

# Mouvements oculomoteurs humains

-

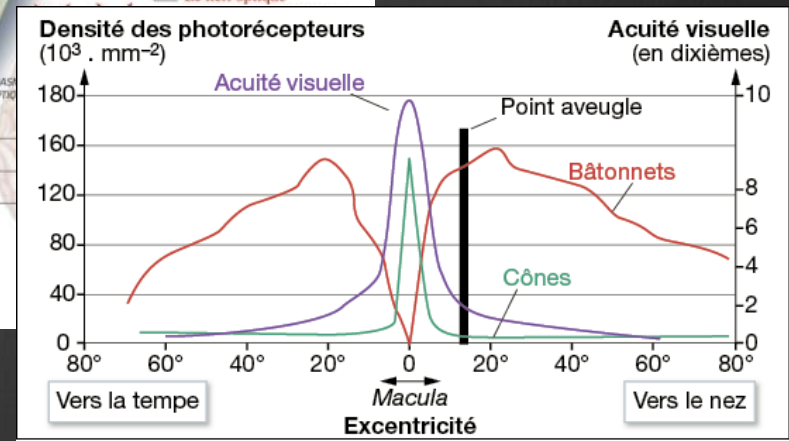
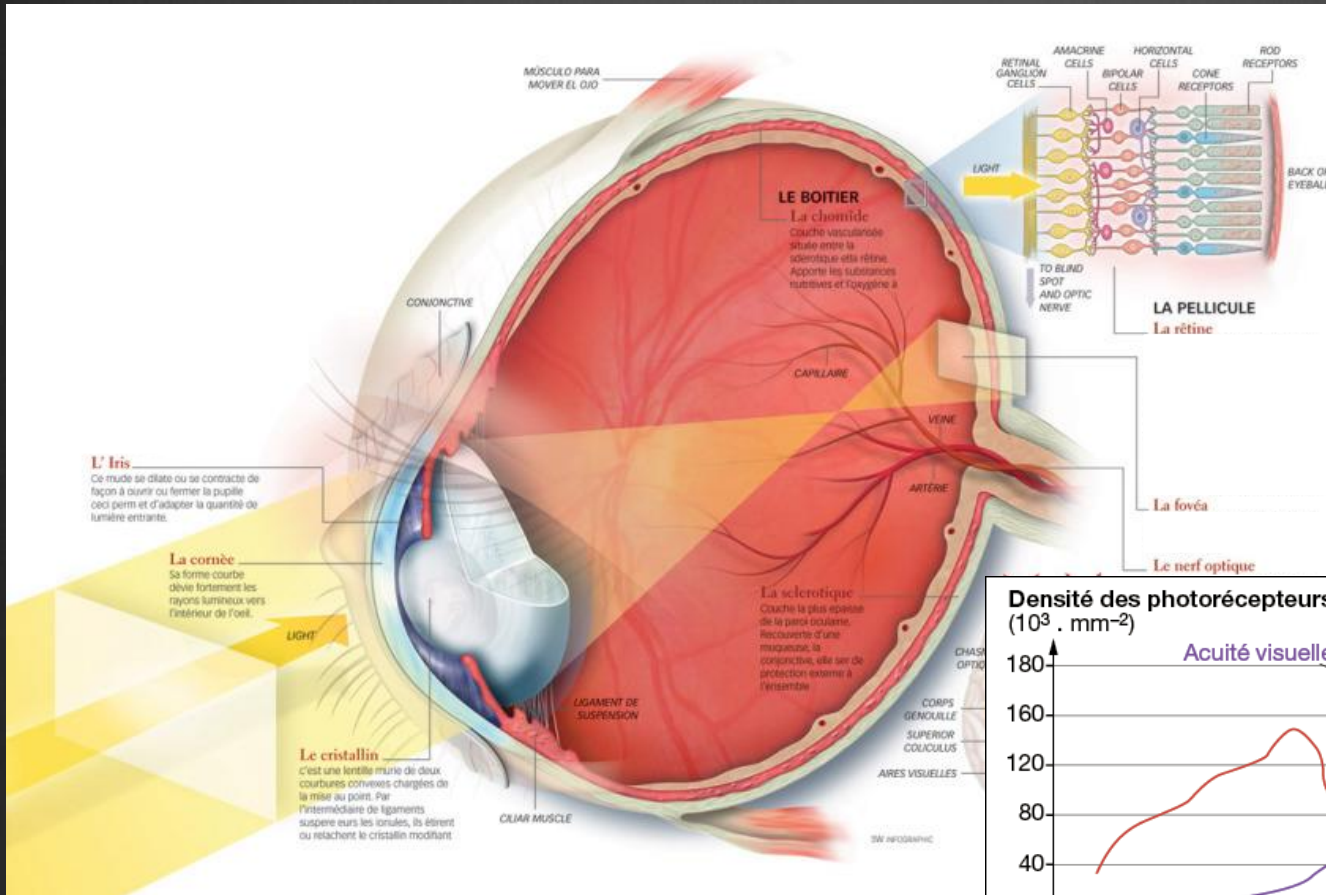
# Application au développement d'eyetrackers

