

**Soutenance de thèse en vue de l'obtention du Doctorat.**

# **La traversée de rue chez le piéton senior :**

**Conception d'un simulateur, étude biomécanique et comportementale.**

Discipline, Spécialité

**Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, Biomécanique.**

Présentée à

**L'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis**

Par

**Julie DELZENNE**

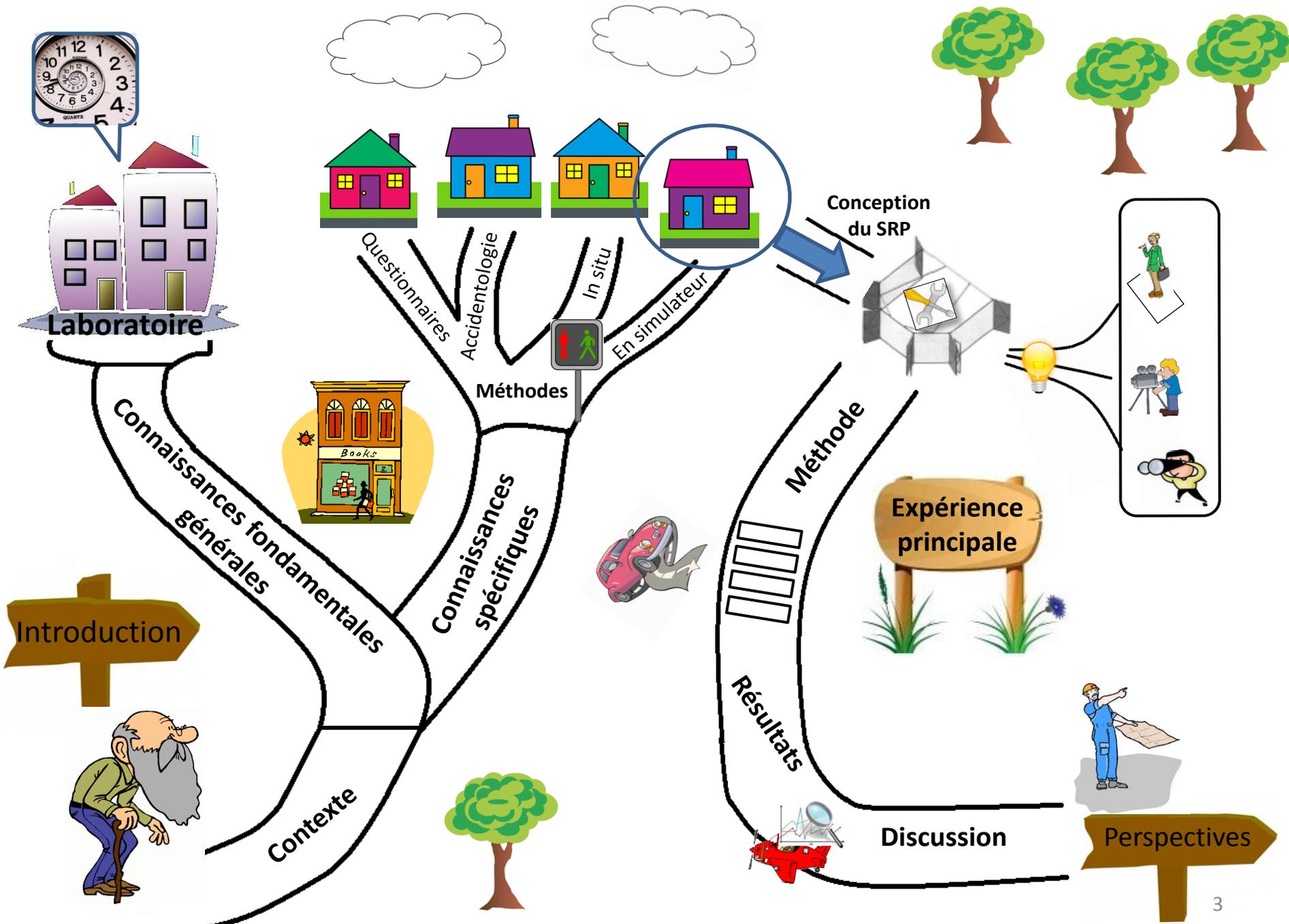


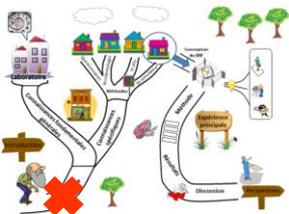
## PLAN CLASSIQUE

- I. Introduction
- II. Matériels et méthode
- III. Etude 1
- IV. Etude 2
- V. Etude 3
- VI. Synthèse et perspectives

