



Étude sur les alignements d'émergences ponctuelles pouvant former un masque à la visibilité en dynamique pour les systèmes tramway



Journée d'échanges Tramways
27 juin 2023



1. *Introduction (STRMTG)*
2. **Cadre expérimental**
3. **Éléments de l'étude**
4. **Méthodologie**
5. **Résultats**
6. **Conclusion**



1. Introduction
2. Cadre expérimental
3. Éléments de l'étude
4. Méthodologie
5. Résultats
6. Conclusion

2. Cadre expérimental

2. Cadre expérimental (1/6)



- Porteurs de l'étude
 - Groupement de 3 membres



- En interaction continue avec le STRMTG

2. Cadre expérimental (2/6)



LAMIH
UMR CNRS 8201

- **Porteurs de l'étude**

- **LAMIH UMR CNRS 8201**

- Laboratoire de recherche public, pluridisciplinaire
- Spécialisé dans le transport et la mobilité
- Dépend :
 - CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique)
 - UPHF (Université Polytechnique Hauts-de-France)



2. Cadre expérimental (3/6)



- Porteurs de l'étude

- **OKTAL SYDAC**

- Société spécialiste de la simulation de transport
 - Domaines :
 - Formation
 - Recherche & développement



2. Cadre expérimental (4/6)



- Porteurs de l'étude

- **FactHum France**

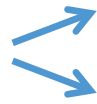
- Société experte en analyse des facteurs humains, ergonomie et conception centrée utilisateurs
 - Spécialisée dans le domaine ferroviaire
 - Principales activités :
 - Conception de systèmes de travail
 - Analyse experte (risques, évaluation...)
 - Recherche



2. Cadre expérimental (5/6)

- Moyens expérimentaux

Etude liée à la sécurité



~~contexte réel~~
simulateur

- **Simulateur PSCHITT-Rail**

- Equipement de recherche conçu par le LAMIH
- Caractéristiques
 - Echelle 1
 - Environnement tramway (OKTAL SYDAC)
 - Ligne générique
 - Vrai pupitre de conduite
 - Plateforme dynamique
 - **Collecte de données** (actions conducteur, dynamique ...)

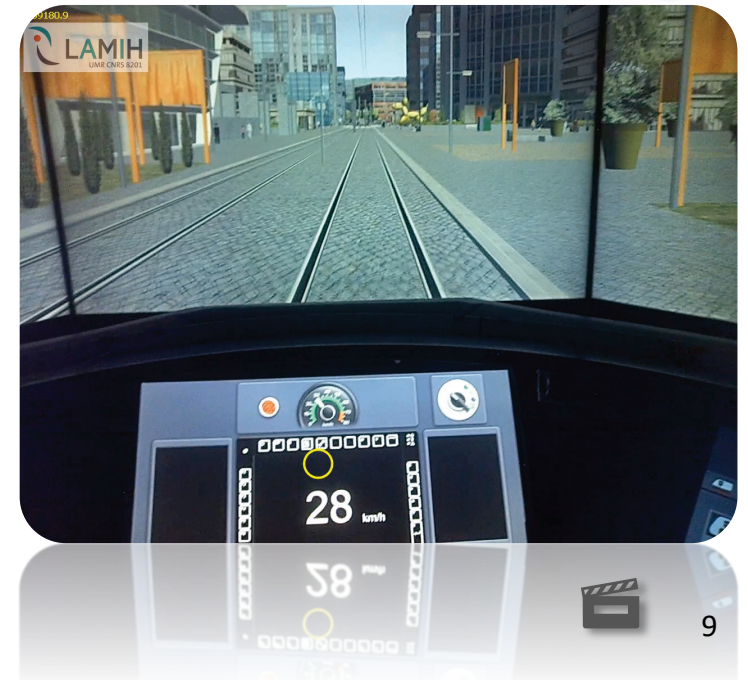


2. Cadre expérimental (6/6)

- Moyens expérimentaux

- **Oculomètre**

- Dispositif de capture et d'analyse du regard
- Caractéristiques
 - Enregistrement de la scène vue par le conducteur
 - Incrustation de la direction du regard
 - Calcul de données liées au regard (fixations, saccades...)





1. Introduction
2. Cadre expérimental
3. **Eléments de l'étude**
4. Méthodologie
5. Résultats
6. Conclusion

3. Eléments de l'étude

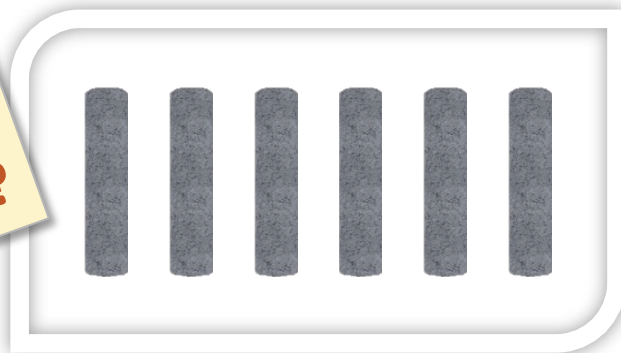
3. Éléments de l'étude (1/8)



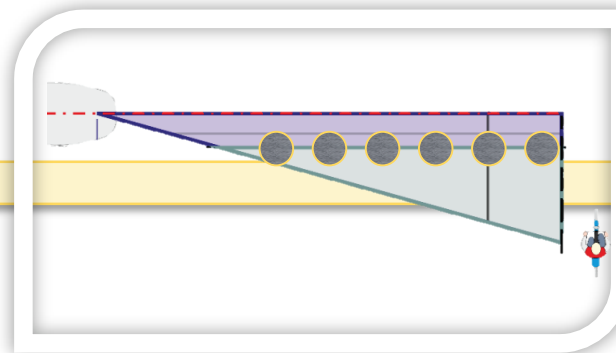
- Éléments issus de la définition :

- « Étude sur les alignements d'émergences ponctuelles pouvant former un masque à la visibilité en dynamique pour les systèmes tramway »

 Objectif :
masque ?