Josselin Gautier, PhD  
josselingautier@gmail.com

# Plan

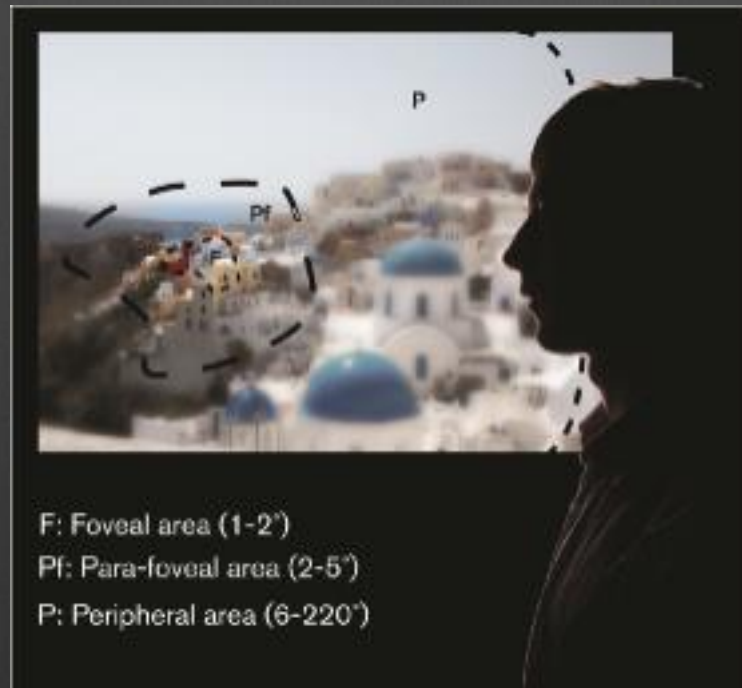
- Le Complexe Oculomoteur et les Mouvements Oculaires
  - Evolution
  - Anatomie
  - Physiologie
  - Types de mouvements oculaires
- Application au suivi oculaire
  - Fréquence et précision nécessaire par mouvement
  - Revue des familles d'eyetrackers du marché
  - Requis pour applications industrielles ou cliniques
  - Pièges à éviter lors du développement, lors de l'analyse