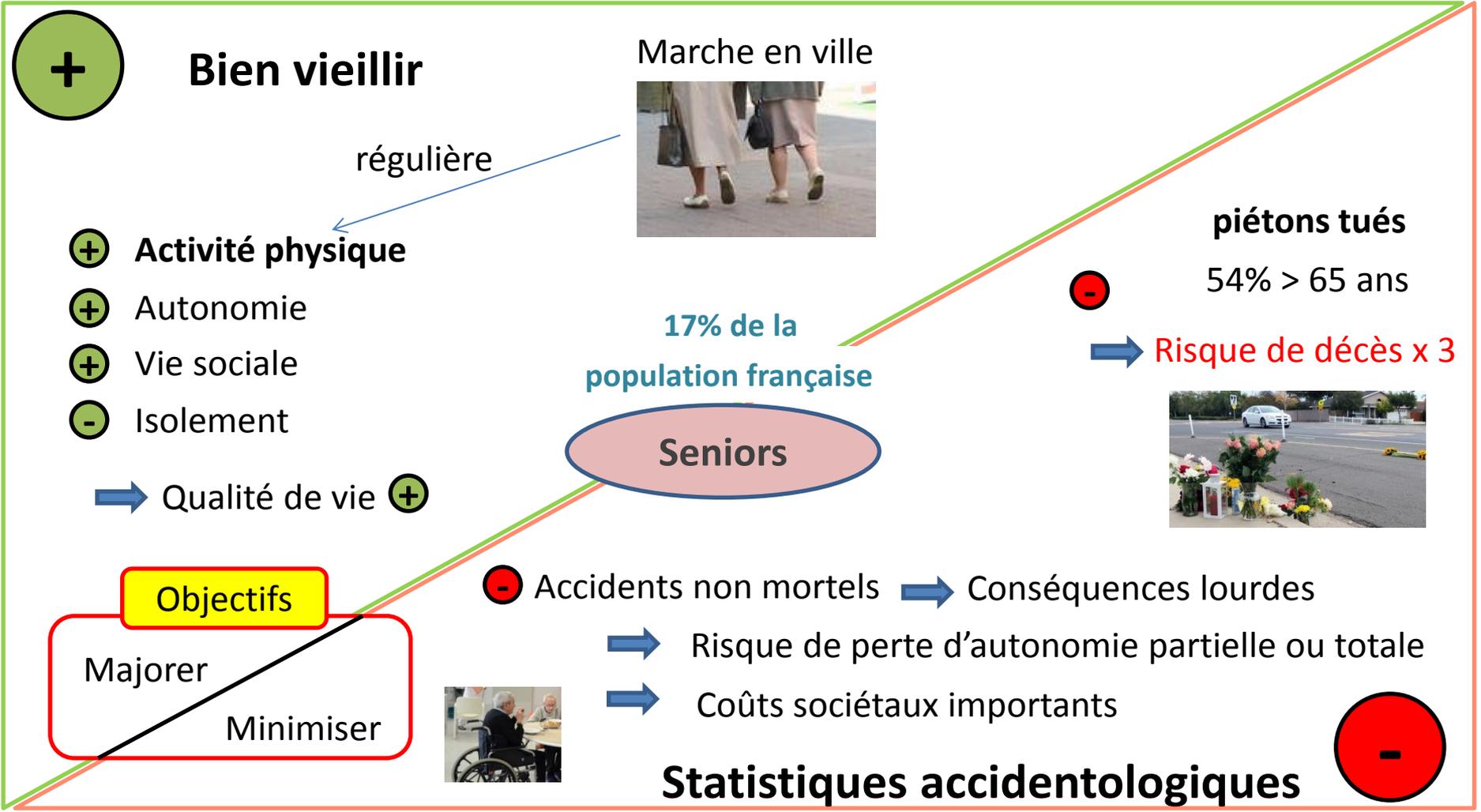
## CHEMINEMENT

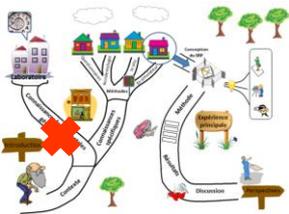






# Contexte

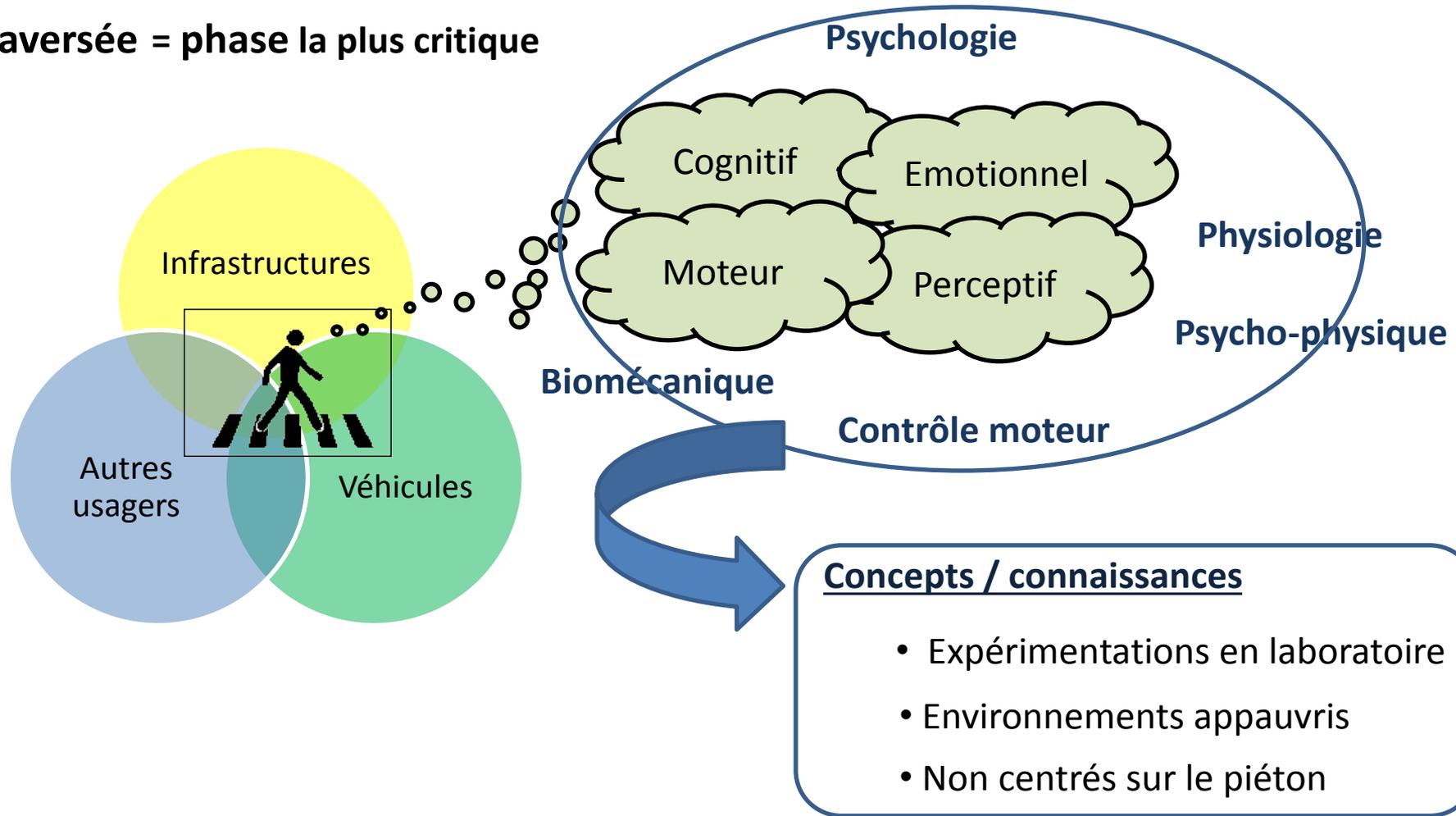


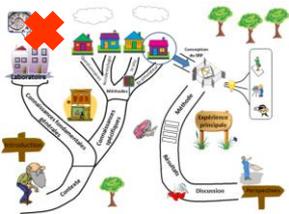


# Connaissances fondamentales

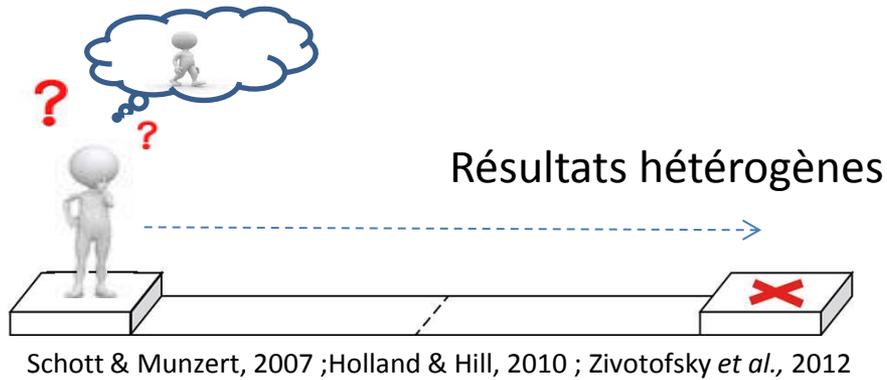


**Traversée = phase la plus critique**





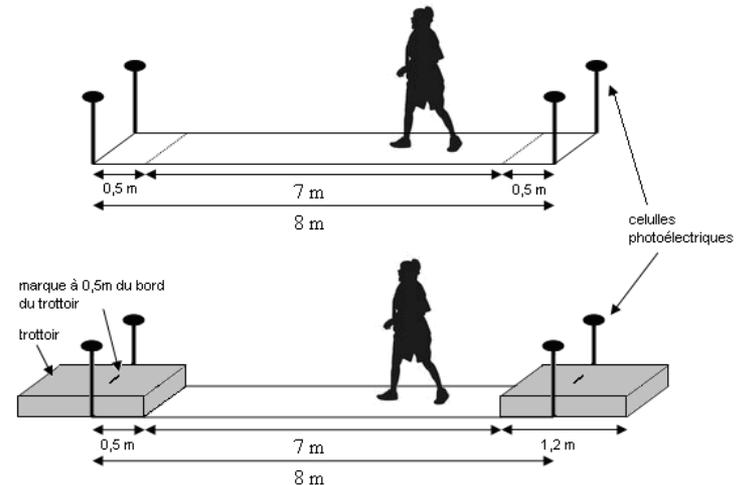
# Auto-évaluation de la durée de la traversée



## Environnement appauvri



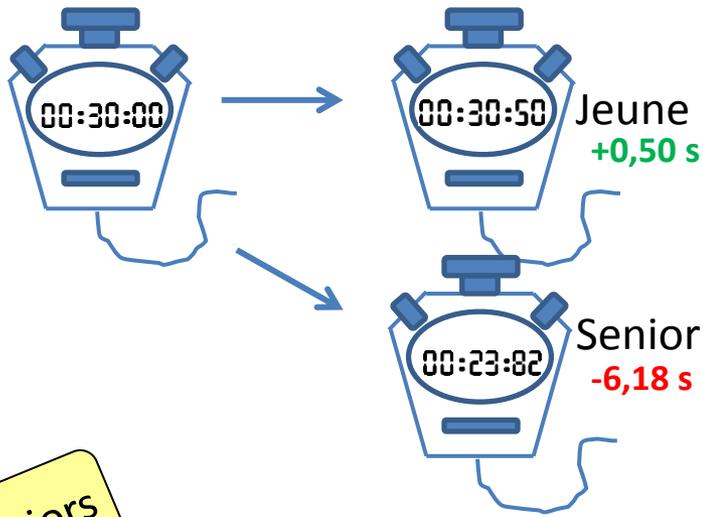
## Comparaison du temps de traversée réelle vs imaginée



# Auto-évaluation de la durée de la traversée



Tâche de production de durées

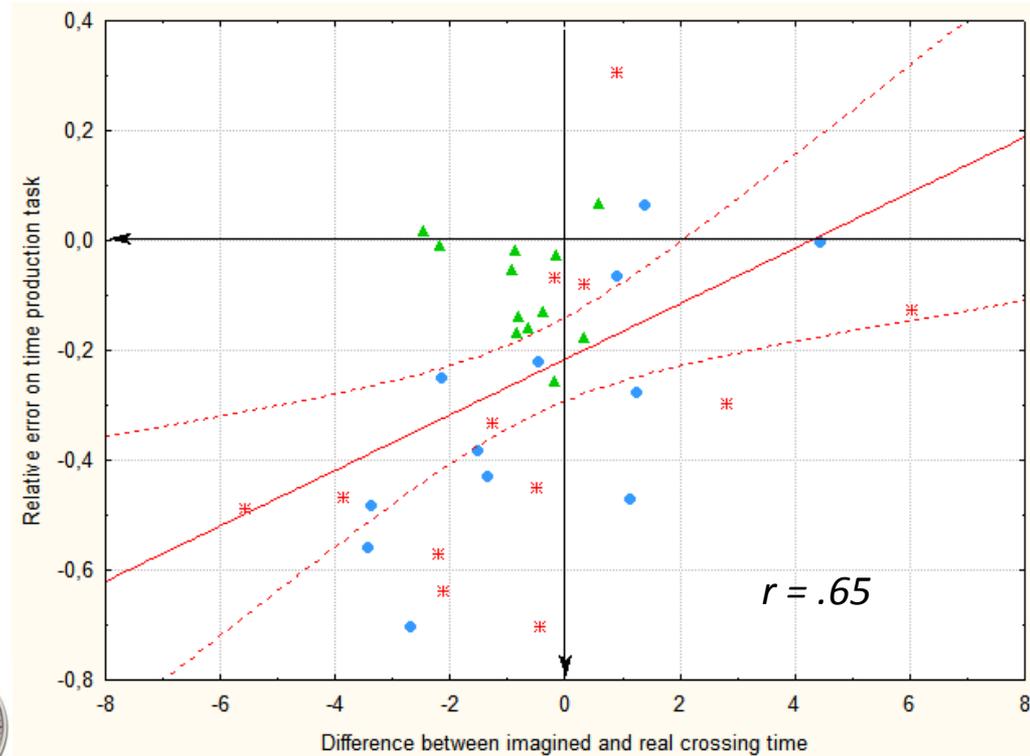


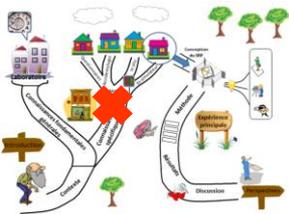
Seniors

Durées plus courtes traduiraient une augmentation de la vitesse d'une horloge interne



Jeunes vs Seniors (60-74 ans et 75 ans et +)





# Méthodes disponibles



**190 articles centrés sur le piéton**

**Questionnaires**

- 👍 Nb important de répondants
- 👎 Biais de réponse

**Accidentologie**

- 👍 Faits réels
- 👎 Mais passés
- 👎 Informations imprécises

**Études In Situ**

- 👍 Écologiques + + +
- 👎 Situations critiques non réalisables
- 👎 Reproductibilité difficile du trafic
- 👎 Pas de modulation

**Études en simulateurs**

- 👍 Écologiques
- 👍 Reproductibilité +++
- 👍 Tester de nouveaux scénarios
- 👍 Sécurité du participant
- 👎 Études en laboratoire