Configurations d'émergences



Cônes de visibilité



Situations






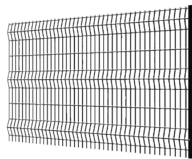
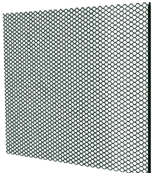
- Caractéristiques → en concertation avec le STRMTG
- Emergences existantes dans les réseaux / les plus impactantes (REX)

3. Éléments de l'étude (2/8)

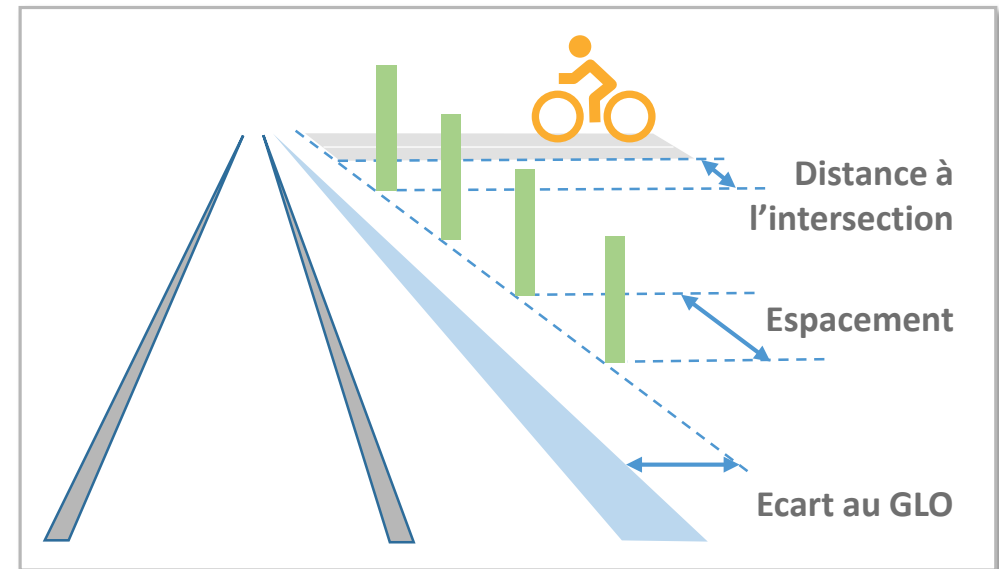


- Configurations d'émergences

- Type d'émergences

Barrière à lisses verticales	Barrière en croix	
		
Emergences circulaires		
 Ø 0,09 m	 Ø 0,15 m	 Ø 0,40m
Grillage rigide	Grillage simple torsion	
		

- Dispositions d'alignement



3. Éléments de l'étude (3/8)



- Configurations d'émergences

- Nombre : 20

Id configuration	Type d'émergence	Espacement (*) (m)	Écart au GLO (*) (m)	Distance à l'intersection (*) (m)
1	Barrière à lisses verticales	0,1	0,3	0,1
2	Barrière en croix			
3	Circulaire Ø. 0,09 m	1	0,3	0,5
4			1	
5		3	0,3	
6			1	
7		1	0,3	
8			1	
9	1,5			
10	3		0,3	
11			1	
12	5	0,3		
13	Circulaire Ø. 0,15 m	3	1	
14			1	
15		5	1,5	
16			0,3	
17		8	1,5	
18	Grillage rigide	0	1	
19	Grillage simple torsion		0,3	
20			1	

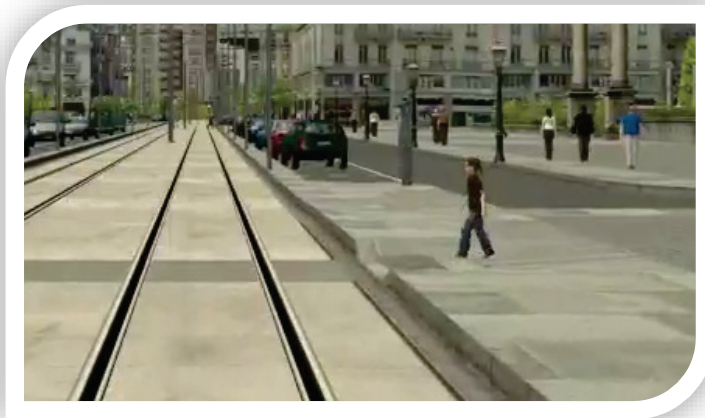
(*) par rapport au bord de l'émergence

3. Éléments de l'étude (4/8)



- Situations

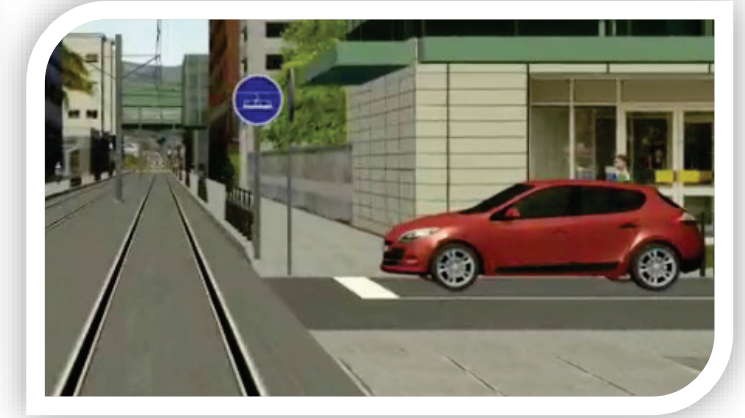
- Intersections



Traversée piétonne
(avec BEV)



Traversée cycle
(double sens avec stop)



Traversée voiture
(double sens avec stop)

Approche du tramway : 30 km/h
(vitesse de consigne) 40 km/h

3. Éléments de l'étude (5/8)



- Situations

- Tiers



Piétons



Vélos



Voitures

Approche du tiers 3,6 km/h | + arrêt BEV
5,4 km/h

9 km/h | + arrêt stop
18 km/h

Arrêté au stop
36 km/h + arrêt stop

3. Éléments de l'étude (6/8)



Source : fiche IUTCS n°04 (version 2018)
Tramway et visibilité : méthodes et outils



