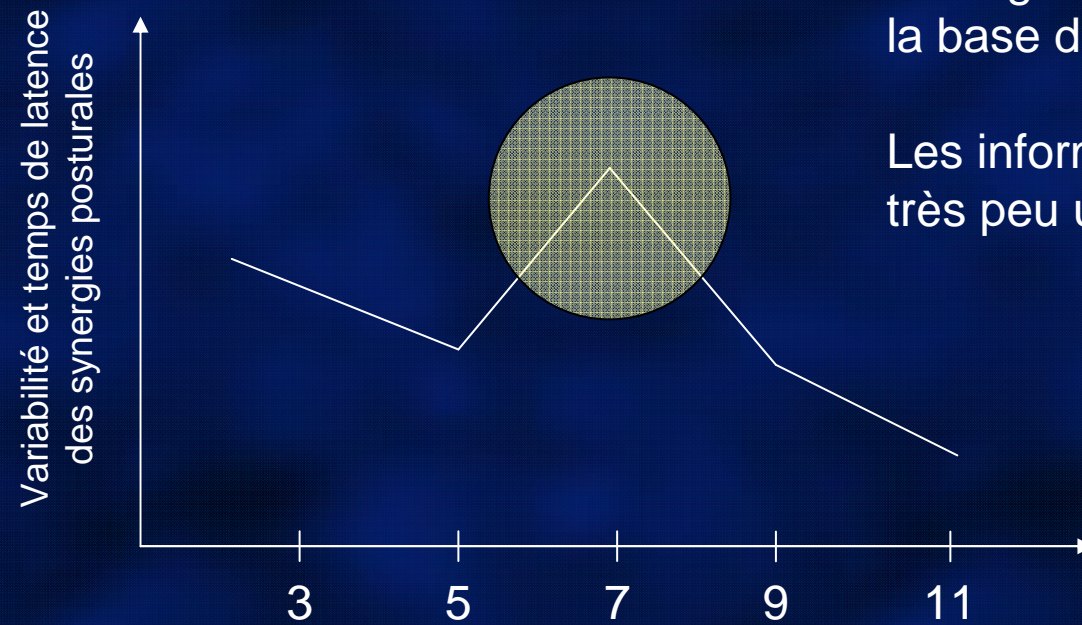
A la suite d'une perturbation mécanique :

- ☞ Les réponses posturales apparaissent dans les muscles des jambes dès que la station debout est acquise
- ☞ Vers 2 ans, l'activité séquentielle des muscles des jambes ressemble aux synergies posturales chez l'adulte (latences plus longues et variables)



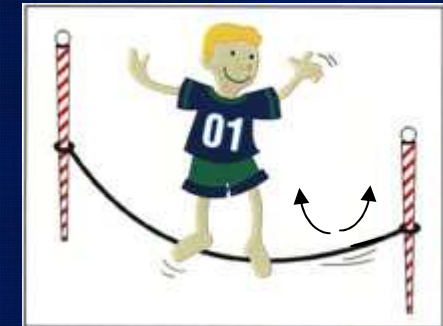
AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Entre 2 et 11 ans



L'enfant essaie de nouvelles stratégies de contrôle de l'équilibre sur la base d'informations non visuelles

Les informations visuelles seraient ici très peu utilisées pour réguler l'équilibre



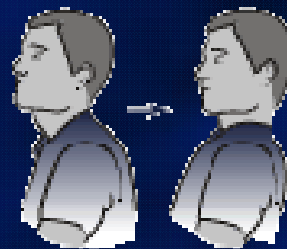
Debû & Woollacott (1988)

AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Entre 11 et 16 ans

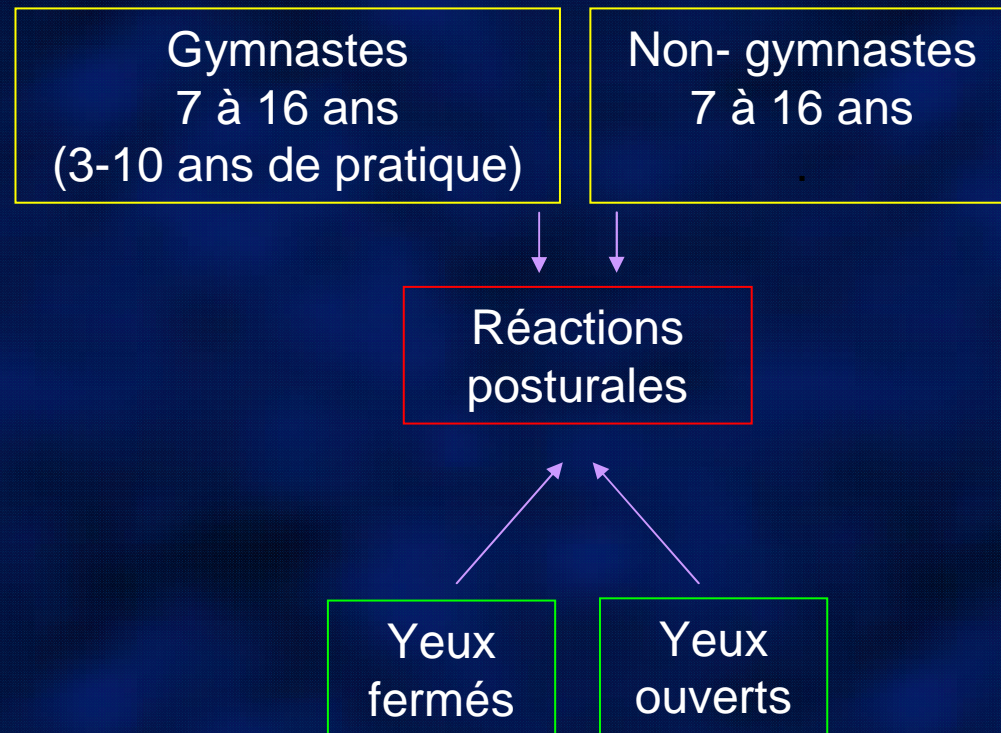
☞ Les réponses posturales apparaissent stabilisées au niveau des muscles des jambes.

☞ On observe une réduction des latences dans les réponses observées au niveau des muscles du cou.



AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Influence de la pratique physique



AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Influence de la pratique physique

👉 **Chez les gymnastes les plus jeunes** (7 ans et 2-3 ans de pratique), les latences des réponses musculaires du tronc et du cou sont fortement diminuées et sont comparables à celles de l'adulte

👉 Pas d'effet de la pratique sur les latences des réponses musculaires des membres inférieurs



AJUSTEMENTS POSTURAUX CONSECUTIFS

❖ Influence de la pratique physique

☞ **Chez les gymnastes**, l'absence d'entrée visuelle n'a aucun effet sur les latences des réponses posturales mesurées

☞ A l'inverse, **chez les non-gymnastes**, la suppression des informations visuelles affecte ces latences dans le cas de déséquilibres arrières



AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPES

❖ Avant l'âge de 4 ans

☞ L'étude des APA chez des jeunes enfants est difficile du fait de la nécessité de produire un mouvement standardisé pour les mettre à jour

☞ néanmoins, certaines études ont montré que les APA ne seraient pas présents lors de la phase initiale de développement du mouvement volontaire

Vers 9 mois : Aucune action anticipée des muscles du tronc associée à un mouvement de projection du bras vers un objet



AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPES

❖ Après l'âge de 4 ans

👉 L'évaluation des conséquences des mouvements volontaires sur l'équilibre servirait de base à l'élaboration des coordinations posturo-cinétiques

Tirer ou pousser une poignée en réponse à un stimulus lumineux



Activation des muscles de la jambe avant celle du biceps ou du triceps



Mouvement d'élévation du bras



Déplacement du CP avant le début du mvt dans 56% des essais à 4 ans

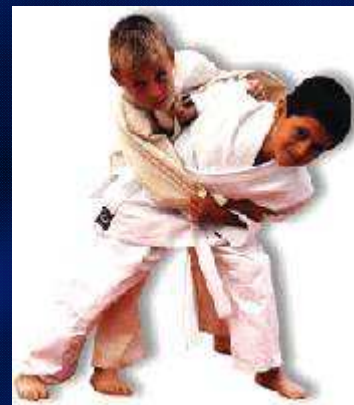
Les séquences temporelles d'activation très variables se stabilisent à partir de 6 ans

AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPES

❖ Influence de la pratique physique

☞ L'activité physique diminuerait la variabilité dans l'organisation temporelle des APA

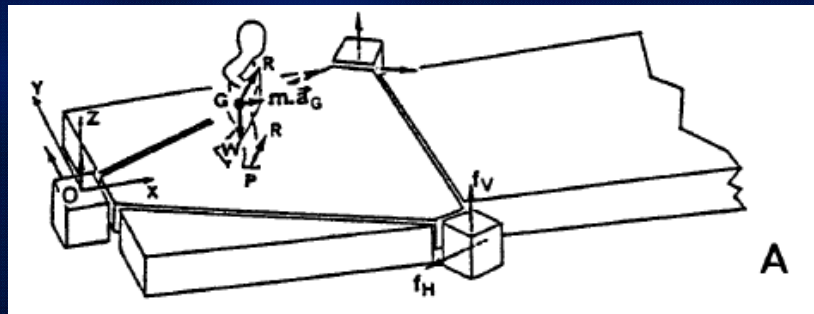
☞ Elle permettrait de moduler les latences de déclenchement des APA en fonction de la difficulté de la tâche