**Approche biomécanique possible**

**CHOIX : étude en simulateur**

**Approche expérimentale**  
**VI a priori : modulation précise des intervalles de temps**

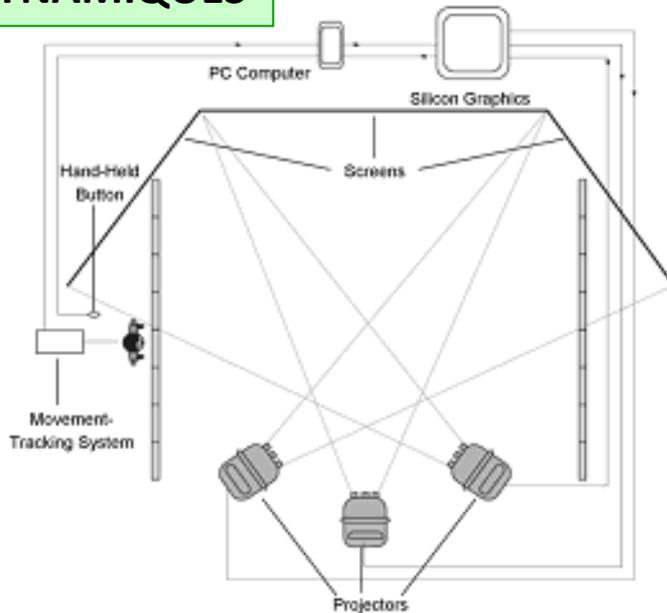


# Les simulateurs



Littérature sur les simulateurs : ➡ Différents types

## DYNAMIQUES



➡ Analyse de la marche possible mais non réalisée

# Les simulateurs



Littérature sur le piéton et sur les simulateurs :

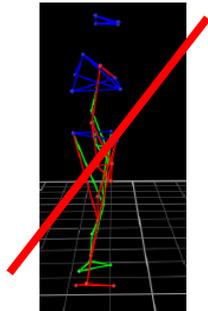


= Etude comportementale

Psychologie

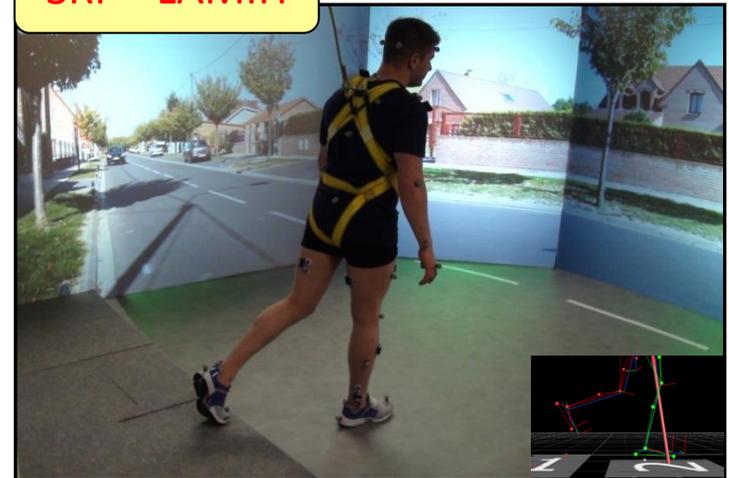


Pas d\'analyse  
fine du  
mouvement



*Solution*

SRP - LAMIH





# Le SRP



Immersion > à 180°

Images réelles ou virtuelles

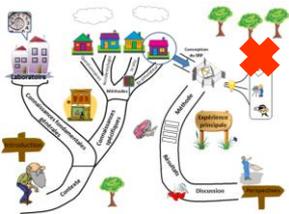
Bord de route modulable

Harnais de sécurité

Déplacements  
effectifs quantifiés

- Enregistrement 3D du mouvement
- Électromyographie & posturographie
- Approche comportementale globale

Autres recueils possibles  
(Questionnaires, tests...)



# Le SRP



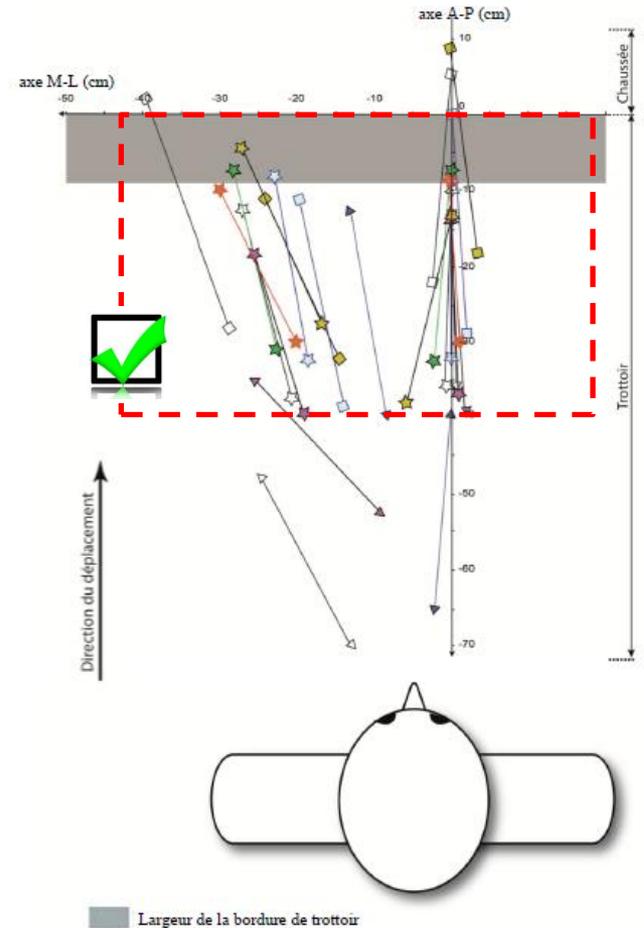
## Position d'attente

Seniors plus en retrait que les jeunes du bord de la route Harrel (1990, 1991)

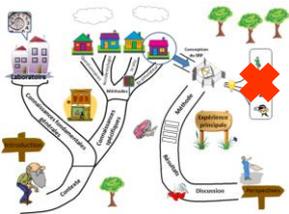
Comment positionner la PFF dans le simulateur ?



Etude *in situ* : 12 participants seniors



12 positions des pieds en bord de route retranscrites



# Le SRP



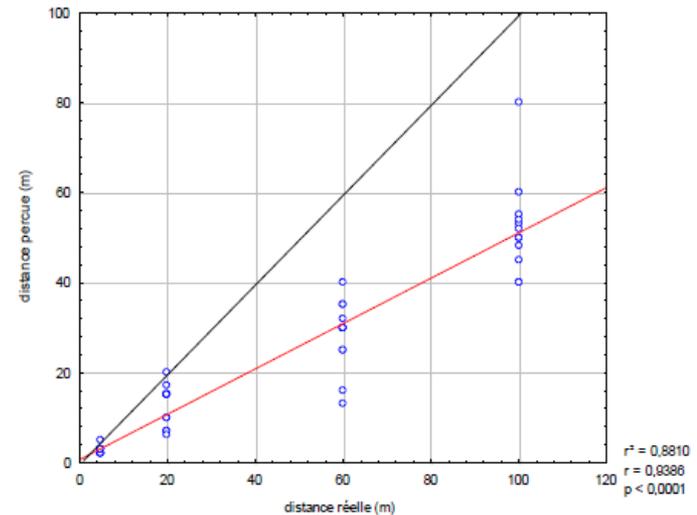
## Perception des distances



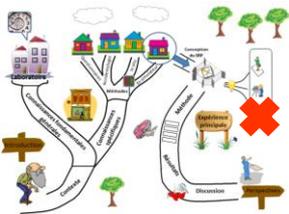
Etape 1. Etre « expert » dans la perception des distances



Etape 2. Déterminer la distance du véhicule



Sous estimation (comme dans la littérature)  
mais sous estimation linéaire



# Le SRP

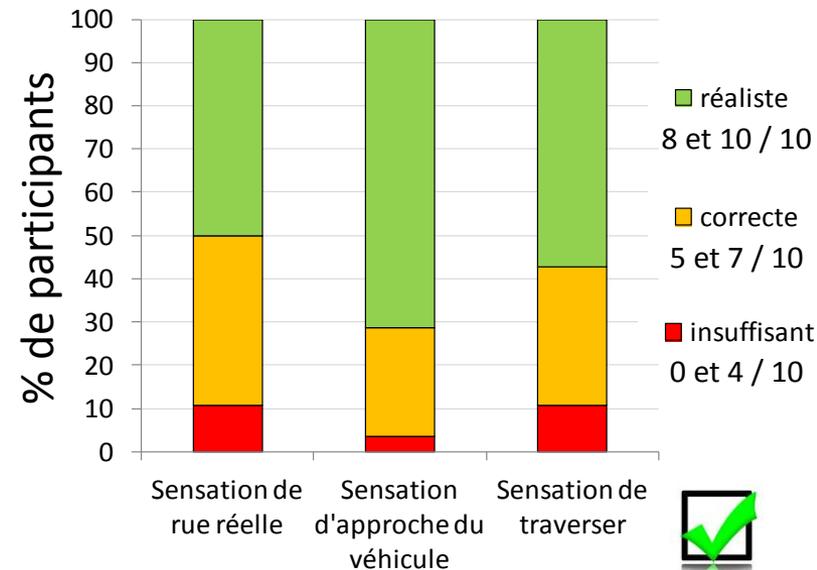


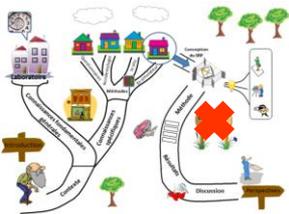
## Le rendu



28 participants  
4 échelles

SENSATIONS	
Rue réelle	Traverser
<b>7/10</b>	<b>8/10</b>
Approche du véhicule	Cinétose
<b>7,5/10</b>	<b>0,1/10</b>