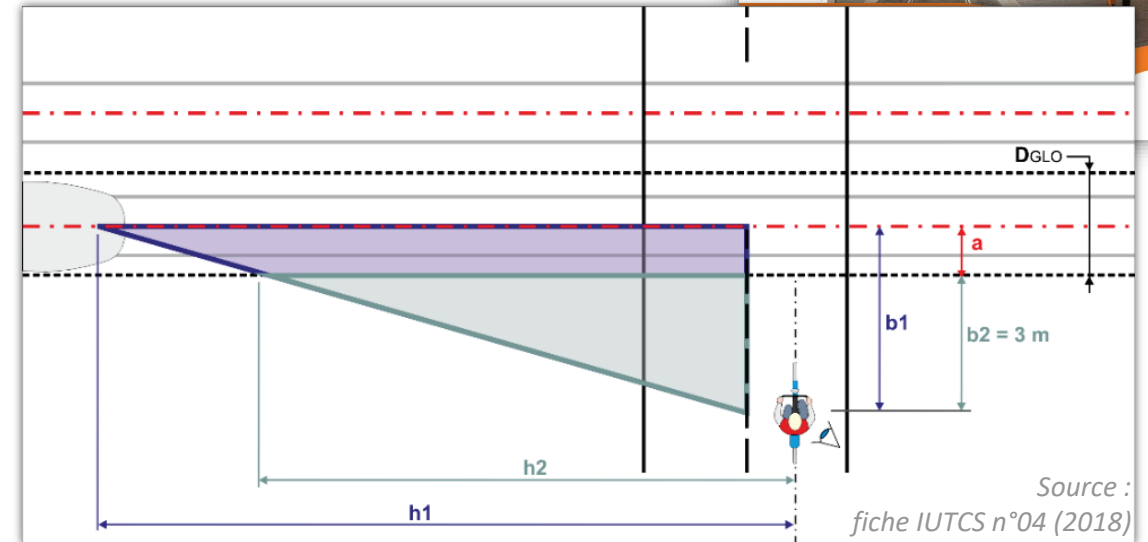
• Cônes de visibilité

• Issus de la fiche IUTCS n°04 (version 2018)

- Assurer une visibilité minimale (intersections)
- Zones de « sécurité visuelle », devant être libres de masques

• Calculés notamment selon :

- Type d'intersection
- Vitesses du tramway et du tiers
- Distance du tiers au GLO
- Largeur du GLO



Source :
fiche IUTCS n°04 (2018)

Avec une vitesse du tramway (v_{tw}) exprimée en m/s, on appliquera donc la formule suivante pour le tramway venant de la voie la plus proche :

$$h1 = \frac{v_{tw} * (D_{GLO} + b2)}{v_{cycle}}$$

3. Éléments de l'étude (7/8)

- **Cônes de visibilité**

- **Constat lors des essais**

Pour certaines situations :

- Déplacements tram & tiers petits
 - Dynamique très rapide

- **Effet**

- Faible possibilité de réaction du conducteur
 - Insuffisance des données à analyser



3. Éléments de l'étude (8/8)



- **Cônes de visibilité**

- **Solution : étendre les cônes**

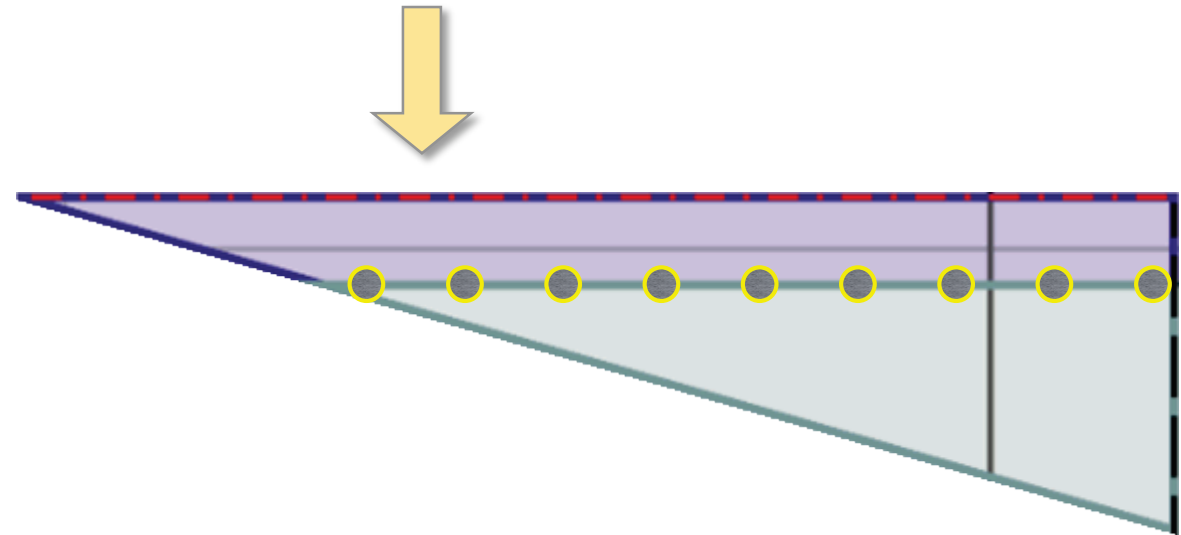
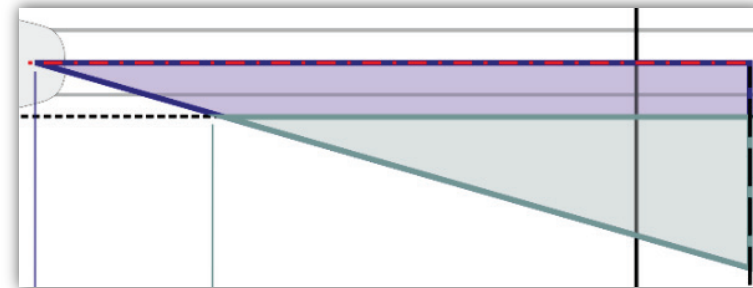
- ⊕ temps pour réagir
 - ⊕ données à analyser

- **Modalités (pour l'étude)**

- Forme conservée (angles)
 - Dimensions étendues (zoom)