# Anatomie: œil et rétine



# Pourquoi bouge-t-on les yeux ?

## Le champ visuel



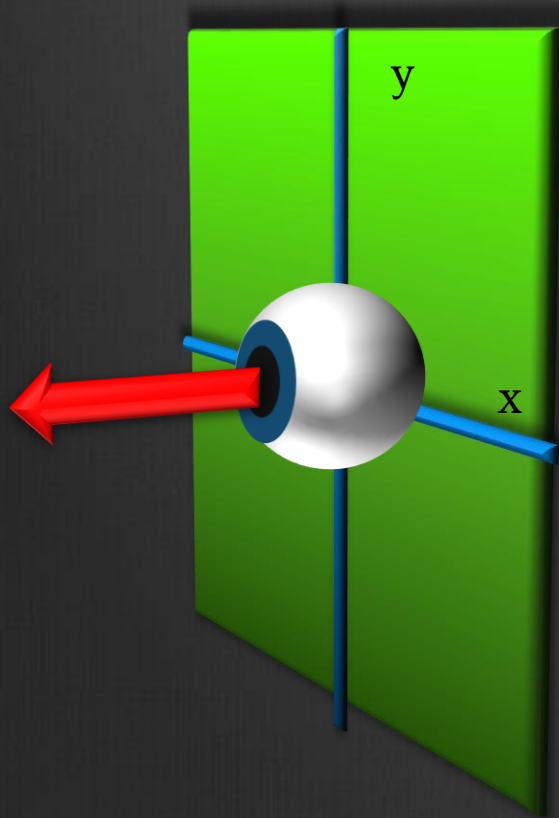
# Positions du regard et loi de Listing

Positions:

primaire

secondaire (x,y abd/adduction)

tertiaires



- Loi de Listing: depuis la position primaire, tout mouvement oculaire est équivalent à une rotation unique dans le plan de Listing

# Les 4 principales lois

- Loi de Listing  
→ rotation+torsion oculaire unique dans le plan      ★ calibration
- Loi de Donder: l'angle de torsion (tilt) pour aller à une position tertiaire est unique et indépendant de la position précédente  
→ torsion indépendante      ★ calibration
- Loi de Descartes-Sherrington: lors de la contraction d'un muscle agoniste; il y a une relaxation **simultanée** du muscle antagoniste.  
« Loi d'innervation réciproque »  
→ application au **diagnostic clinique** des muscles oculaires déficients

# Les mouvements oculaires

Saccades

Fixationels

Poursuites oculaires

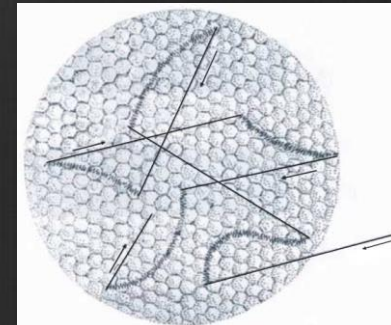
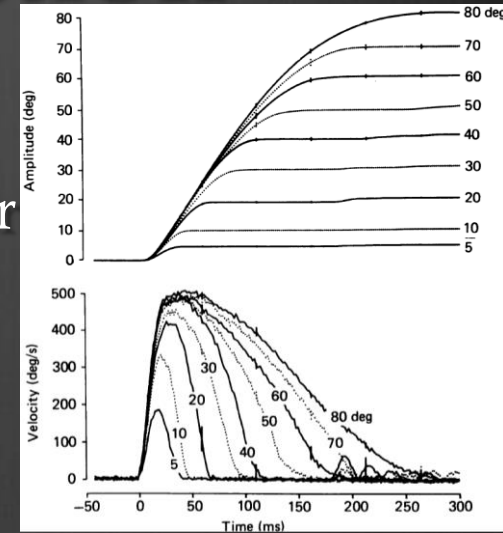
Vergence