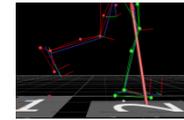
# Objectifs



**Caractériser le comportement de traversée de rue des seniors**



**Préciser l'intérêt de la biomécanique dans la compréhension du comportement**



**Tester l'impact de la perception du temps dans un environnement plus proche de la réalité**



**Objectif ultime**

**Majorer**



**&**

**Minimiser**



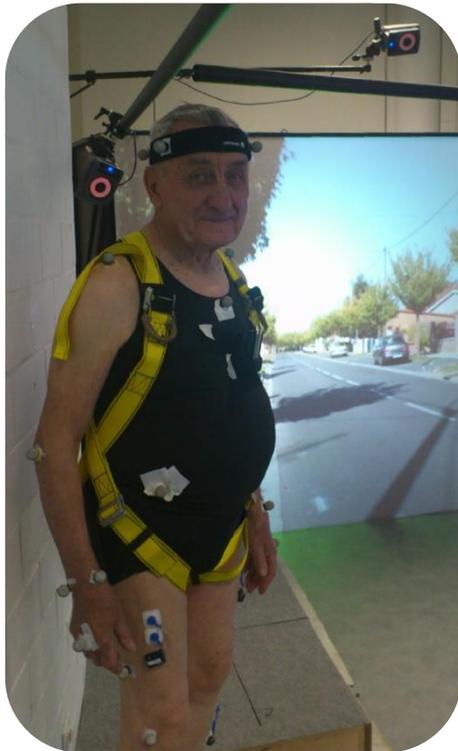


# Etude principale : Méthode



Population

28 participants → 14 Jeunes ( 20 – 27 ans)  
→ 14 Seniors ( 60 - 81 ans)



- Autonomes et actifs
- Sans contre-indication à la marche et l'effort
- Seniors : MMSE  $\geq 27$

Questionnaires  
Tests



**Auto-évaluation du comportement piétonnier habituel**



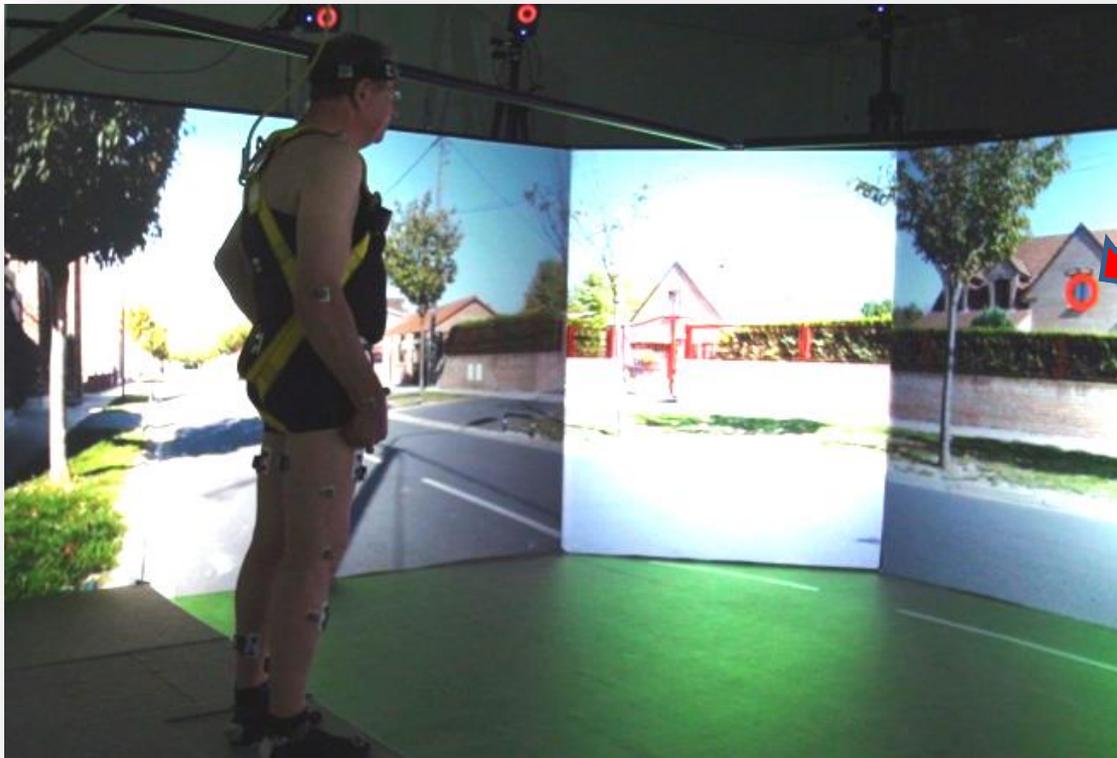
Echelle EPCUR : participants seniors plus sécuritaires que les participants jeunes

# Etude principale : Méthode



Tâche à réaliser :

- Traverser s'ils pensent pouvoir le faire
- Sans se faire renverser par la (les) voiture(s)
- Sans courir

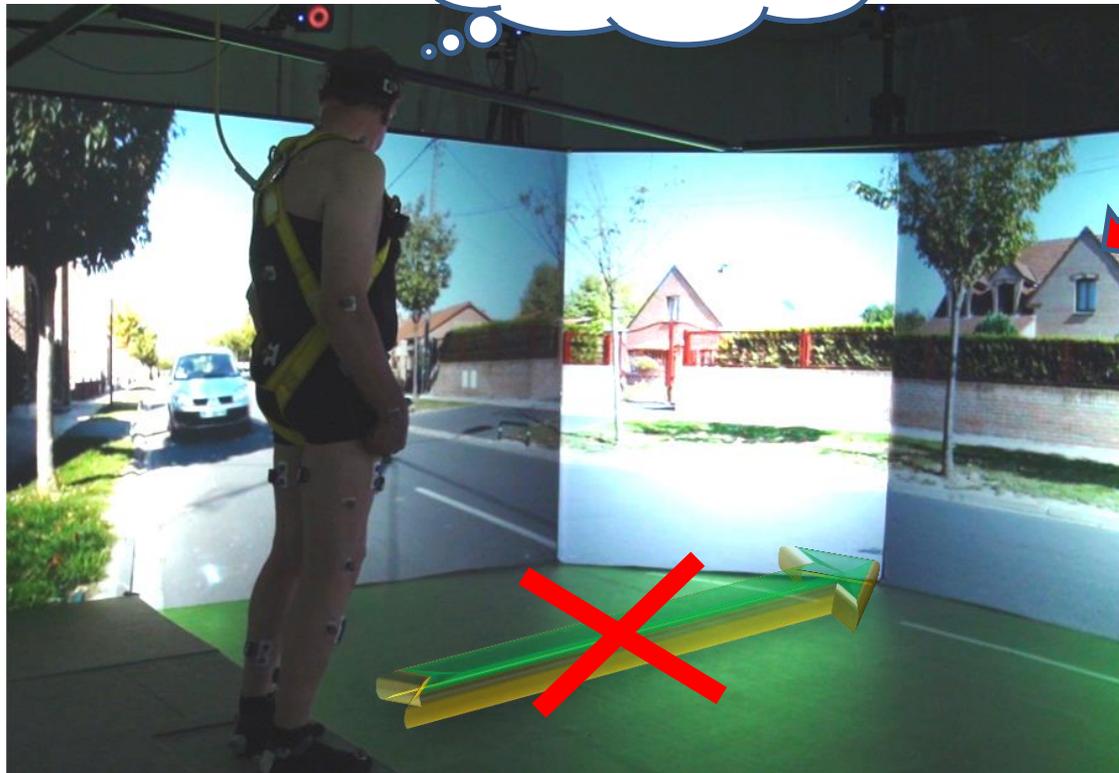


J'attends le signal...

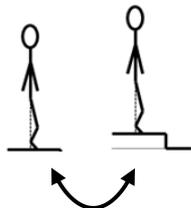
# Etude principale : Méthode



Je ne traverse pas !!!



# Etude principale : Méthode



Plan expérimental

2 surfaces x 6 conditions x 3 répétitions = 36 essais



Long

Court

Long

Court

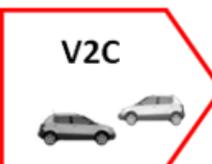
Exemple



Pression temporelle



Perception du danger



# Etude principale : Méthode



Littérature : vieillissement et vitesse de marche  
Résultats de notre expérience de laboratoire



Long

Court

Pression  
temporelle

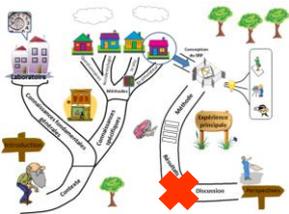
Protocole : ajustement des intervalles longs et courts selon la classe d'âge

Contraintes :

- obtenir une traversée effective dans un maximum d'essais (hors condition danger)
- répétabilité des essais pour l'analyse biomécanique
- réaliser les ajustements en un nombre restreint d'essais
- forte variabilité interindividuelle attendue

Solution de compromis : **ajustement *a priori* selon le groupe d'âge**  
**+ ajustements empiriques possibles** *par pas selon commentaires du participant*