- **Implantation des configurations**

- Associées à chaque situation
 - À l'intérieur des cônes





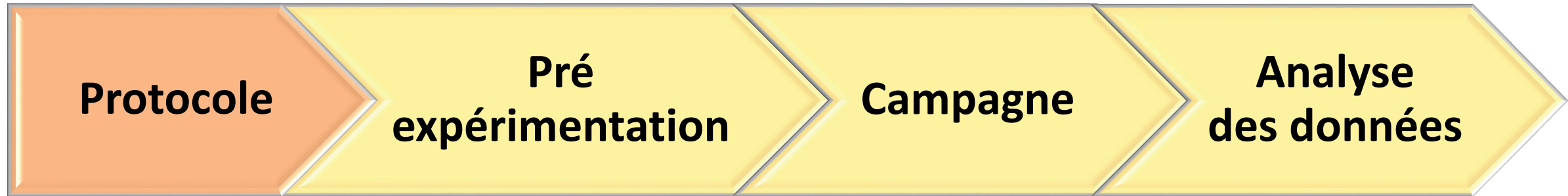
1. Introduction
2. Cadre expérimental
3. Éléments de l'étude
4. **Méthodologie**
5. Résultats
6. Conclusion

4. Méthodologie

4. Méthodologie (1/16)



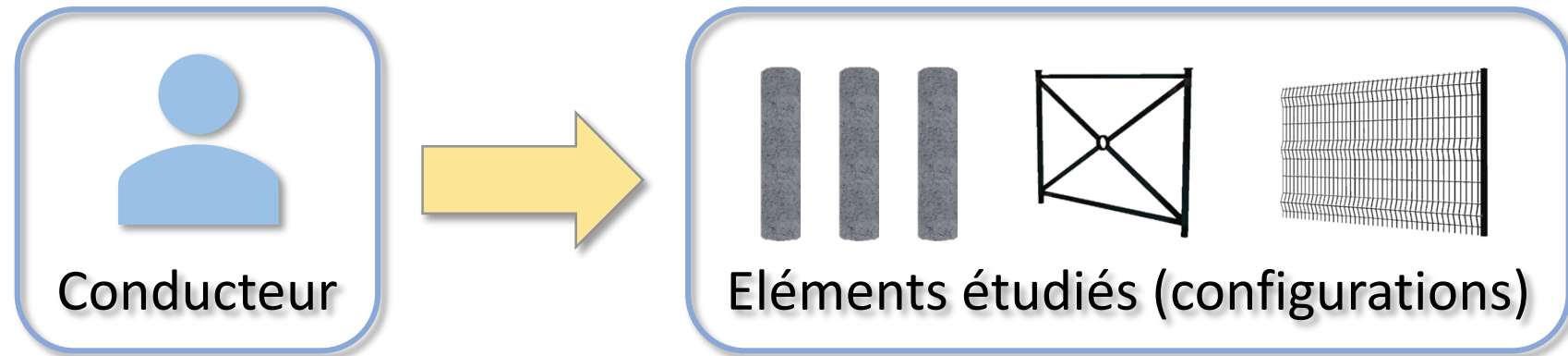
- Méthodologie en 4 phases





- Protocole expérimental

- Scénarios → Point clé
 - Objectif : mettre en présence



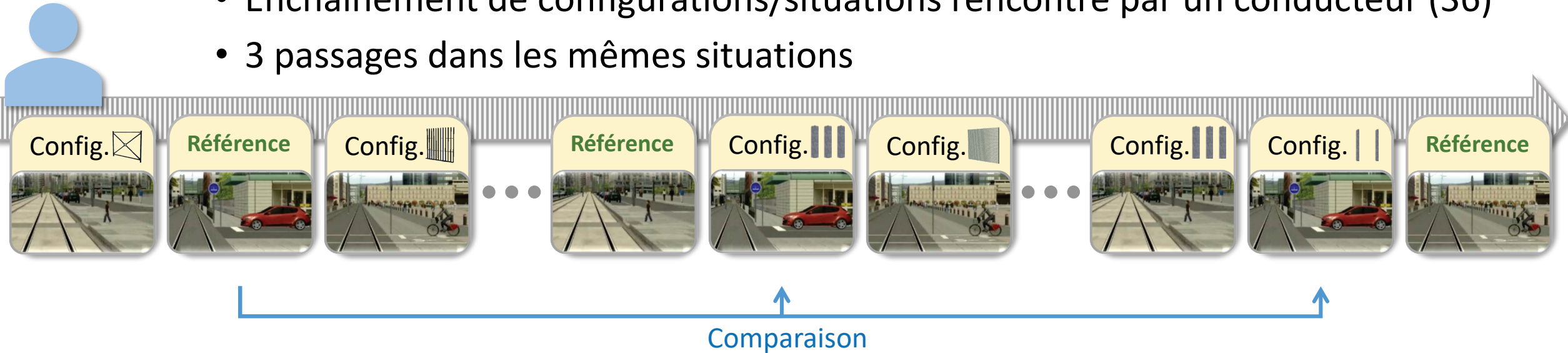
- Conçus de manière à :
 - Limiter les biais
 - Permettre l'analyse des données collectées



- Protocole expérimental

- Scénarios

- Enchaînement de configurations/situations rencontré par un conducteur (36)
- 3 passages dans les mêmes situations



- Situations sans émergences (référence)
→ Analyse par comparaison (incidence de l'ajout des émergences)

4. Méthodologie (4/16)



- Protocole expérimental
 - Scénarios : exemple de mise en œuvre



• Protocole expérimental

• Déroulement de l'expérimentation

- **Objectif** : reproductibilité du contexte expérimental entre conducteurs
- Définit :
 - Actions et procédures expérimentales
 - Enchaînement temporel
- Structuré en 5 phases
(accueil, habitude, expérimentation, entretien, départ)

Phase 1 – Accueil du participant

- Accueil physique dans les locaux
- Présentation
 - Plateforme
 - Expérimentation (sans indication de l'objet)
 - Consignes générales
 - Consignes de sécurité (briefing)
- Signature des documents réglementaires

