

# **L'utilisation de l'oculométrie en psycholinguistique**

Saveria Colonna  
Structures Formelles du Langage  
Université Paris 8 & CNRS

# Ce qu'on va voir

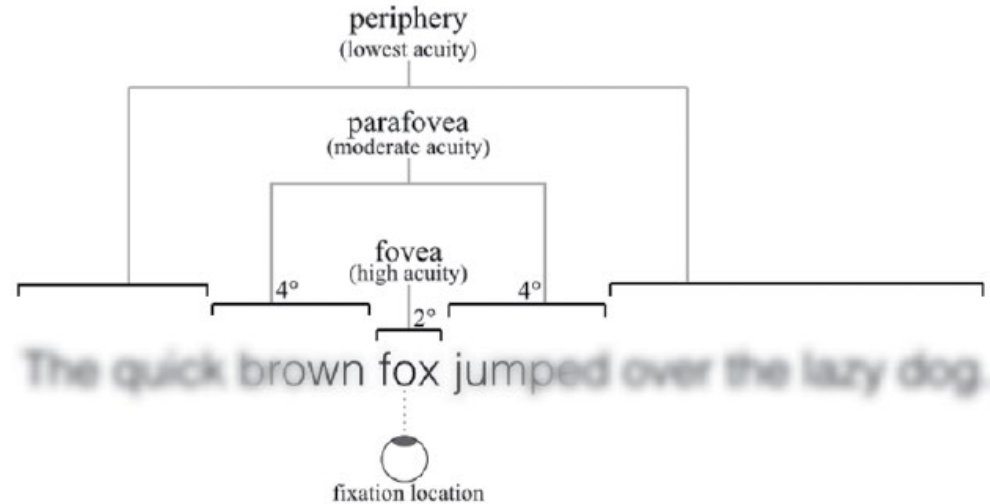
- Rappel des caractéristiques de base des mouvements oculaires
- Principes de base de l'oculométrie
- L'enregistrement des mouvements oculaires pendant la lecture
- Les autres méthodes en lecture (SPR, Maze task)
- Le paradigme du monde visuel (Visual World Paradigm)

# Les mouvements oculaires

Fovéa : zone centrale de la rétine où l'acuité visuelle est maximale

Le champ visuel (tout ce qui est perçu lorsqu'on fixe un point) se divise en 3 zones :

- Fovéale : vision nette, plus on s'éloigne et plus l'acuité diminue
- Parafovéale : moins nette
- Périphérique : floue



*Rayner & al. (2016)*

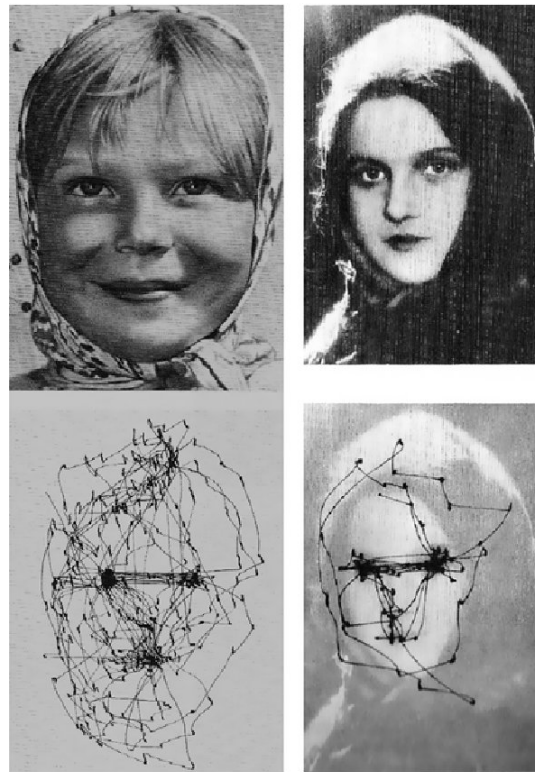
# Les mouvements oculaires

Pour voir nettement, il faut donc constamment déplacer ses yeux

Les mouvements oculaires permettent de positionner rapidement et précisément la fovéa sur l'image à percevoir

D'autres types de mouvements oculaires mais pour le traitement de l'information :

- **Fixations** : l'œil s'arrête
- **Saccades** : l'œil se déplace



*Yarbus (1967)*

# Les autres mouvements oculaires

**Poursuite lisse** : déplacement lent (+ lents que les saccades) pour suivre une cible en mouvement

**Vergence** : mouvements disjoints pour fixer un objet éloigné (divergence) ou proche (convergence)

**Stabilisation** :

- Réflexe vestibulo-oculaire (compense les mouvements de la tête et du corps)
- Réflexe optocinétique (compense le mouvement du champ visuel)

**Et même lors des fixations** :

- Micro-saccades (mouvements rapides de correction)
- Micro-dérives
- Micro tremblements (nystagmus)

# Les mouvements oculaires

## **Fixations :**

- 90% du temps de visualisation
- entre 50 et 600 ms
- durée moy. en lecture silencieuse : 225 ms, perception de scène visuelle : 330 ms, lecture de musique : 375 ms (Rayner, 1998)

## **Saccades :**

- réflexes et volontaires
- latence : 200 ms
- 10 à 35 ms en moy.
- quasi-aveugles (mécanisme de suppression saccadique)

# L'enregistrement des mouvements oculaires

On mesure les mouvements de l'œil par rapport à la tête grâce à un **oculomètre**



# L'enregistrement des mouvements oculaires

On mesure les mouvements de l'œil par rapport à la tête grâce à un **oculomètre**





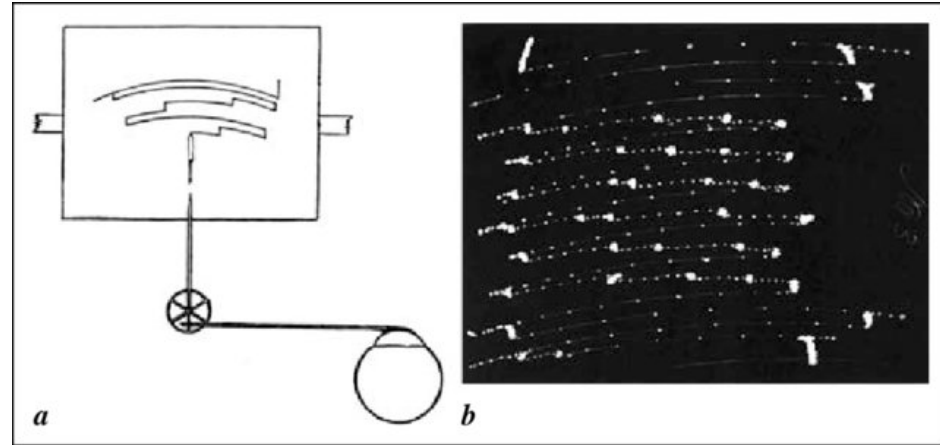
# Ce qu'on va voir

- Rappel des caractéristiques de base des mouvements oculaires
- **Principes de base de l'oculométrie**
- L'enregistrement des mouvements oculaires pendant la lecture
- Les autres méthodes en lecture (SPR, Maze task)
- Le paradigme du monde visuel (Visual World Paradigm)