Intervalle : [ **variable indépendante**  
**variable dépendante**

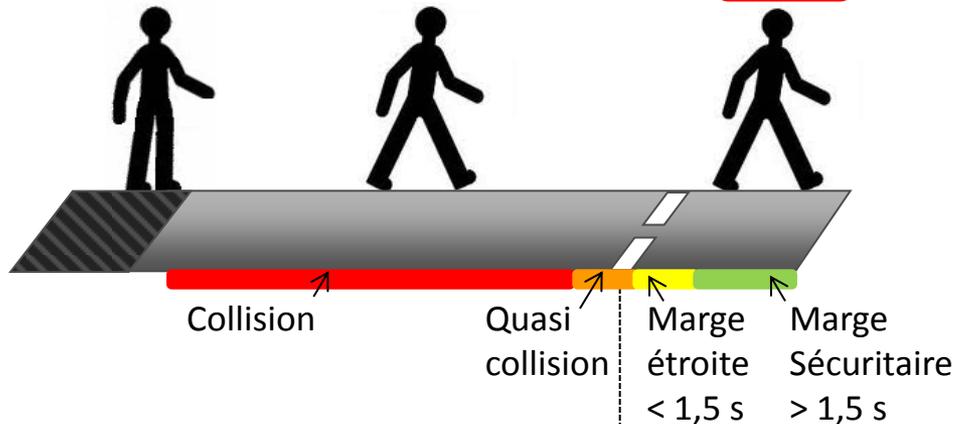


# Etude principale : Résultats globaux



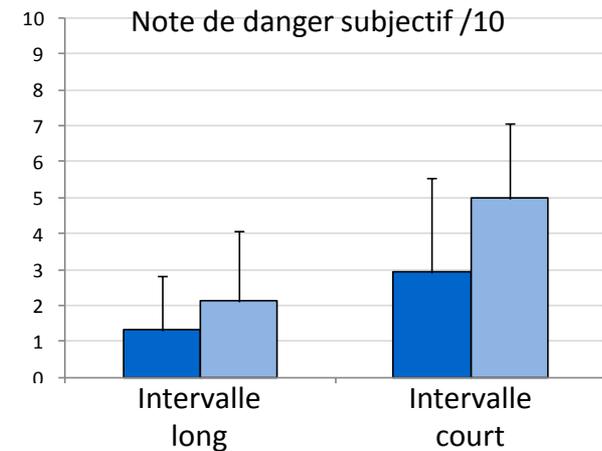
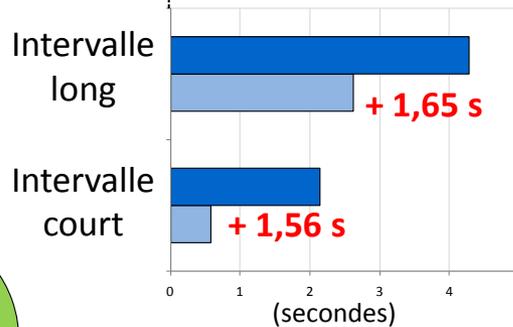
Les seniors sont-ils sécuritaires ?

**Oui**

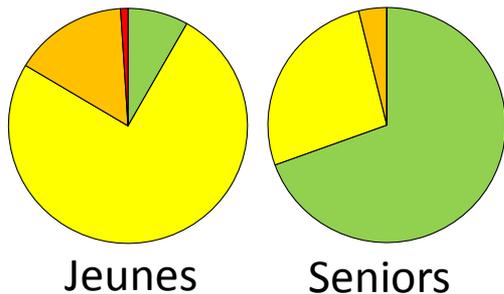


Se sentent-ils en danger lors de la traversée ?

**A posteriori Non**

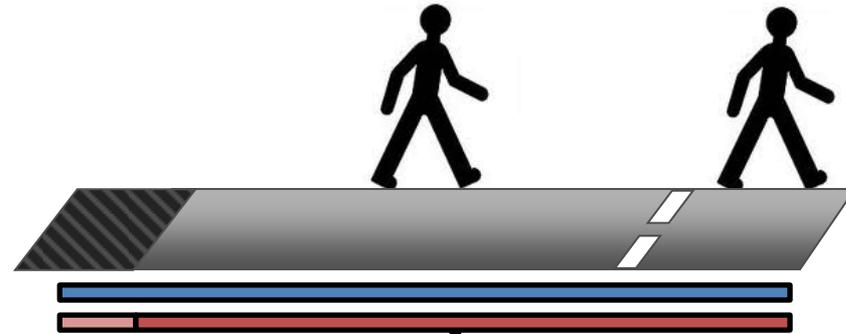


Marge de sécurité



Comment s'explique cette marge de sécurité plus grande?

# Etude principale : Résultats globaux

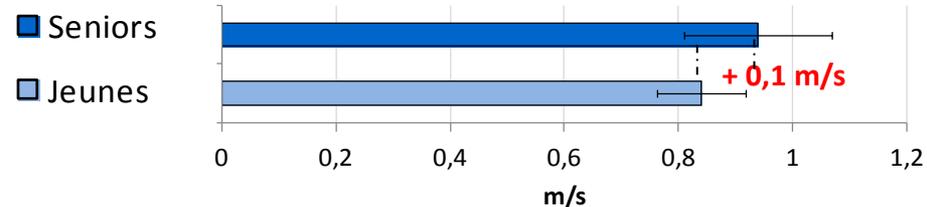


Temps d'initiation    Vitesse de marche / temps de traversée

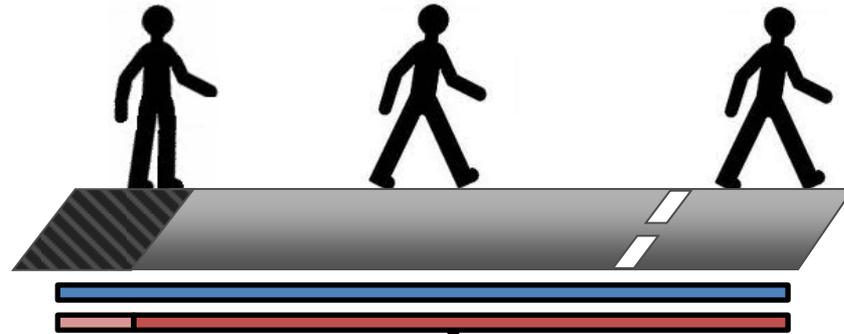
Les seniors ont-ils marché plus vite ?

Oui

Vitesse de marche moyenne (+)



# Etude principale : Résultats globaux



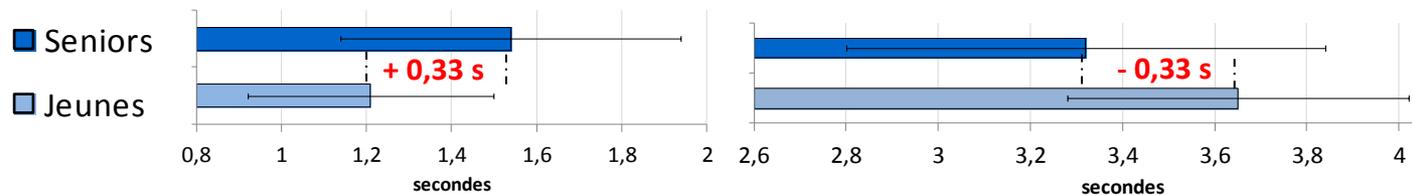
Temps d'initiation    Vitesse de marche / temps de traversée

Ont-ils initié la traversée plus rapidement ?

**Non,  
au contraire**

Temps d'initiation moyen (⊖)

Temps de traversée (⊕)



Compensation

Autre explication ?

# Etude principale : Résultats globaux



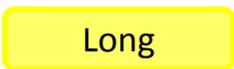
Est-ce lié au temps disponible ?



Ajusté a priori à la classe d'âge

Seniors = +1 s

Marge de sécurité = biais ?



50% J      71% S

Réajustements

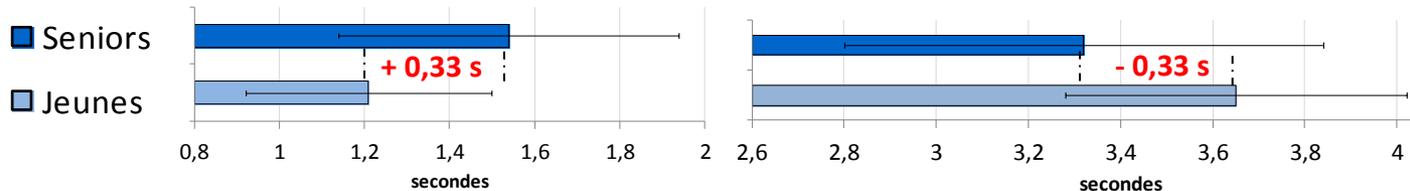
(augmentation de l'intervalle)



Temps d'initiation      Vitesse de marche / temps de traversée

Temps d'initiation moyen (⊖)

Temps de traversée (+)

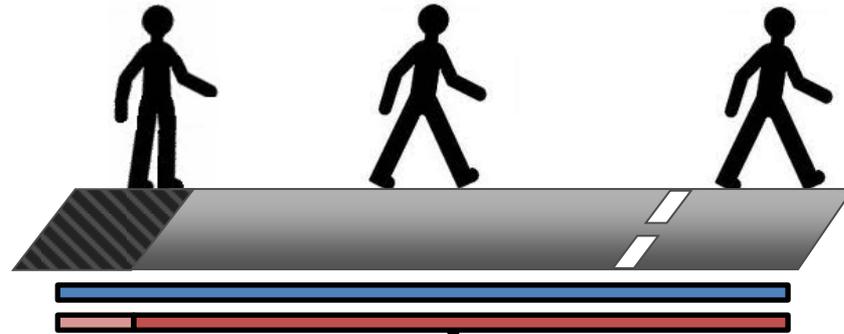


Compensation

# Etude principale : Résultats globaux



Processus décisionnel des SENIORS plus exigeant en termes de SÉCURITÉ



Temps d'initiation Vitesse de marche / temps de traversée

Ajustements

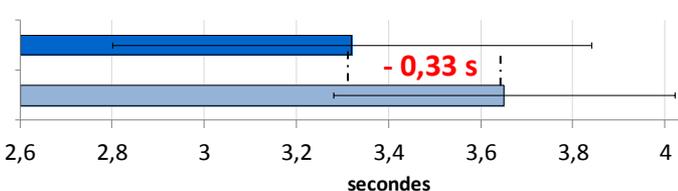
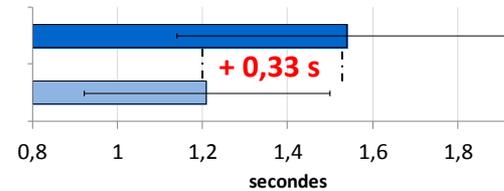
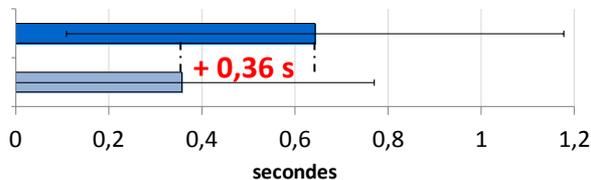
Court