Phase 2 – Habitude

- Installation en cabine
- Présentation
 - Pupitre
 - Environnement de conduite
 - Consignes de conduite
- Conduite accompagnée (scénario d'habitude)

Phase 3 – Session expérimentale

- Calibration de l'oculomètre sur le participant
- Conduite en autonomie (scénario d'étude)
- Supervision et prises de notes *
- Simulation du régulateur PCC si besoin * * Expérimentateur

Phase 4 – Entretien post-expérimental (debriefing)

- Questionnement du conducteur
- Confrontation à des situations ciblées dans la vidéo
- Echange libre

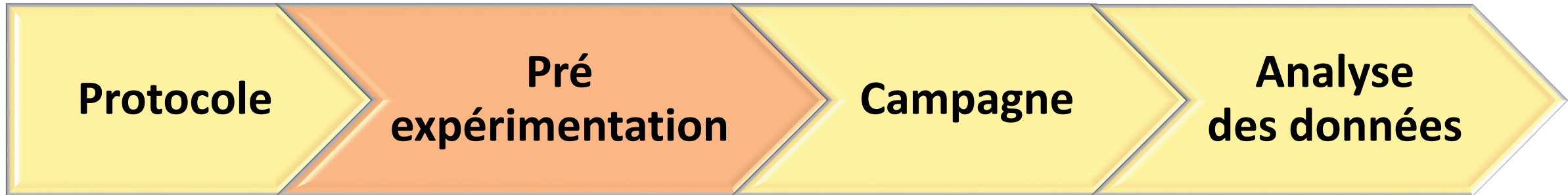
Phase 5 – Départ du participant

- Reconduite du participant hors des locaux

4. Méthodologie (6/16)



- Méthodologie en 4 phases





- **Préexpérimentation**

- **Objectif** : éprouver les aspects fonctionnel, organisationnel et technique

- Protocole
- Moyens expérimentaux

- **Déroulement**

- Conditions identiques à la campagne expérimentale
- Conducteur unique (« sujet brûlé »)
- En amont de la campagne, le 1^{er} juin 2022

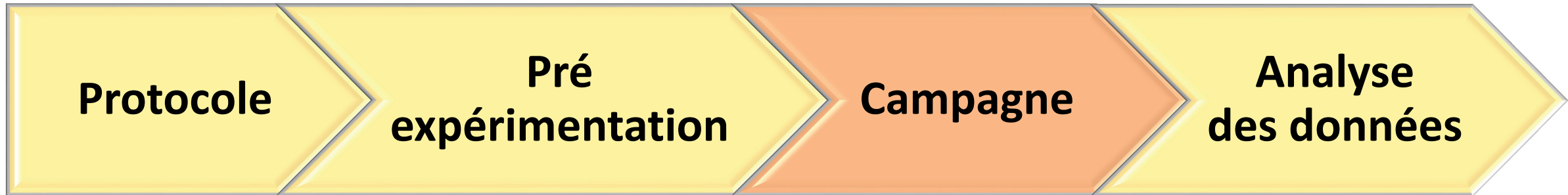
=> **Validation de l'expérimentation**



4. Méthodologie (8/16)



- Méthodologie en 4 phases





- **Campagne expérimentale**

- **Objectif**

- Collecter les données pertinentes pour l'étude

- **Panel de conducteurs**

- 3 réseaux nationaux (Nantes, Paris, Valenciennes)
- 15 conducteurs nécessaires à l'étude
- 23 conducteurs recrutés
 - Anticiper les aléas inhérents à toute campagne

- **Déroulement**

- Du 14 juin au 7 juillet 2022

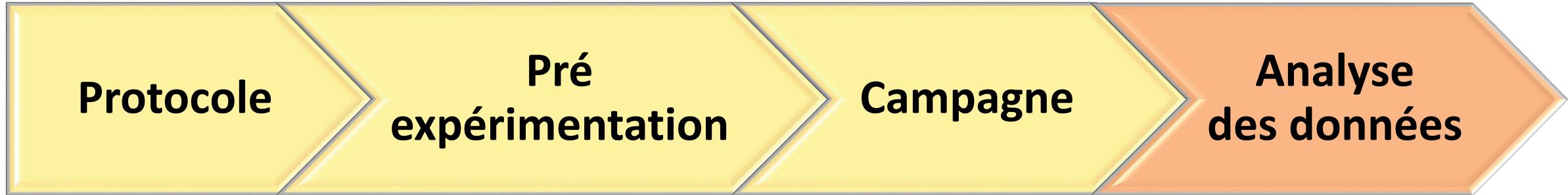


Réseaux	SEMITAN	31,25%
	RATP	31,25%
	Transvilles	37,50%
Genre	Homme	87,50%
	Femme	12,50%
Âge moyen		43,8 ans
Expérience de conduite moyenne		98 mois (≈ 8,2 ans)

4. Méthodologie (10/16)



- Méthodologie en 4 phases





- Analyse des données

- Définition d'indicateurs

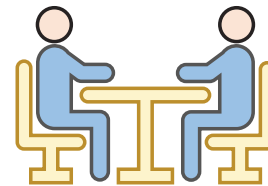
- Actions de conduite et dynamique tramway



- Oculométrie

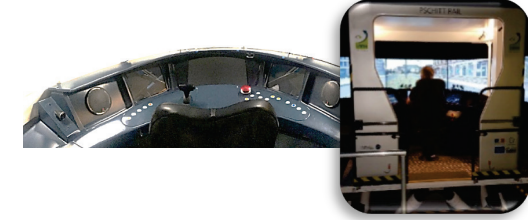


- Entretiens postexpérimentaux





• Analyse des données



• Définition d'indicateurs : actions de conduite et dynamique tramway

→ Actionnement de commandes : boutons , VACMA , gong  ...