# L'oculométrie

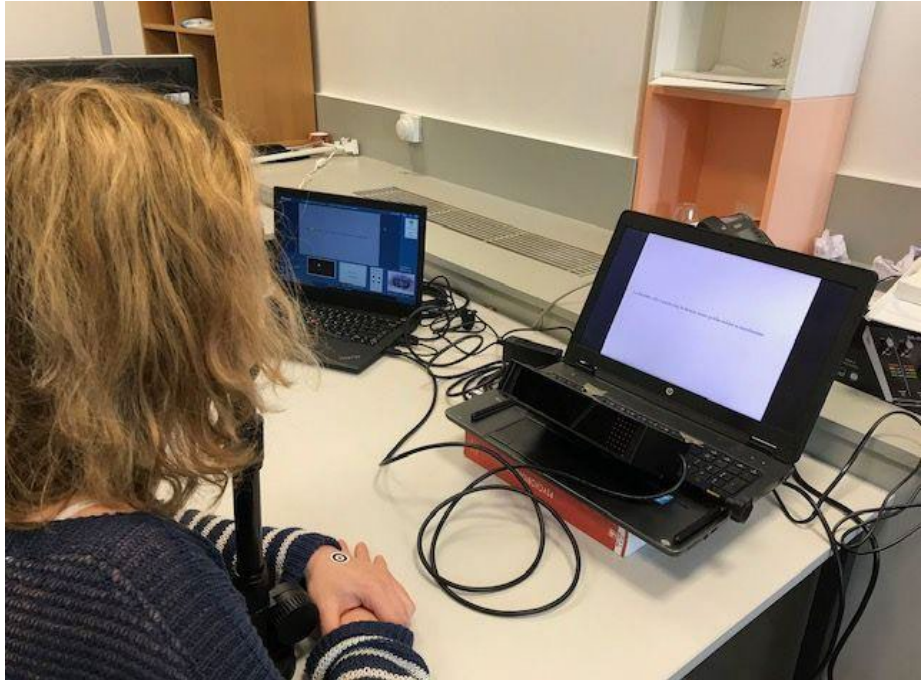
**Première méthode mécanique** (fin 19<sup>ème</sup>, Delabarre ; Huey) :

- invasive
- inconfortable (on mesure les mouvements d'un objet dans l'œil, anesthésié avec de la cocaïne)
- peu précise



# L'oculométrie aujourd'hui

- Une source de **lumière infrarouge** (imperceptible pour l'œil humain)
- une **caméra**
- et des **algorithmes** !

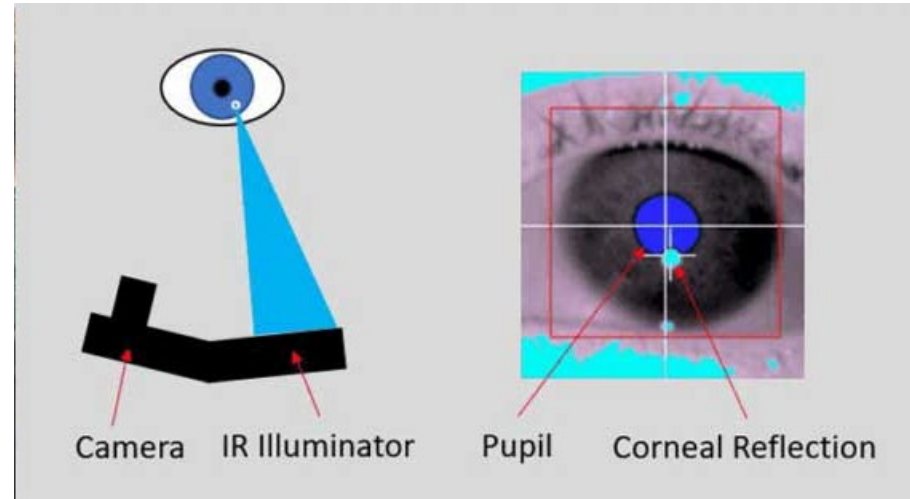


*EyeLink Portable Duo*

# Principes de base

Lumière infrarouge envoyée au centre de la pupille

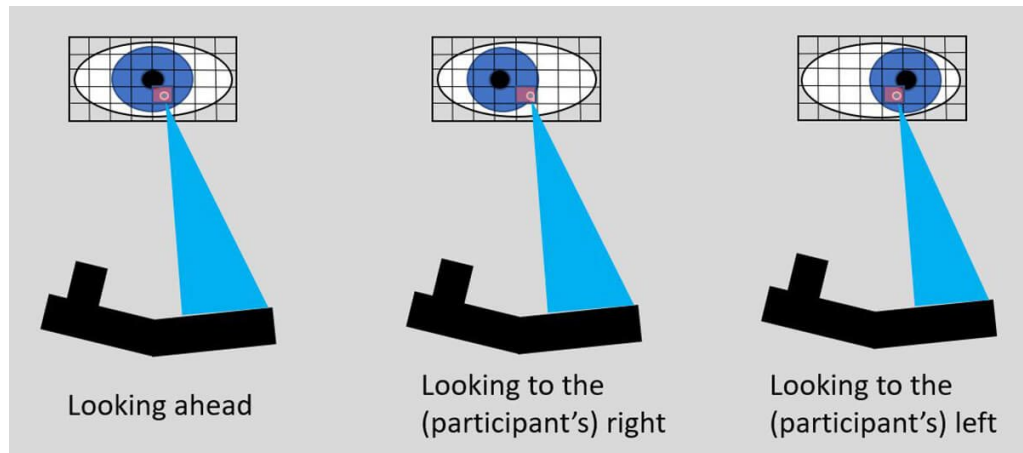
Caméra enregistre le reflet réfléchi par la cornée, et sa position par rapport au centre de la pupille



*Eyelink 1000 et Portable Duo*

# Principes de base

Pour chaque image, [algorithmes](#) calculent la position du centre de la pupille (qui bouge) par rapport à la position du reflet cornéen (stable par rapport aux coordonnées pixels de la caméra)