Temps d'initiation moyen



Temps de traversée



Temps disponible

Seniors

Jeunes

Compensation

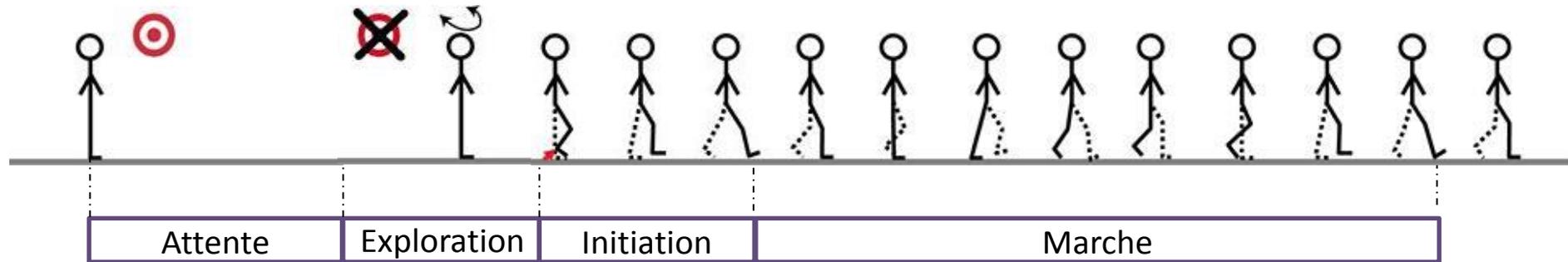
Quelles précisions peut apporter la biomécanique?

Jeunes = Seniors ?

# Etude principale : Résultats Biomécaniques



## Analyse biomécanique en phases



Dissociation pour étudier :

Équilibre  
statique

Équilibre  
dynamique



# Etude principale : Résultats



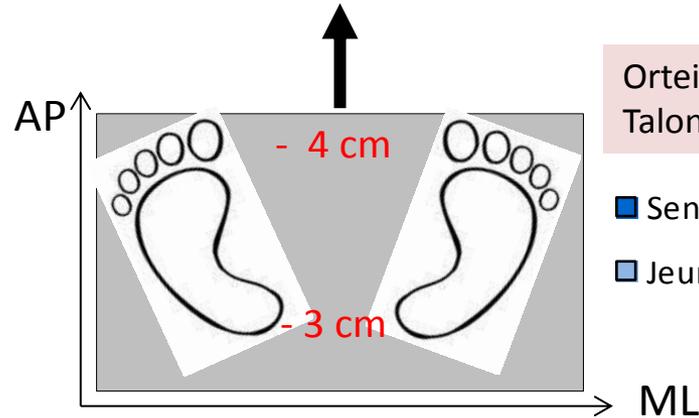
## Position d'attente

Diffère-t-elle de celles des jeunes ?

**Oui** Pieds plus rapprochés

Retrait bordure similaire

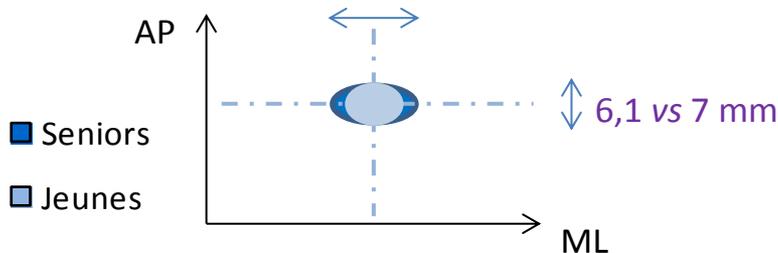
↳ Contraintes du protocole ?



Orteils (27 vs 23 cm)  
Talons (16,5 vs 13,5 cm)

■ Seniors  
■ Jeunes

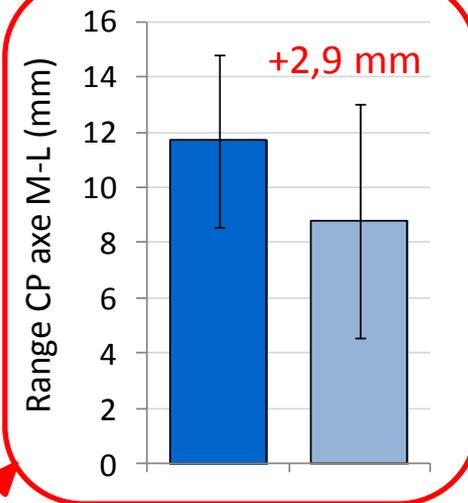
Conséquences sur l'équilibre ? **S = moins stables**



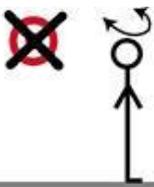
Oscillations AP : S = J

Vitesse d'oscillation AP et ML : S = J

Oscillations ML : S > J



Que se passe-t-il ensuite?

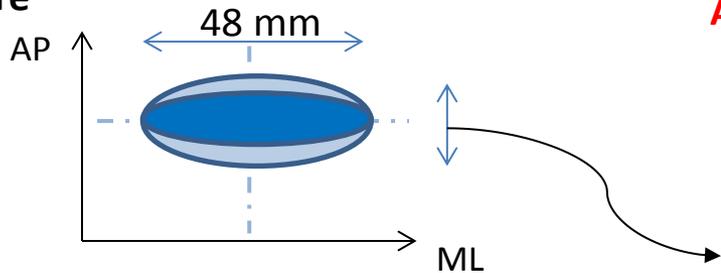


# Etude principale : Résultats



## Ajustements exploratoires (trafic)

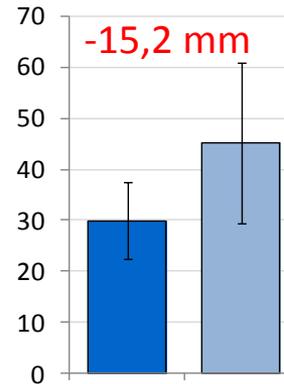
### ① Equilibre



#### Amplitude d'oscillations

ML : S = J

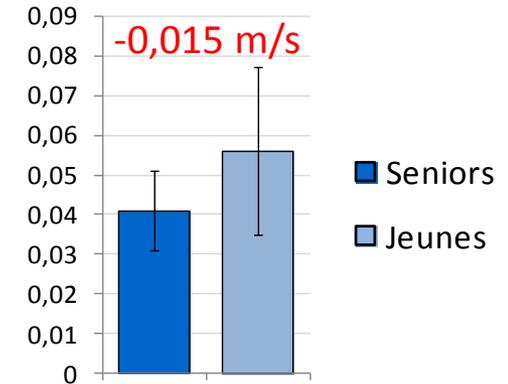
AP : S < J



#### Vitesse d'oscillations

ML : S = J

AP : S < J



Pourquoi ?

Moins de mouvements

« rigidité »

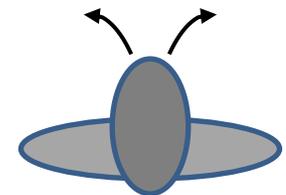
Anxiété - état ?  
Contrôle ?

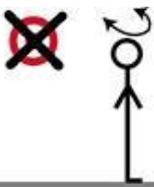
### ② Rotations de la tête et des épaules

Ampl max : S = J

G et D

Ex tête : 54,7° -54,6°





# Etude principale : Résultats



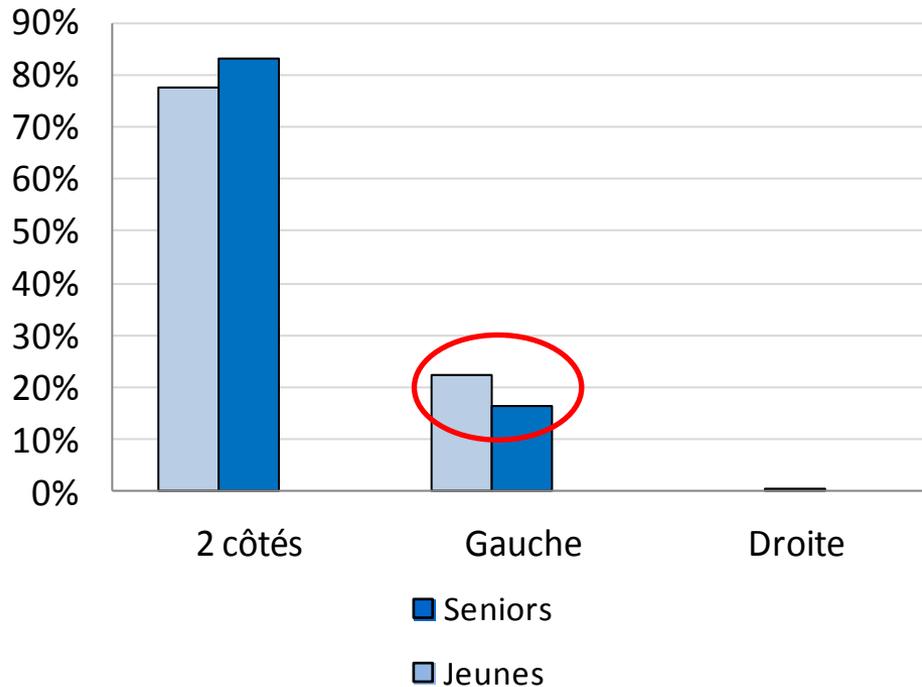
## Ajustements exploratoires (trafic)

Explorent-ils de la même façon le trafic routier ?