→ Freinage 

- premier : valeur et temps avant déclenchement
- maximal : valeur et temps avant déclenchement

→ Vitesse 

- entrée dans la situation
- passage devant le tiers
- moyenne dans la situation



• Analyse des données

• Définition d'indicateurs : **oculométrie**

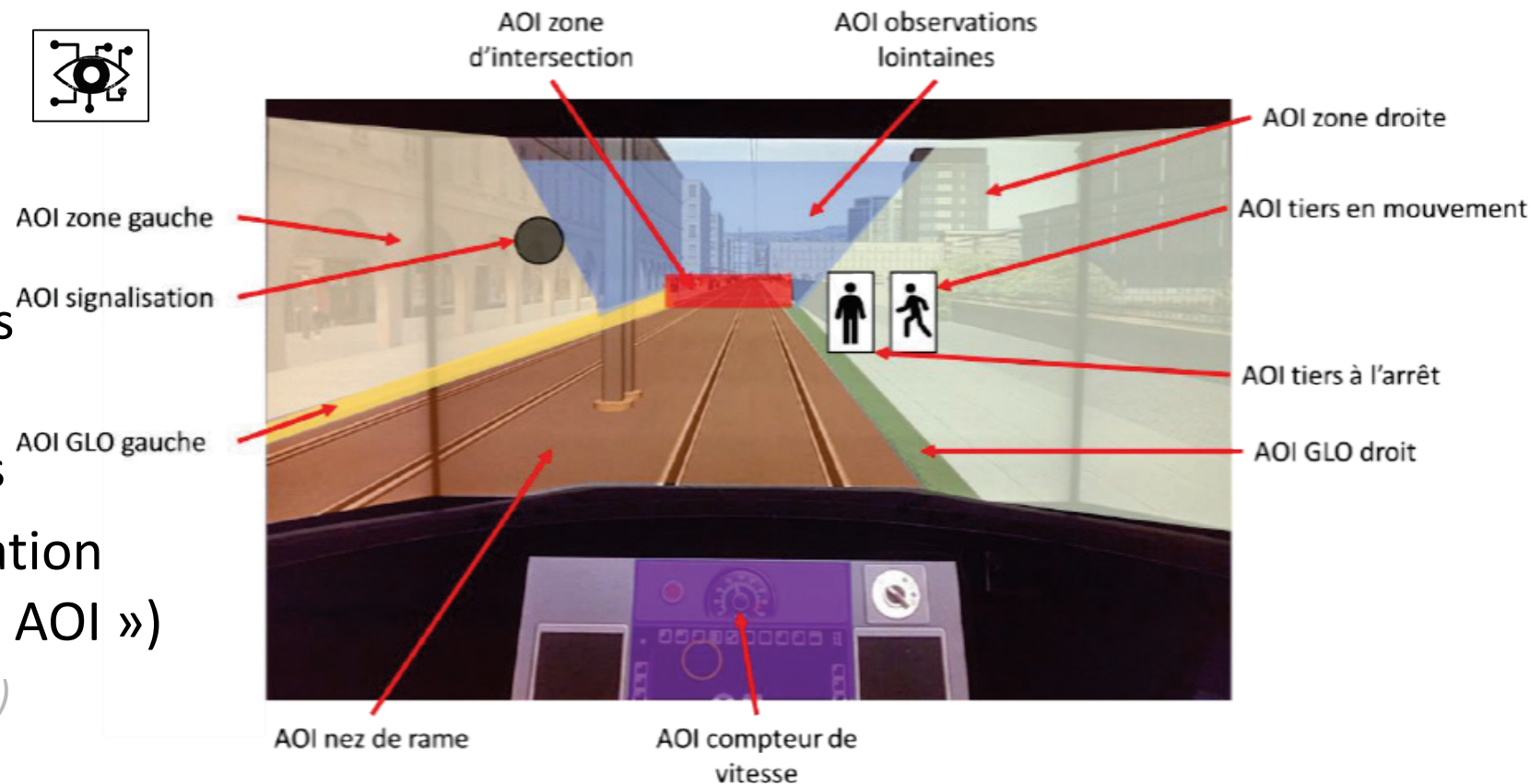


→ Fixations du regard



- Nombre
- Durée
 - Fixation du tiers
 - Avant la 1^{ère} fixation du tiers
- % de temps de fixation par zone intérêt (« AOI »)

(AOI : Area Of Interest)







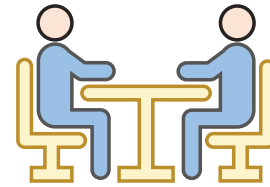


- Analyse des données

- Définition d'indicateurs : **oculométrie**

→ Catégories de comportement

- Suivi focalisé  : suivi **continu** du tiers, de son repérage à son arrêt
- Suivi partiel  : suivi **discontinu**, interrompu par la fixation d'autre(s) zone(s)
- Détection  : observation du tiers **furtive**, sans suivi apparent
- Surprise  : **aucune** fixation du tiers avant l'arrivée à l'intersection



- Analyse des données

- **Définition d'indicateurs : entretiens postexpérimentaux (+ rejeu vidéo)**

→ Diagnostic et actions du conducteur  , notamment dans 3 contextes :

- Vue des émergences au loin (*perception*)

« Vous souvenez-vous ce que vous vous êtes dit à ce moment précis ? »

- A l'approche des émergences (*évolution de la perception et actions*)

« Vous souvenez-vous ce que vous avez fait et pourquoi ? »

- Au niveau des émergences (*évolution de la perception et actions*)

« Pouvez-vous m'indiquer ce que vous vous êtes dit et ce que vous avez fait ? »