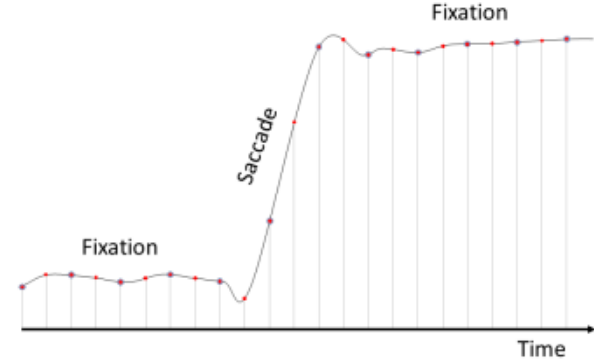


# Sampling rate

Fréquence à laquelle la position de l'œil est mesurée (nombre d'images collectées par seconde)

Entre 25 et 2000 images par seconde suivant l'oculomètre :

- Eyelink 1000 : 2000 Hz, 1000 Hz en binoculaire
- Tobii T120 : 120 Hz



# Quel oculomètre ?

Le choix dépend :

- de la **question de recherche**
- du paradigme utilisé (par ex., la lecture nécessite plus de précision que le VWP)
- de ce qu'on veut mesurer (par ex. : pour détecter une saccade, il faut  $> 100$  Hz, pour mesurer la durée d'une saccade, il faut  $> 200$  Hz)
- mais la précision n'est pas le seul critère : Tobii moins précis qu'EyeLink mais plus grande liberté de mouvement

# Calibration

Avant tout enregistrement, on demande au participant·e de fixer plusieurs points sur l'écran afin d'établir la correspondance entre la position de fixation sur l'écran et la position de la pupille sur l'image de la caméra

**Validate**

TCP/IP Link Open

Screens

Camera Setup

Help (F1)

PUPIL	
OK	OK
SIZE	SIZE
MISSING	MISSING
CORNEAL	
OK	OK
MISSING	MISSING

Thresholds:

P: 101  
CR: 221

LEFT Error: 0.35° avg, 0.76° max (GOOD)  
Drift Correction \*\*DISABLED\*\*

Accept

Restart

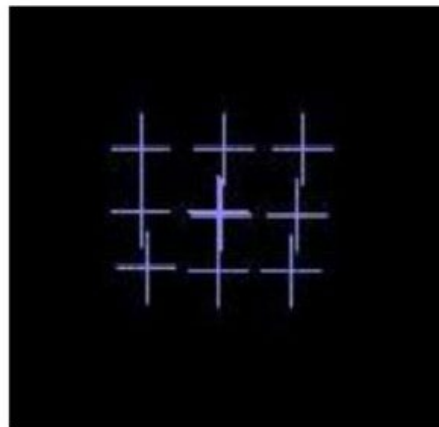
Discard



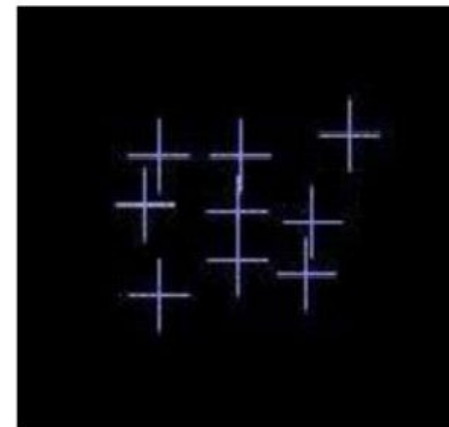
# Calibration

Ce qui peut rendre la calibration difficile :

- luminosité trop forte
- iris très sombre, paupières tombantes, forme des yeux, strabisme,...
- lunettes (sales, rayées), lentilles, mascara,...
- mouvements de la tête importants



Good Calibration



Poor Calibration

# Pourquoi observer les mouvements oculaires ?

**Postulat de base** : les mouvements oculaires sont liés aux processus attentionnels

Mesure **online** des processus cognitifs impliqués dans le **traitement du langage** écrit mais aussi oral



1) Libre examen de l'image



3) Donner l'âge des personnes



4) Prévoir ce que la famille avait fait avant l'arrivée du « Visiteur inattendu »

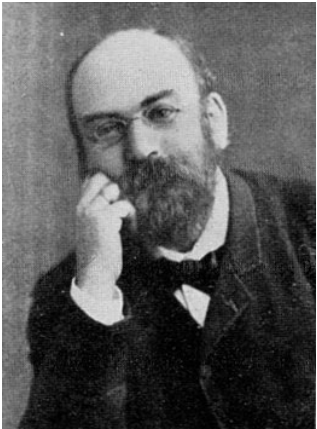
*Yarbus (1967)*

# Ce qu'on va voir

- Rappel des caractéristiques de base des mouvements oculaires
- Principes de base de l'oculométrie
- **L'enregistrement des mouvements oculaires pendant la lecture**
- Les autres méthodes en lecture (SPR, Maze task)
- Le paradigme du monde visuel (Visual World Paradigm)

# Pendant la lecture

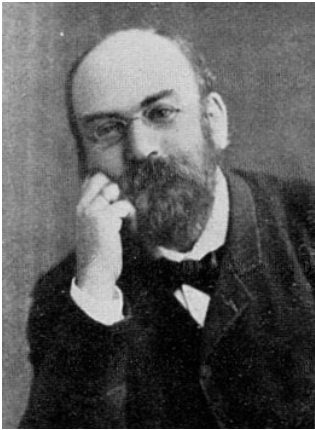
Des fixations et des saccades



*Javal (1879)*

# Pendant la lecture

Des fixations et des saccades



*Javal (1879)*



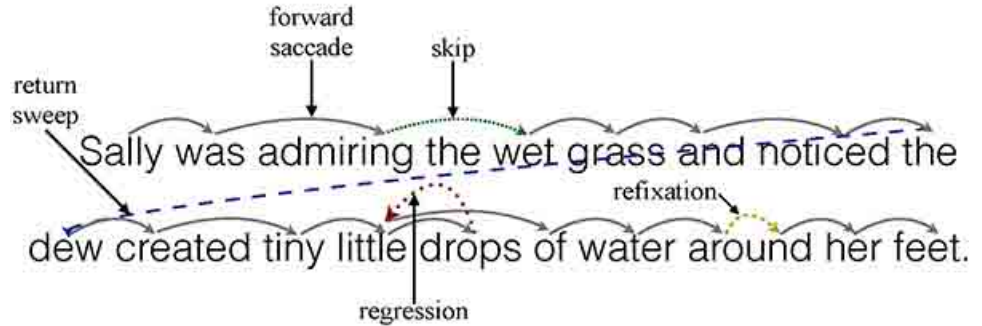
*Lamare (1879)*



*Hering (1879)*

# Pendant la lecture

- Durée moy. des fixations : 200-250 ms
- Longueur moy. des saccades : 7 à 9 lettres
- Saccades progressives et régressives
- 10 à 15% des saccades sont des régressions