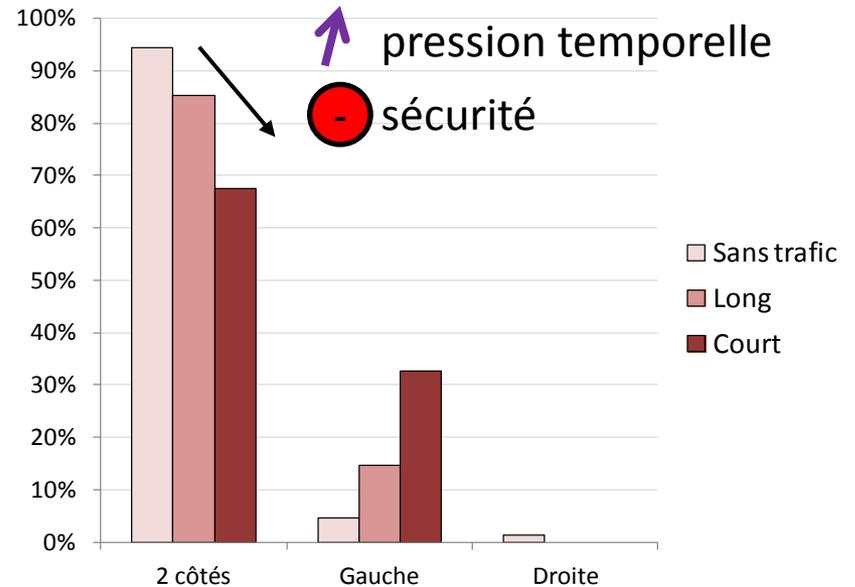
### ② Exploration bilatérale

$S > J$

S = + sécuritaires



Cependant,



Adaptation ?  
Danger ?



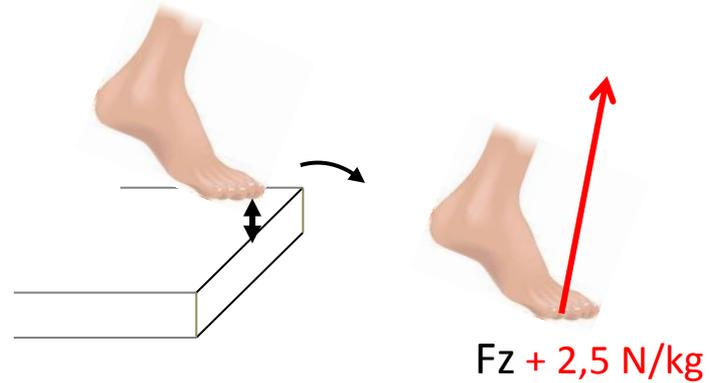
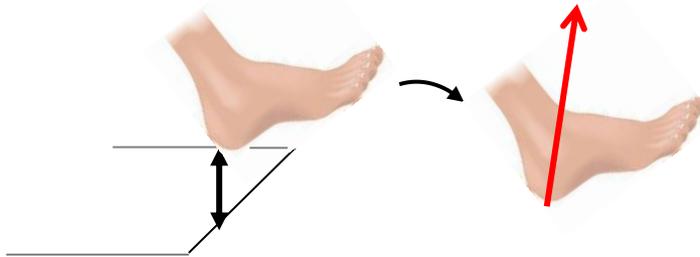
# Etude principale : Résultats



## Initiation de la marche : L'élévation du trottoir met-elle les seniors en danger ?

- S = J**
- Élévation du pied lors du passage de la bordure
  - Type de réception sur la chaussée **Sur la pointe**
- 

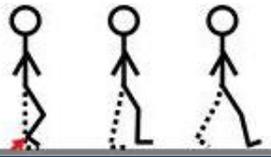
Mais elle influence la stratégie d'initiation



Amortir l'impact et maintenir le mouvement

**Et pour les autres paramètres ?**



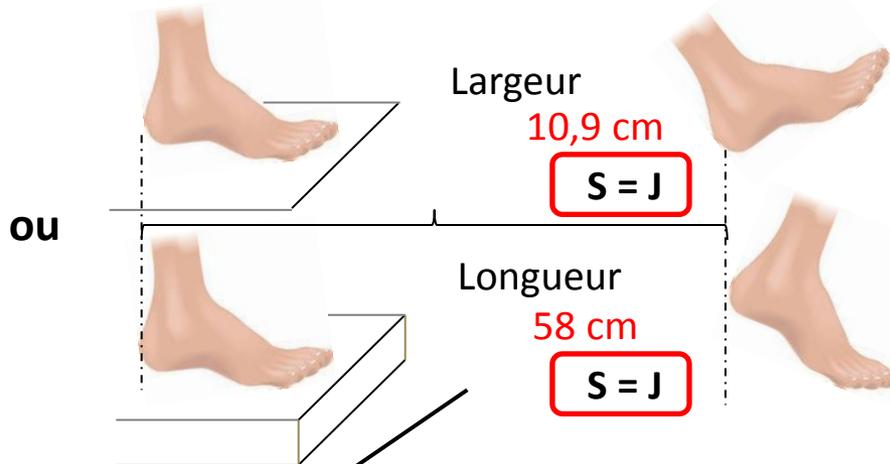


# Etude principale : Résultats



## Initiation de la marche

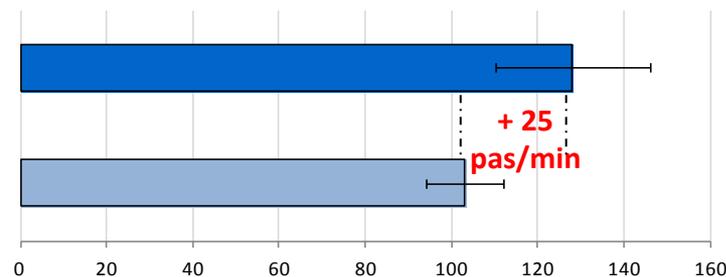
### Paramètres spatiotemporels du 1<sup>er</sup> pas



**Vitesse  $S > J$**

**Cadence  $S > J$**

■ Seniors  
■ Jeunes

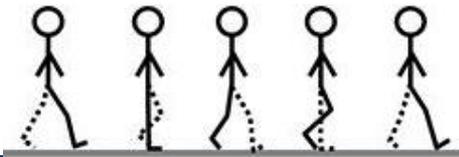


### Pression temporelle intervalle court vs Sans trafic

- ↗ Longueur +4 cm
- ↗ Largueur +1,3 cm
- ↗ Vitesse +0,1 m/s
- ↗ Cadence + 7 pas/min

+

**Nos seniors  
mêmes capacités  
locomotrices  
que les jeunes ?**

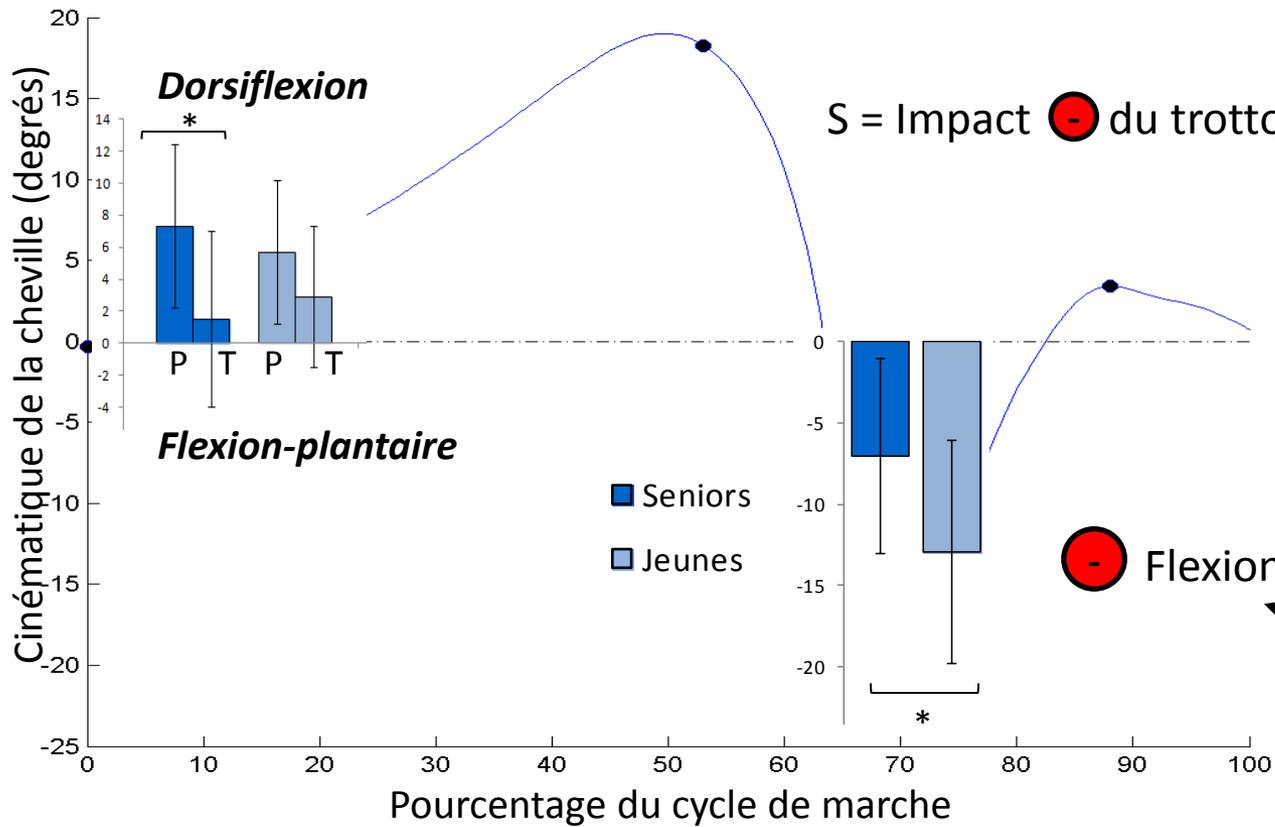


# Etude principale : Résultats



Les participants seniors ont-ils les mêmes capacités locomotrices que les jeunes ?