- Analyse des données

- Etude des indicateurs

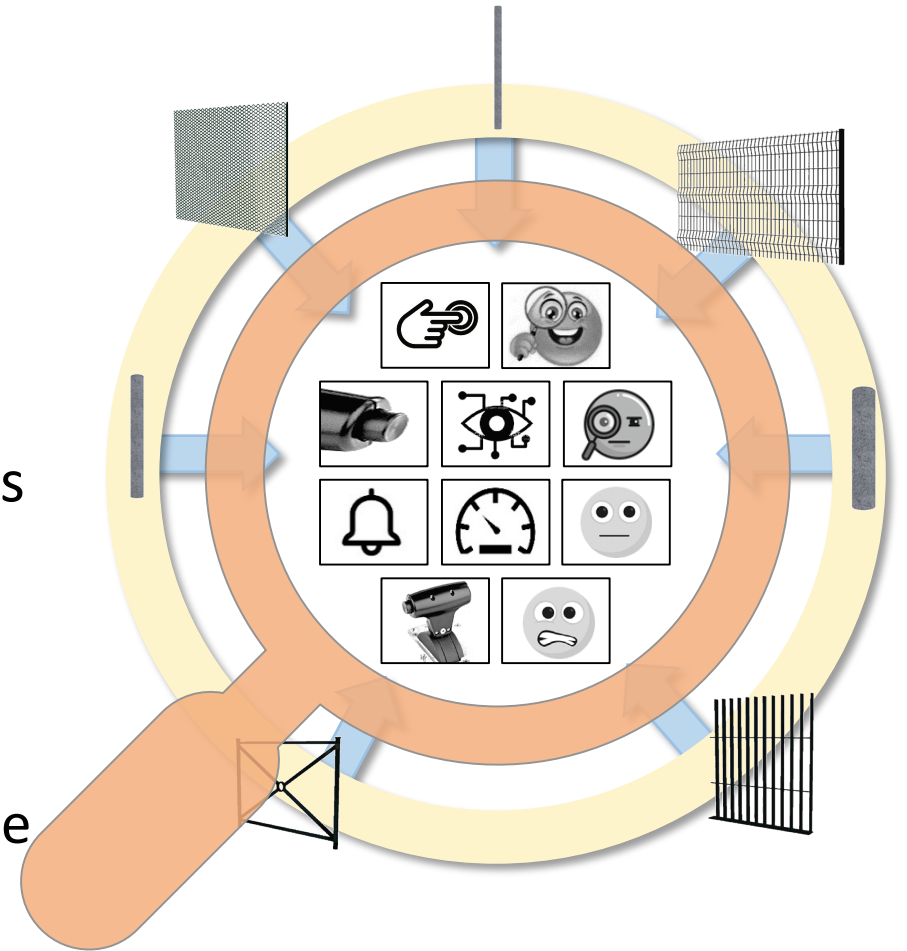
- Objectifs

Déterminer/comprendre l'incidence de la configuration d'émergences sur les indicateurs

- Approche systémique (« vue d'ensemble »)

- Deux impacts a priori équivalents
→ significations différentes selon le contexte
- Exemple :

Suivi partiel → être une « vérification » ou traduire une « perte de visibilité »





1. Introduction
2. Cadre expérimental
3. Éléments de l'étude
4. Méthodologie
5. Résultats
6. Conclusion

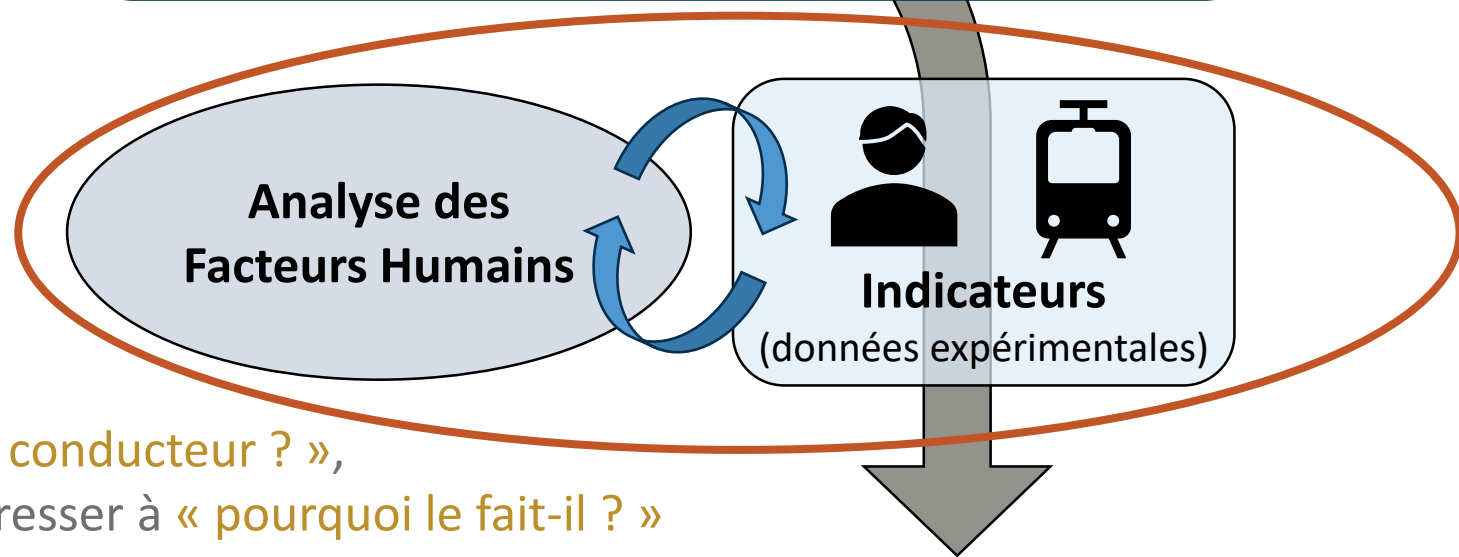
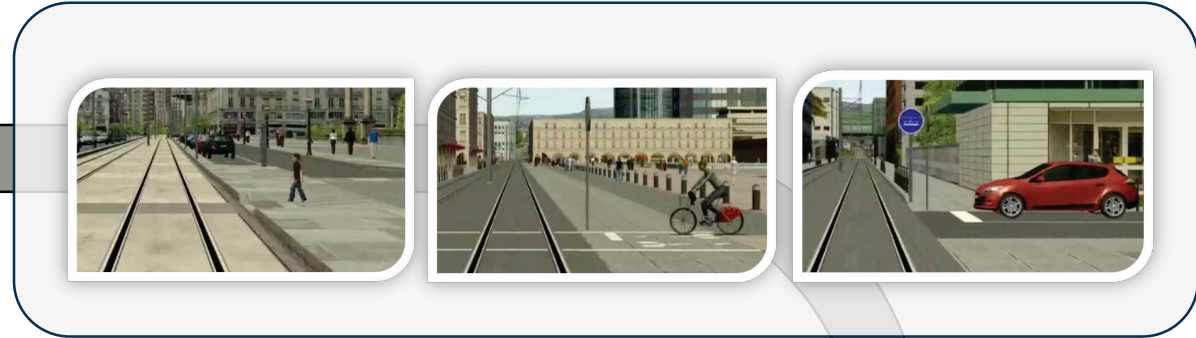
5. Résultats