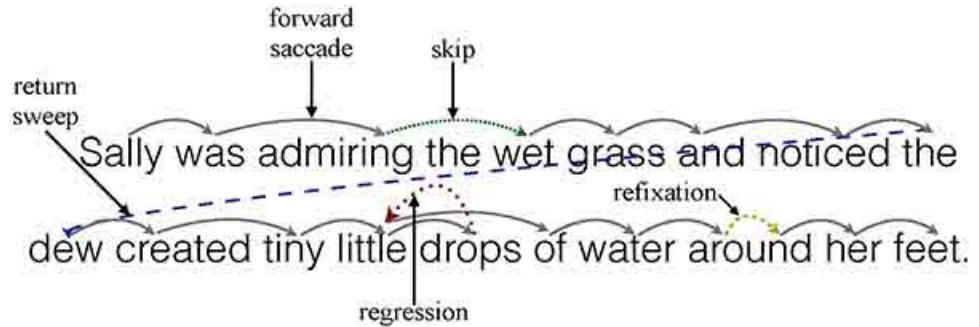
*Rayner & al. (2015)*

# Pendant la lecture

Régressions courtes dans un mot :

- correction car fixation trop loin dans le mot
- liées à difficulté de traitement du mot

Regressions longues : le plus souvent liées à une difficulté du traitement



*Rayner & al. (2015)*

# Pendant la lecture

- Empan perceptif : quelle quantité d'information pouvons-nous extraire lors d'une fixation ?
- Asymétrie : 4 caractères à gauche et 15 à droite → dépend du système d'écriture
- Empan d'identification : 3 caractères à gauche, 7 à 8 à droite du point de fixation

## Technique de la fenêtre mobile

### A. Texte normal

Au cours de la lecture les mots sont fixés un par un.

### B. Technique de la fenêtre mobile

XX XXXXX de la lecture les XXXX XXXX XXXXX XX XXX XXX

\*

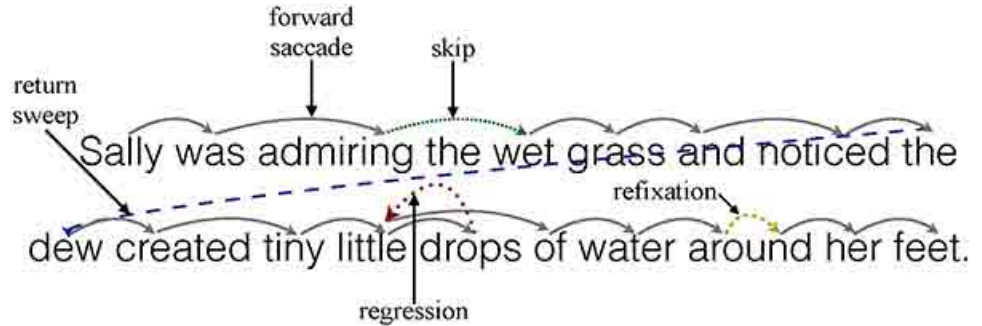
XX XXXXX XX XX XXXXXre les mots sont fXXXX XX XXX XXX

\*



# Pendant la lecture

- Mots de contenu : fixés 85% du temps
- Mots fonctionnels : sautés 85% du temps
- 75% des mots de 2-3 lettres sont sautés, jamais les mots de 8 lettres
- Espaces entre les mots non fixés
- 1<sup>ère</sup> fixation n'est pas au début de la ligne mais quelques caractères à droite



*Rayner & al. (2015)*

# Hypothèse de “l’œil-esprit” (Just & Carpenter, 1980)

Temps de fixation = temps de traitement

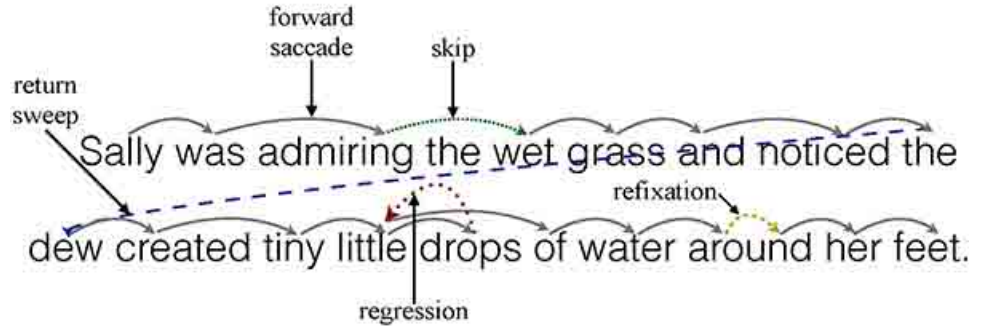
Bien qu’à modérer car effets **spillover** et **pré-traitement**,

- les mouvements oculaires sont fortement liés aux processus attentionnels
- indice fiable des processus cognitifs pendant la compréhension du langage

# Pendant la lecture

Avec la difficulté du traitement linguistique :

- durée des fixations augmentent
- amplitude des saccades diminuent
- nombre de régressions augmente