Reflex

# En résumé: classification

## ➤ Différents types (sous-systèmes) de mouvements pour fonctions

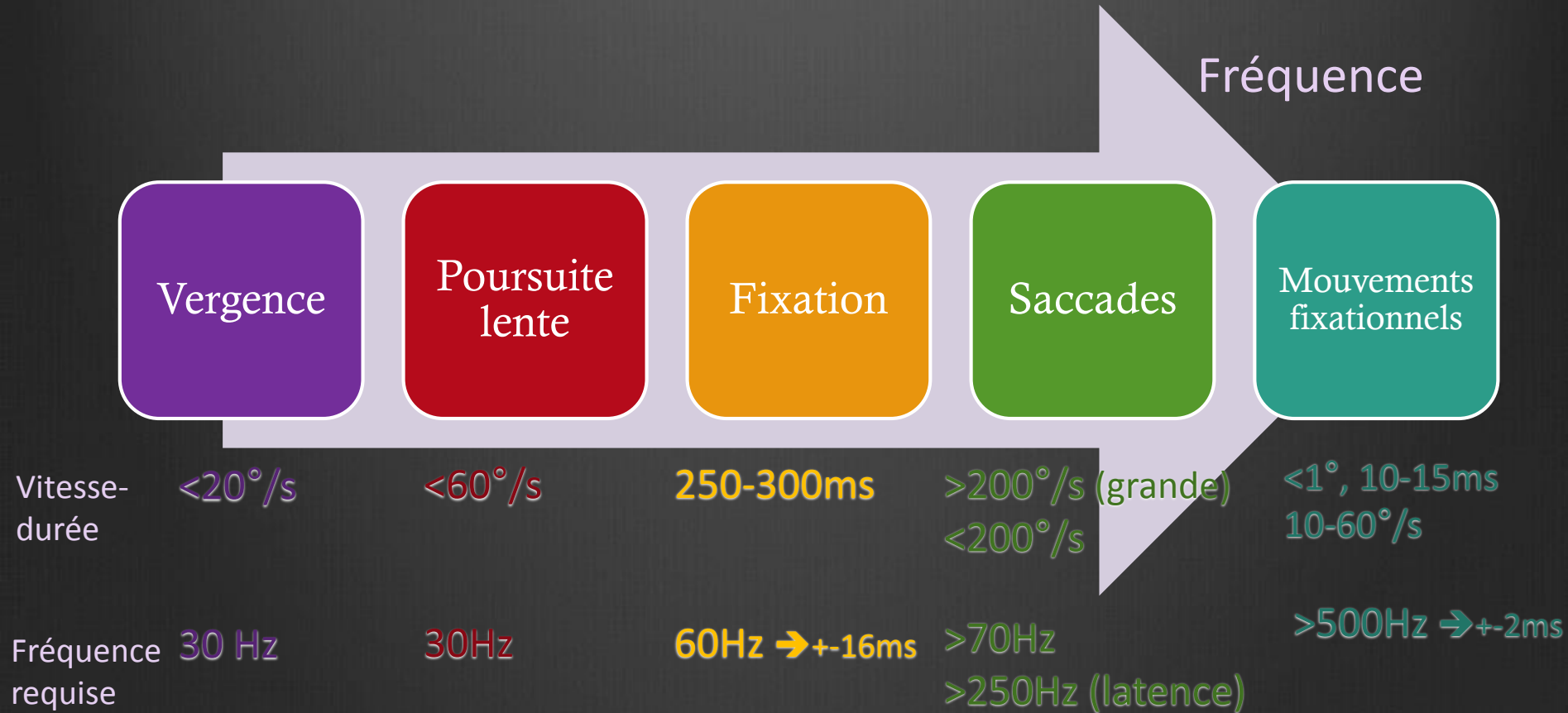
- Saccades → déplace la fovea en 20-50ms
- Fixation → maintien le stimuli sur fovea
  - ↳ Mvt fixationnels → rafraichissement/discrimination  
decorrelation de l'energie?
- Poursuite lente → suivre un objet
- Vergence → suivi/focus des objets en profondeur/proches
- Réflexes → anticipe/suivi des mouvements tête/corps  
ou de l'ensemble du champ visuel





# Application au développement d'eyetrackers

# Besoins en terme de suivi oculaire



# Conclusion: conseils

## Pour un équipement:

questionner le besoin, l'usage → précision? fréquence?  
environnement, flexibilité → type ?

## Pour un développement:

- Partir de prototype simples, approche itérative
- Ordonner les priorités:
  - Optique: large champ, profondeur de champ, MTF ?
  - Combien de sources lumineuses ?
  - Quels degrés de liberté du sujet ? Besoin d'une compensation ?  
D'une détection du glissement ? À quelle fréquence
  - Robustesse aux réflexions des lunettes? Au maquillage?