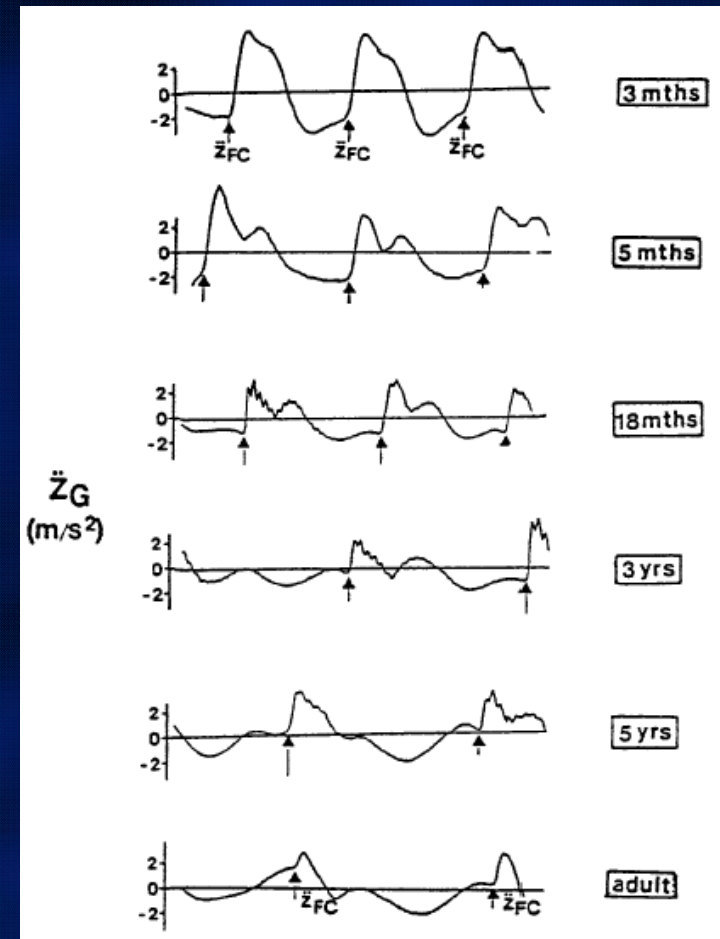
DEVELOPPEMENT LOCOMOTEUR

❖ Accélération verticale du centre de masse

☞ Index du contrôle postural antigravitaire lors de la marche



Bril & Brenière (1998)



DEVELOPPEMENT LOCOMOTEUR

❖ fruit de l'interaction entre maturation neuromusculaire et apprentissage

☞ La maîtrise de l'équilibre postural dynamique sous-tend les habiletés locomotrices

L'enfant marche en tombant alors que l'adulte tombe en marchant

☞ Le patron locomoteur de l'enfant ne devient comparable à celui de l'adulte qu'après 7 ou 8 années d'expérience

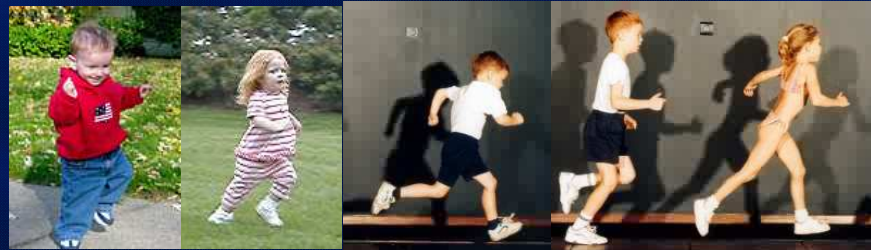


DEVELOPPEMENT LOCOMOTEUR

❖ La course

👉 Le jeune enfant commence à courir dans la foulée de l'acquisition de la marche autonome (entre 16 et 18 mois)

- ✓ Trottinement saccadé et rattrapage de déséquilibre à 2 ans
- ✓ Plus grande fluidité vers 3 ans mais perturbations liées aux changements de direction et aux irrégularités du sol
- ✓ Evolution → 7-8 ans : diminution de la fréquence : ↗ travail mécanique externe et ↘ travail mécanique interne ; synergies plus stables



LES COORDINATIONS MOTRICES COMPLEXES

- ❖ **Se développent sur la base des habiletés fondamentales (loi de succession)**
(posture - marche - préhension)

Quelques grandes caractéristiques d'évolution :

- ☞ **Adaptation du nombre de degrés de libertés du mouvement ;
évolution des synergies et des mouvements coordonnés**
- ☞ **Amélioration du timing d'exécution**
- ☞ **Modification de l'amplitude gestuelle**
- ☞ **Augmentation de la vitesse d'exécution**

LES COORDINATIONS MOTRICES COMPLEXES

👉 Exemple du dribble :



Vers l'apprentissage des habiletés complexes...

LES COORDINATIONS MOTRICES COMPLEXES

👉 Exemple du lancer :