*Rayner & al. (2015)*

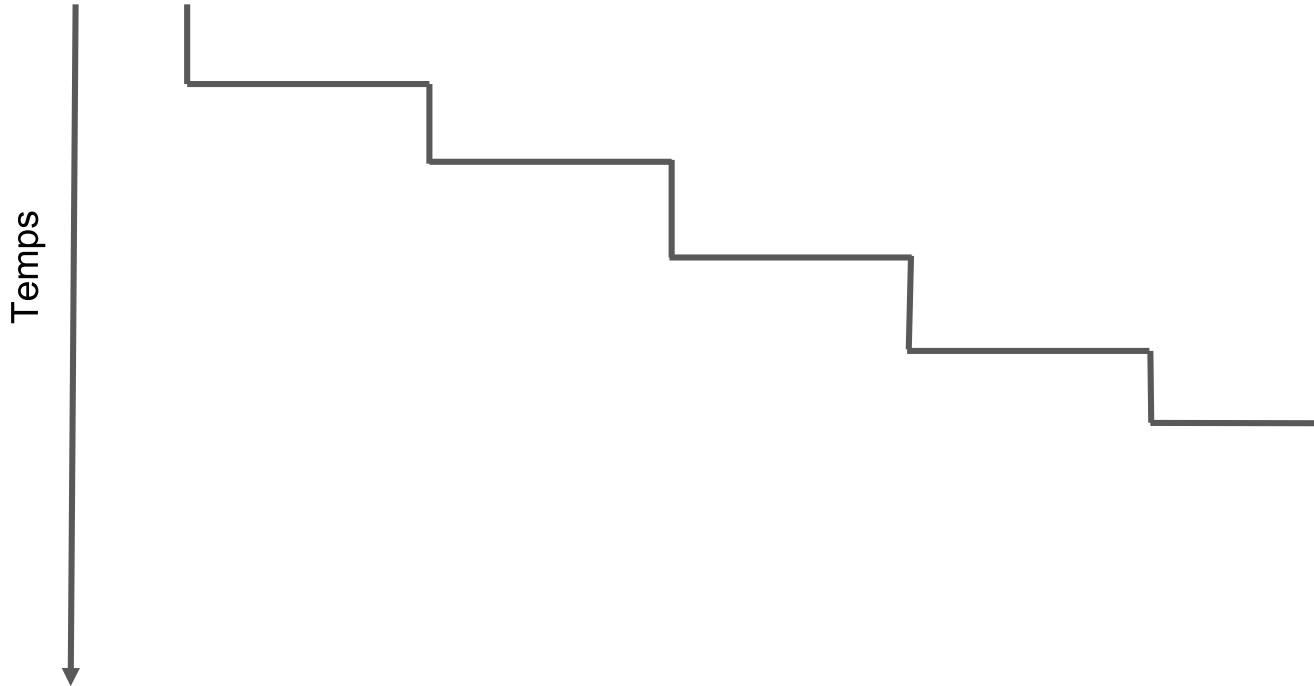
# Pendant la lecture

Utilisés pour étudier des phénomènes linguistiques variés :

- Reconnaissance lexicale
- Interprétation des ambiguïtés syntaxiques (Garden Path)
- Interprétation des pronoms
- Filler-gap dependencies
- Subject-verb dependencies
- Etc.

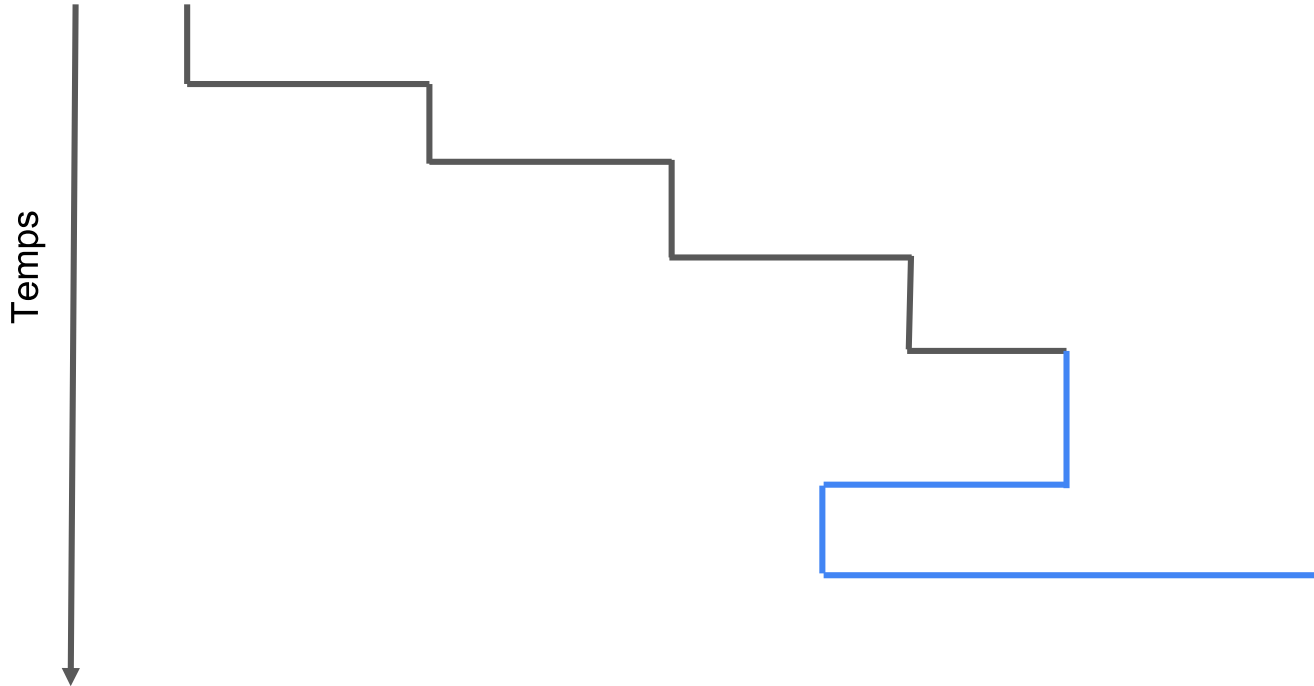
# Phrases Garden Path

Il connaît la voisine des journalistes qui entre dans le restaurant.



# Phrases Garden Path

Il connaît les voisines du journaliste qui entre dans le restaurant.



# Les variables dépendantes

- Première fixation (first fixation duration)
- Premier passage (first-pass time)
- Regression-path duration/ Go-past time
- Regression-out probability
- Second passage (second-pass time)
- Temps de lecture total (total reading time)
- Et encore d'autres...

# Première fixation

Durée (en ms) de la 1<sup>ère</sup> fixation  
dans une région d'intérêt

Mesure précoce qui reflète les  
premières étapes du traitement,  
comme la reconnaissance lexicale  
→ varie suivant la fréquence  
lexicale, la longueur des mots etc.

[IA\\_FIRST\\_FIXATION\\_DURATION](#)

la voisine des journalistes qui entrent dans...





# Premier passage

Somme des durées des fixations dans une région d'intérêt au cours du 1<sup>er</sup> passage, i.e. depuis la 1<sup>ère</sup> fixation jusqu'à ce que l'œil quitte la région d'intérêt, quelle que soit la direction

Également mesure précoce liée à la reconnaissance lexicale, peut aussi détecter des difficultés d'intégration

[IA\\_FIRST\\_RUN\\_DWELL\\_TIME](#)

la voisine des journalistes qui entrent dans...