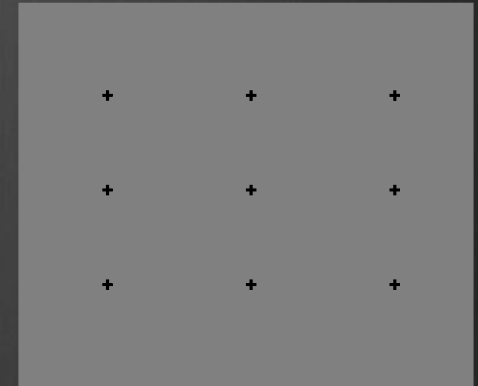
# Écueils à éviter

Focus: optimal sur la réflexion cornéale nette ET la pupille

## Calibration:

les 2 étapes calibration + validation sont primordiales:

- Évaluer la capacité fixationnelle du patient,
- Obtenir une idée de la précision spatiale



→ Si possible (ex: recherche expérimentale), répéter ces phases toutes les 5-10 minutes ! La luminosité de l'arrière-plan de calibration influence la taille de la pupille → choisir une luminosité moyenne représentative du reste du test

## Analyse Hors ligne:

-ôter 200ms avant et après les débuts et fin de clignement

-détecter les saccades irréalistes avec le graphique de séquence primaire

# Références principales

1. Carpenter, R. H. (1988). *Movements of the eyes (2nd rev.* Pion Limited.
2. Collewijn, H., Erkelens, C. J., & Steinman, R. M. (1988). Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements. *The Journal of Physiology*, 404(1), 157-182.
3. Ferman, L., Collewijn, H., & Van den Berg, A. V. (1987). A direct test of Listing's law—I. Human ocular torsion measured in static tertiary positions. *Vision research*, 27(6), 929-938.
4. Gamlin, P. D. (2002). Neural mechanisms for the control of vergence eye movements. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 956(1), 264-272.
5. Henn, V., Cohen, B., & Young, L. R. (1980). Visual-vestibular interaction in motion perception and the generation of nystagmus. *Neurosciences Research Program Bulletin*, 18(4), 457-651.
6. Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (Eds.). (2000). *Principles of neural science* (Vol. 4, pp. 1227-1246). New York: McGraw-Hill.
7. Leigh, R. J., & Zee, D. S. (1999). *The neurology of eye movements* (Vol. 90). New York: Oxford University Press.
8. Von Noorden, G. K., & Burian, H. M. (1990). *Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus* (Vol. 6). St. Louis, MO: Mosby
9. Raphan, T. (1977). A velocity-storage mechanism responsible for optokinetic nystagmus (OKN), optokinetic after-nystagmus (OKAN) and vestibular nystagmus. *Control of gaze by brain stem neurons.*, 37-47.
10. Rashbass, C. (1961). The relationship between saccadic and smooth tracking eye movements. *The Journal of Physiology*, 159(2), 326.

# Références principales

11. Van Rijn, L. J., Van der Steen, J., & Collewijn, H. (1994). Instability of ocular torsion during fixation: cyclovergence is more stable than cycloverision. *Vision Research*, 34(8), 1077-1087.
12. Ross, J., Morrone, M. C., Goldberg, M. E., & Burr, D. C. (2001). Changes in visual perception at the time of saccades. *Trends in neurosciences*, 24(2), 113-121.
13. Schor, C. M., & Kotulak, J. C. (1986). Dynamic interactions between accommodation and convergence are velocity sensitive. *Vision research*, 26(6), 927-942.
14. St Cyr, G. J., & Fender, D. H. (1969). The interplay of drifts and flicks in binocular fixation. *Vision research*, 9(2), 245-265.
15. ter Braak, J. W. G. (1936). Investigations concerning opto-kinetic nystagmus. *Arch Neurol Physiol*, 21, 309-376.