**Non**



**Mais ils s'adaptent**

# Etude principale : Résultats et conclusions



Adaptations  Descente de trottoir  
Contraintes temporelles



≠

Marche classique  
Laboratoire

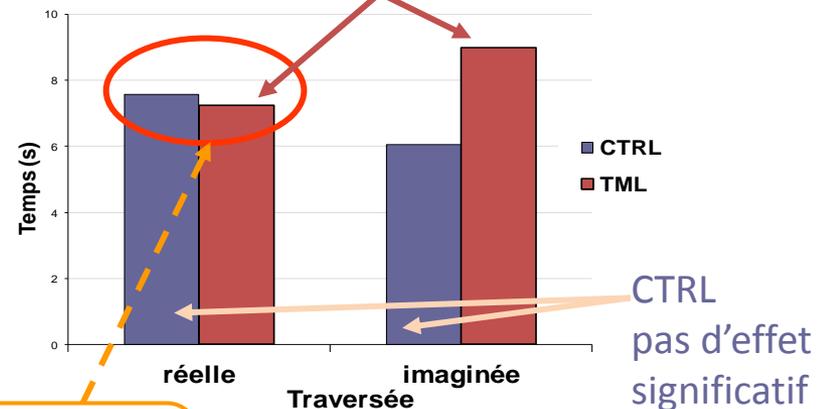
Mise en place d'une  
locomotion optimisée



## Comparaison du temps de traversée réelle vs imaginée

### Seniors (CTRL) vs Troubles locomoteurs (TML)

TML : surestimation du temps de traversée



Temps de  
traversée réels  
non impactés

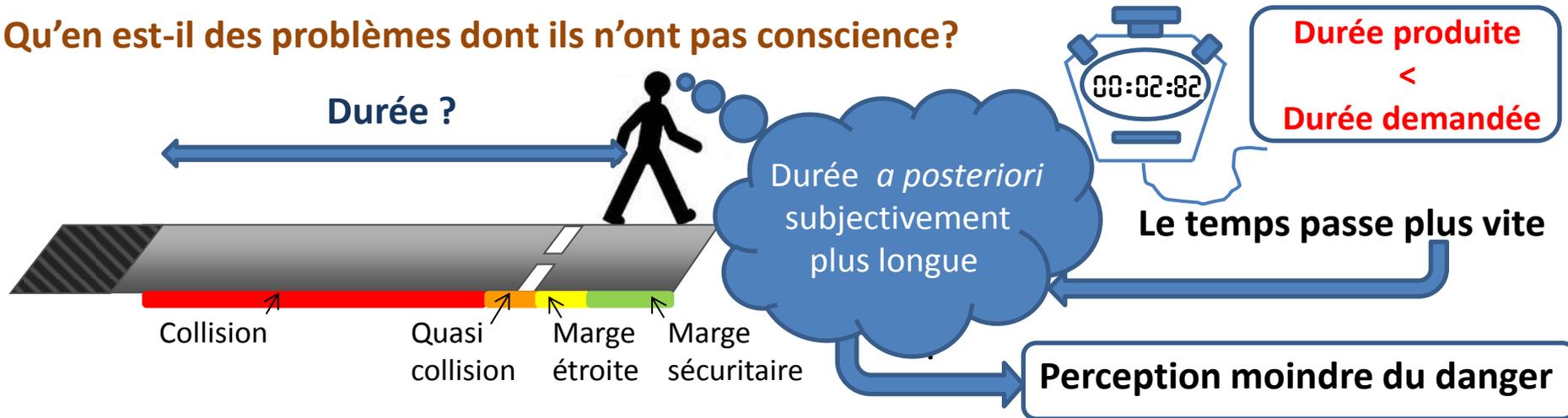
**Sécuritaire**

Prise en compte de leur difficultés motrices

# Etude principale : Résultats et conclusions



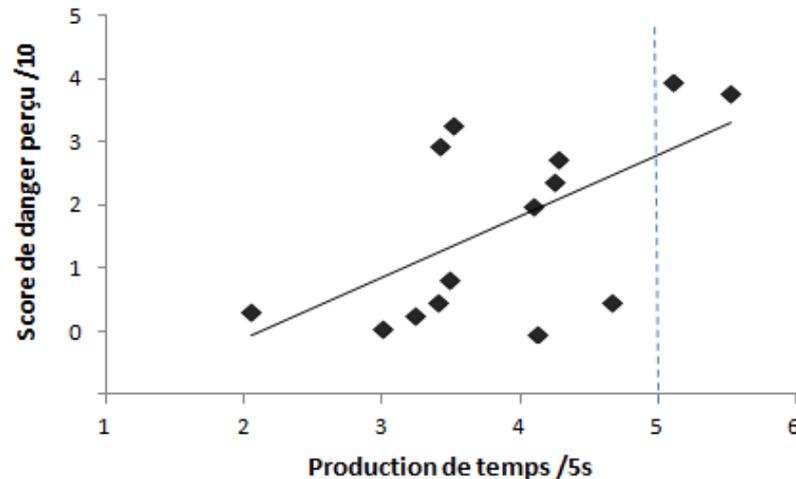
Qu'en est-il des problèmes dont ils n'ont pas conscience?



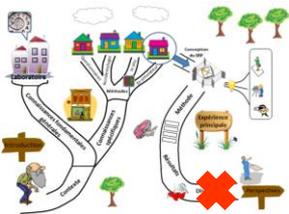
Chez certains seniors

Sous-estimation *a priori*  
du temps de traversée

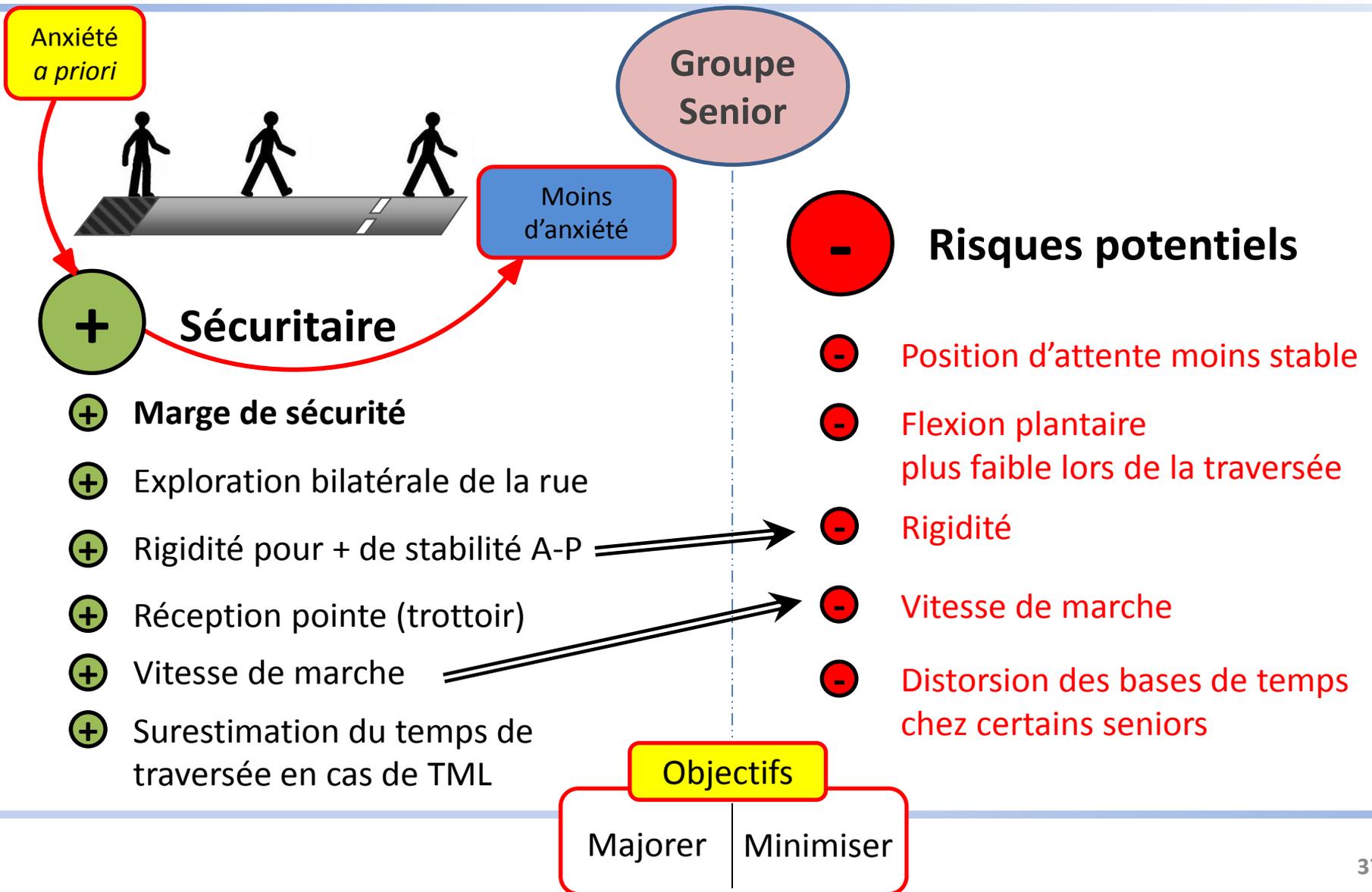
Sous-estimation *a posteriori*  
du danger

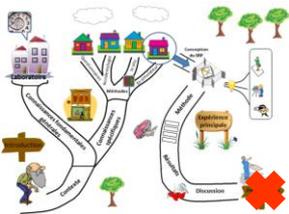


**Risques potentiels liés à la perception du temps**



# Etude principale : Synthèse





# Etude principale : Perspectives



Ce qu'il reste à faire : Etude des moments et des puissances lors de l'initiation de la marche, orientation médio-latérale de la tête durant la marche ou encore l'effet de l'apprentissage ou de la fatigue

## Valorisation - publications



## Entraînement à des stratégies de réajustement

Perception du temps => prise de conscience des distorsions

## Etudier expérimentalement des traversées plus dégradées

Facteurs individuels

↪ Chuteurs

Facteurs contextuels

↪ Charge attentionnelle

Base comparative

Expérience principale

Perspectives



**Merci de votre attention**