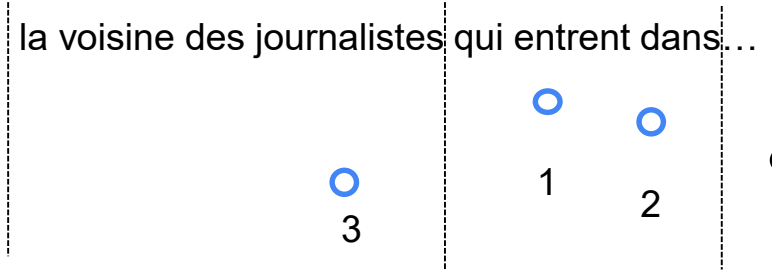
# Regression-path

Somme des durées des fixations dans une région d'intérêt jusqu'à ce l'œil sorte vers la droite (lecture de gauche à droite)

Inclut les fixations dans les régions précédentes

Mesure plus tardive qui reflète les processus d'intégration

IA\_REGRESSION\_PATH\_DURATION



# Regression-out

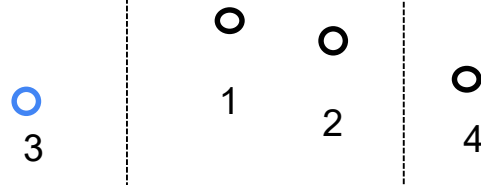
Est-ce qu'il y a eu régression(s) depuis la région d'intérêt pendant le 1<sup>er</sup> passage

Mesure binaire (pas durée en ms)

Peut refléter une difficulté au niveau de la reconnaissance lexicale (précoce) ou de l'intégration phrastique (tardif)

[IA\\_REGRESSION\\_OUT](#)

la voisine des journalistes | qui entrent dans...



# Second passage

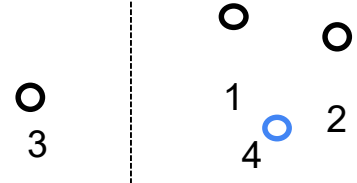
Somme des durées des fixations dans une région d'intérêt au cours du second passage, i.e. après que l'œil ait quitté la région.

= toutes les fixations restantes dans la région d'intérêt après le 1<sup>er</sup> passage

Mesure tardive qui reflète les processus d'intégration phrastique

[IA\\_SECOND\\_RUN\\_DWELL\\_TIME](#)

la voisine des journalistes | qui entrent dans...



# Temps de lecture total

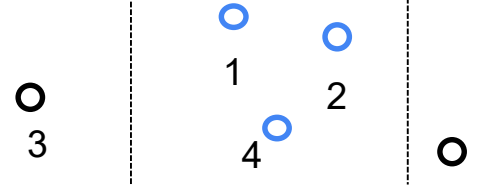
Somme de toutes les fixations dans  
une région d'intérêt

Mesure agrégée qui reflète  
traitement précoce et tardif

Influencé par le temps de 1<sup>er</sup>  
passage, de 2<sup>nd</sup> passage ou les  
deux

IA\_DWELL\_TIME

la voisine des journalistes | qui entrent dans...



# Les variables dépendantes

- Nombreuses autres mesures possibles
- Attention à ne pas examiner un trop grand nombre de mesures → trop de données risque d'être difficile à interpréter
- Risque d'erreur de type I (faux positif) → Faire des prédictions précises concernant les mesures et régions pour lesquelles on attend des effets

# Ce qu'on va voir

- Rappel des caractéristiques de base des mouvements oculaires
- Principes de base de l'oculométrie
- L'enregistrement des mouvements oculaires pendant la lecture
- **Les autres méthodes en lecture (SPR, Maze task)**
- Le paradigme du monde visuel (Visual World Paradigm)

# Self-paced reading (SPR)

Lecture en auto-présentation segmentée (Pynte, 1974) : auto-présentation du texte en segments de taille variable

- phrase par phrase,
- syntagme par syntagme,
- mot par mot,
- et d'autres...

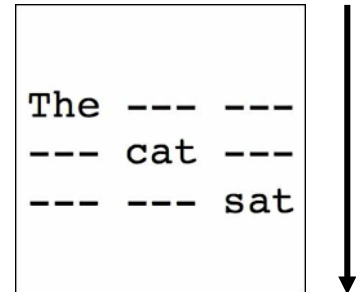
Variable mesurée : le temps qui s'écoule entre 2 appuis



# Self-paced reading (SPR)

Plusieurs versions :

- Stationary window : chaque segment apparait au même endroit de l'écran (présentation non cumulée)
- Cumulative window : chaque segment apparait à l'endroit de la phrase où il doit apparaitre, les segments précédents restent affichés
- Moving-window : idem mais avec l'apparition d'un nouveau segment, le précédent disparaît



# Self-paced reading (SPR)

Moving-window SPR :

- le plus fréquemment utilisé
- donne les résultats les plus proches de l'eye-tracking

Néanmoins, avec présentation mot à mot, le participant ne peut ni regarder en arrière, ni en avant, et peut appuyer alors que le traitement sur le mot en cours n'est pas fini

→ effet spillover (effet sur le mot dû au traitement du mot précédent)

# Maze task

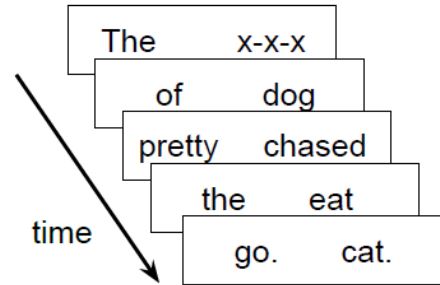
Participants lisent mot à mot mais doivent faire un choix forcé entre 2 mots

Variable mesurée : temps mis pour choisir le mot correct

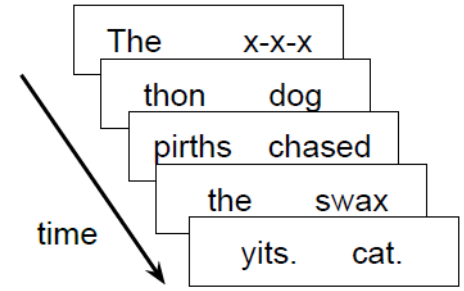
Deux versions :

- G(rammaticality)-Maze
- L(exicality)-Maze (pseudo-mots)

Résultats proches de SPR et eye-tracking mais les effets n'apparaissent pas nécessairement aux mêmes moments



(a) Sample G-maze



(b) Sample L-maze

*Boyce & al. (2019)*

# Les autres méthodes : avantages et inconvénients

- Nécessite moins d'équipement, peuvent être réalisées en ligne
- Une seule mesure : temps total de lecture (SPR) ou temps de décision (Maze) → ne permet pas de distinguer analyse initiale/réanalyse
- Condition de lecture peu ou pas naturelle
- Choix de la segmentation peut s'avérer déterminant dans SPR
- Moins d'effet spillover avec Maze (la tâche nécessite d'intégrer chaque mot) qu'avec SPR
- Besoin de questions de compréhension avec SPR et Eyetracking, pas avec Maze

# Ce qu'on va voir

- Rappel des caractéristiques de base des mouvements oculaires
- Principes de base de l'oculométrie
- L'enregistrement des mouvements oculaires pendant la lecture
- Les autres méthodes en lecture (SPR, Maze task)
- **Le paradigme du monde visuel (Visual World Paradigm)**

# Paradigme du monde visuel

Cooper (1974) : les auditeurs regardent plus les objets mentionnés dans l'histoire qu'ils sont en train d'entendre

Lien entre fixations oculaires et l'énoncé oral qu'on est en train de traiter

Tanenhaus & al. (1995) : **Visual World Paradigm**

*Cooper (1974) cité 8 fois jusqu'en 1996 puis 105 fois de 1996 jusqu'en 2010*

# Paradigme du monde visuel

Permet d'étudier :

- Reconnaissance lexicale
- Intégration des informations pendant l'interprétation des énoncés
- Interprétation des pronoms
- Etc.

Avantages :

- Mesure **online** du traitement du **langage oral**
- Permet de manipuler des facteurs tels que la prosodie
- Peut être utilisé chez les **enfants** avant l'âge lecture

# Reconnaissance lexicale

Le mot cible *beaker* n'est pas sur l'image mais compétiteur :

- phonologique *beaver*
- de forme *bobbin*
- sémantique *fork* (aussi un ustensile de cuisine)



"Eventually she looked at the beaker that was in front of her"

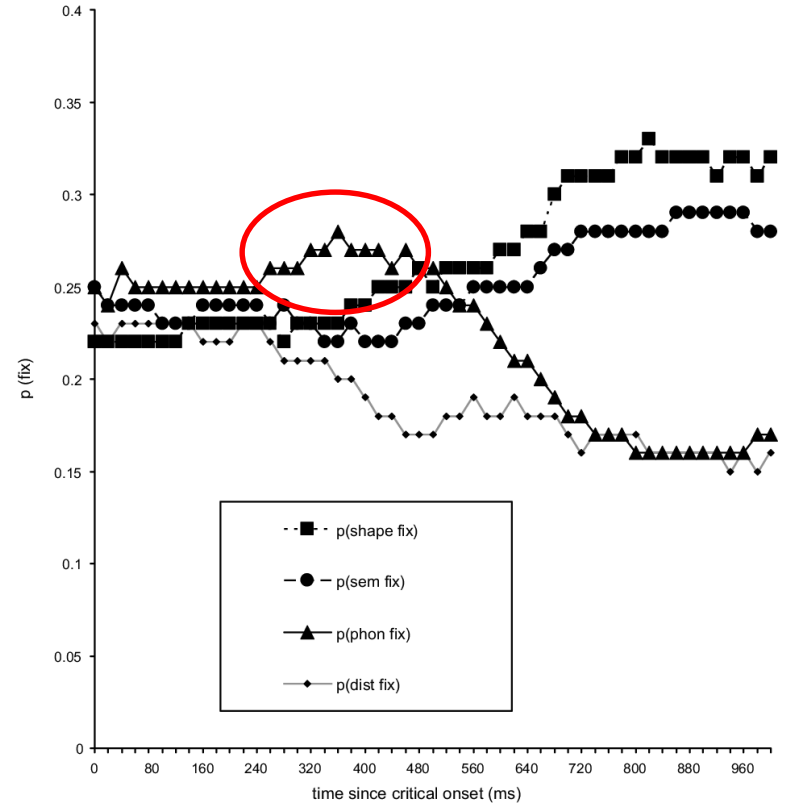


*Huettig & McQueen (2007)*



# Reconnaissance lexicale

Regardent le compétiteur phonologique avant les compétiteurs de forme et sémantique



*Huettig & McQueen (2007)*

# Intégration des informations sémantiques



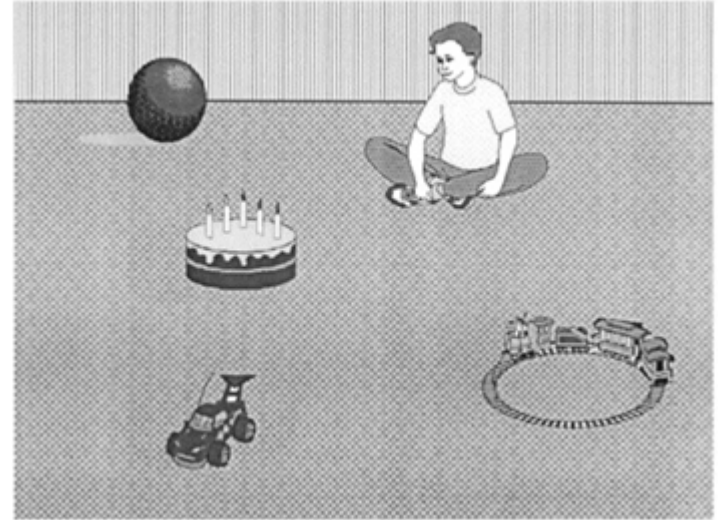
*The boy will eat/move the cake*

Quand les participants entendent  
*the boy* → regardent le garçon

Quand ils entendent *the cake* →  
regardent le gâteau

Regardent **plus tôt** le gâteau avec  
*eat* qu'avec *move*

→ Prédiction à partir de la  
sémantique du verbe



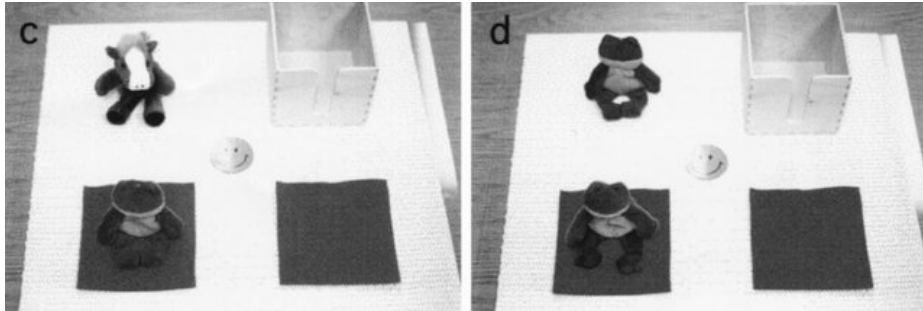
*Altmann & Kamide (1999)*

# Intégration des informations référentielles contextuelles



*Put the frog on the napkin in the box*

Contexte avec « 1 référent » (c)  
vs avec « 2 référents » (d)



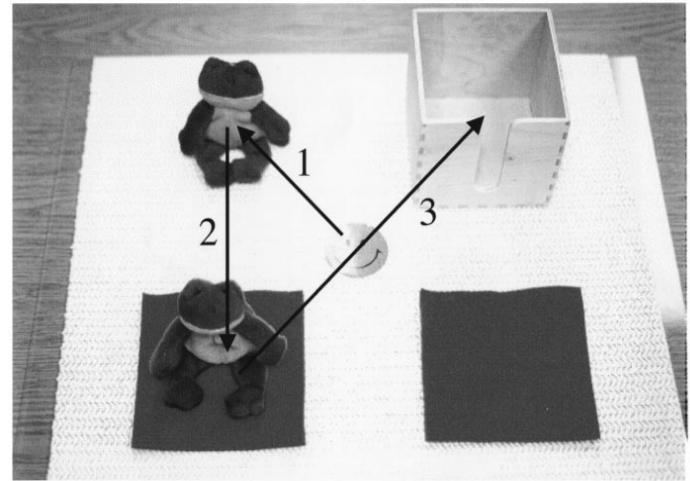
*Trueswell & al. (1999)*

# Intégration des informations référentielles contextuelles

Ex. de ce que fait un enfant dans la condition non ambiguë

→ Ne regarde pas la destination fausse (la serviette vide)

Idem pour les adultes dans la condition « 2 référents » alors que les enfants de 5 ans ne sont pas encore capables de prendre en compte le contexte référentiel



*“Put the frog that's on the napkin in the box.”*

1

2

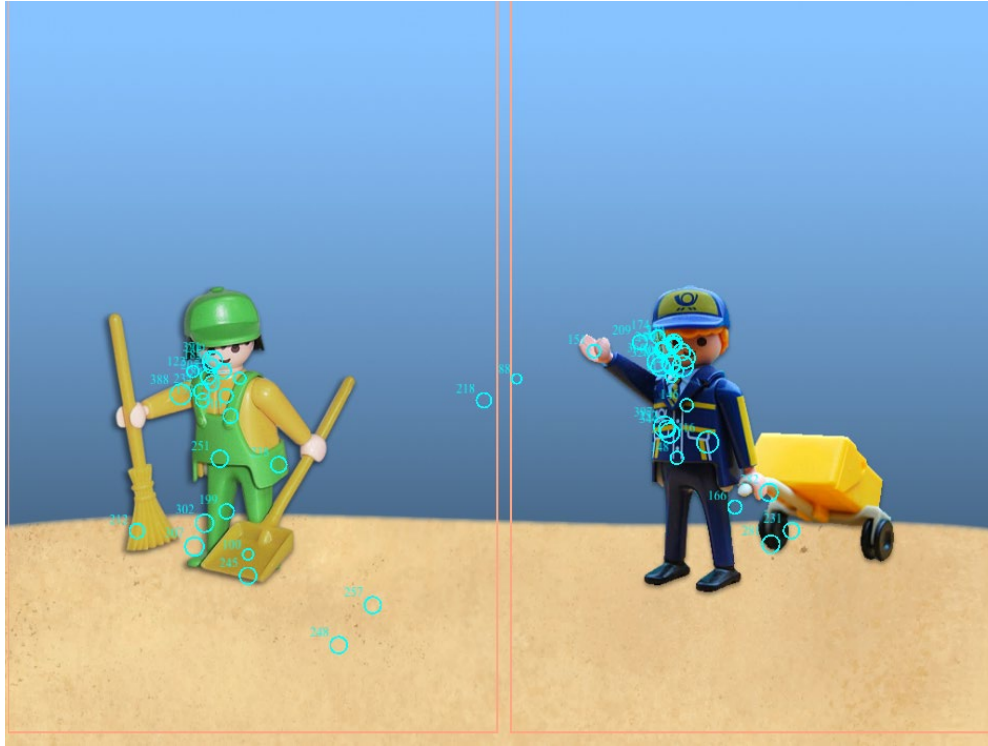
3

# Interprétation des pronoms



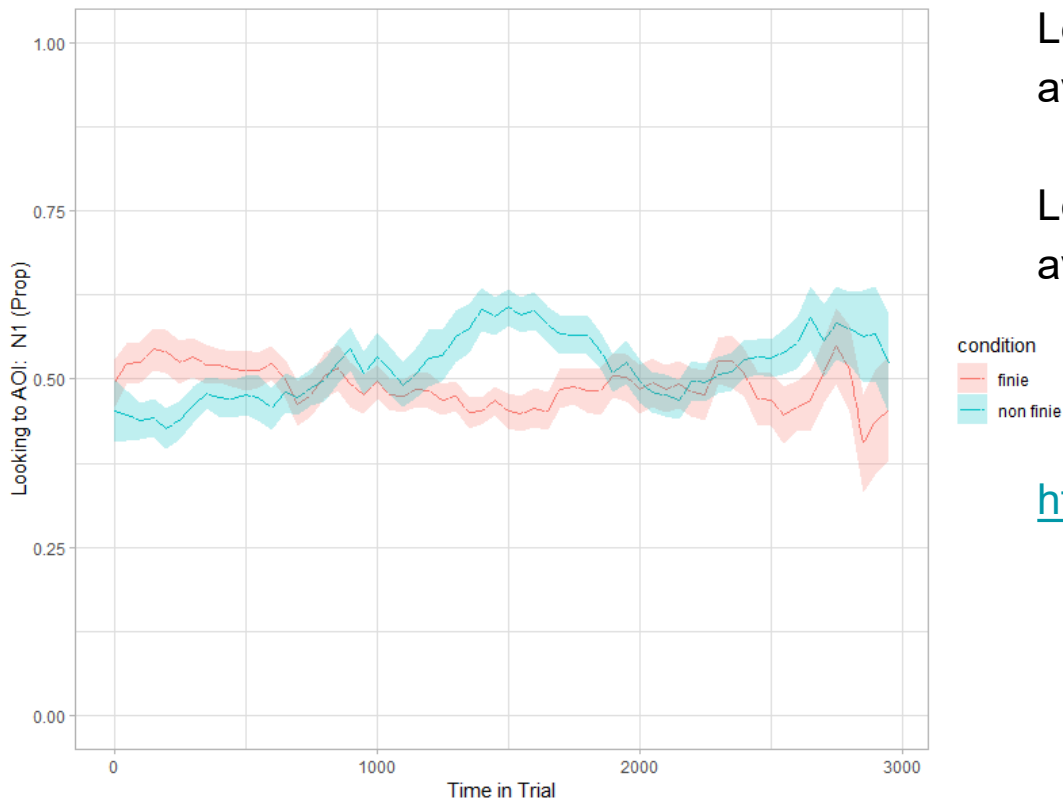
Le balayeur a aidé le facteur avant qu'il rentre chez lui.

# Interprétation des pronoms



Le balayeur a aidé le facteur avant qu'il rentre chez lui.

# Interprétation des pronoms



Le lapin chatouille le renard  
avant qu'il imagine un jeu rigolo.

Le lapin chatouille le renard  
avant d'imaginer un jeu rigolo.

<http://www.eyetracking-r.com/>