5. Résultats (1/11)



• Vue d'ensemble

Id configuration	Type d'émergence	Espacement ^(*) (m)	Écart au GLO ^(*) (m)	Distance à l'intersection ^(*) (m)
1	Barrière à lisses verticales	0,1	0,3	0,1
2	Barrière en croix	0,1	0,3	0,1
3	Circulaire Ø. 0,09 m	1	0,3	0,5
4	Circulaire Ø. 0,09 m	1	1	0,5
5	Circulaire Ø. 0,09 m	3	0,3	0,5
6	Circulaire Ø. 0,09 m	3	1	0,5
7	Circulaire Ø. 0,15 m	1	0,3	0,5
8	Circulaire Ø. 0,15 m	1	1	0,5
9	Circulaire Ø. 0,15 m	1	1,5	0,5
10	Circulaire Ø. 0,15 m	3	0,3	0,5
11	Circulaire Ø. 0,15 m	3	1	0,5
12	Circulaire Ø. 0,15 m	5	0,3	0,5
13	Circulaire Ø. 0,40 m	3	1	0,5
14	Circulaire Ø. 0,40 m	5	1	0,5
15	Circulaire Ø. 0,40 m	5	1,5	0,5
16	Circulaire Ø. 0,40 m	8	0,3	0,5
17	Circulaire Ø. 0,40 m	8	1,5	0,5
18	Grillage rigide	0	1	0,5
19	Grillage simple torsion	0	0,3	0,5
20	Grillage simple torsion	0	1	0,5
Nombre	20	<i>(*) par rapport au bord de l'émergence</i>		



Plus qu'à « que fait le conducteur ? », nous allons nous intéresser à « pourquoi le fait-il ? »



- Qualification

Pas de gêne visible ni de masquage

Gêne relative ne semblant pas aller jusqu'au masque

Qualification en tant que masque

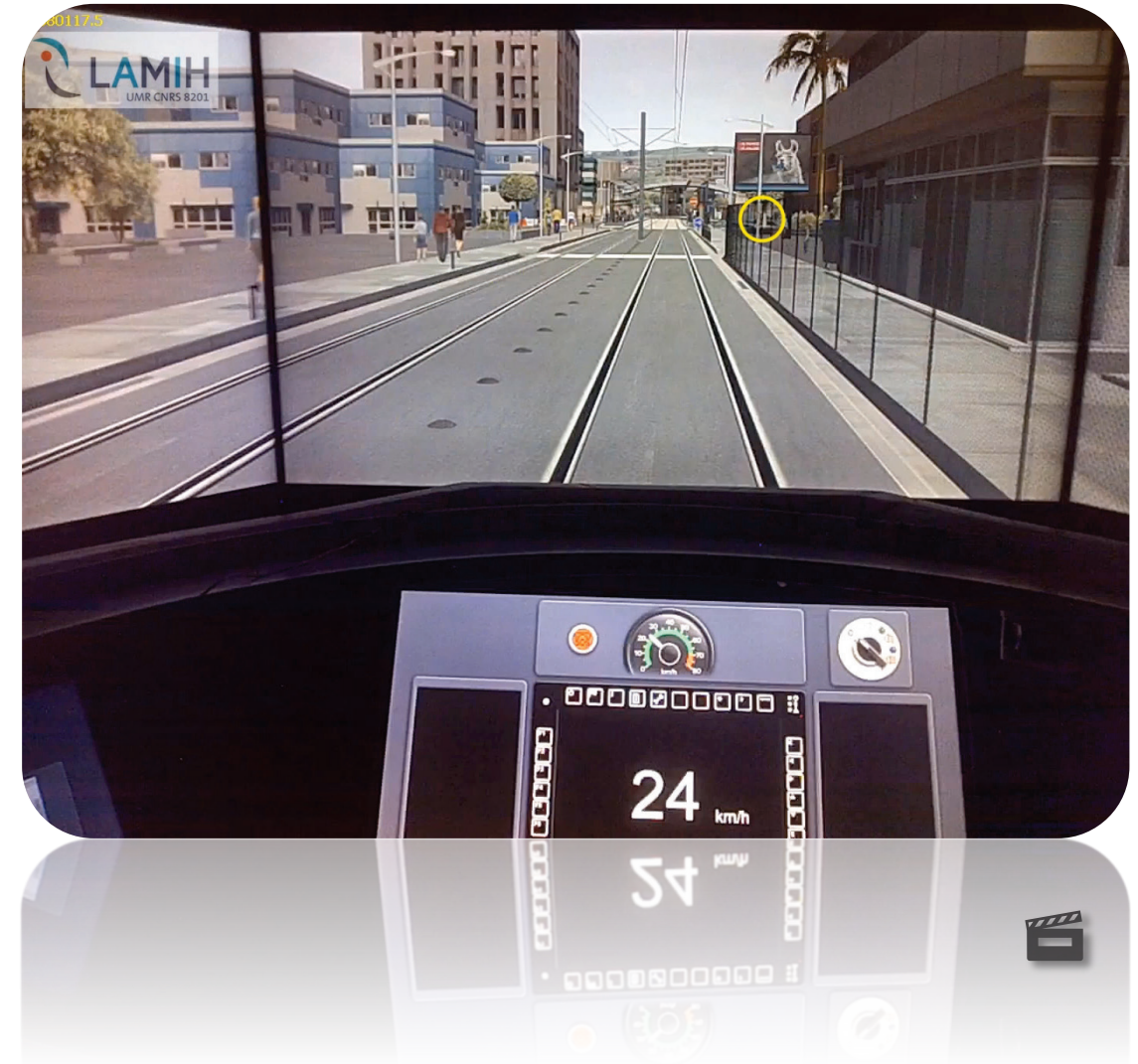
5. Résultats (3/11)

- Qualification

Pas de gêne visible ni de masquage

Gêne relative ne semblant pas aller jusqu'au masque

Qualification en tant que masque

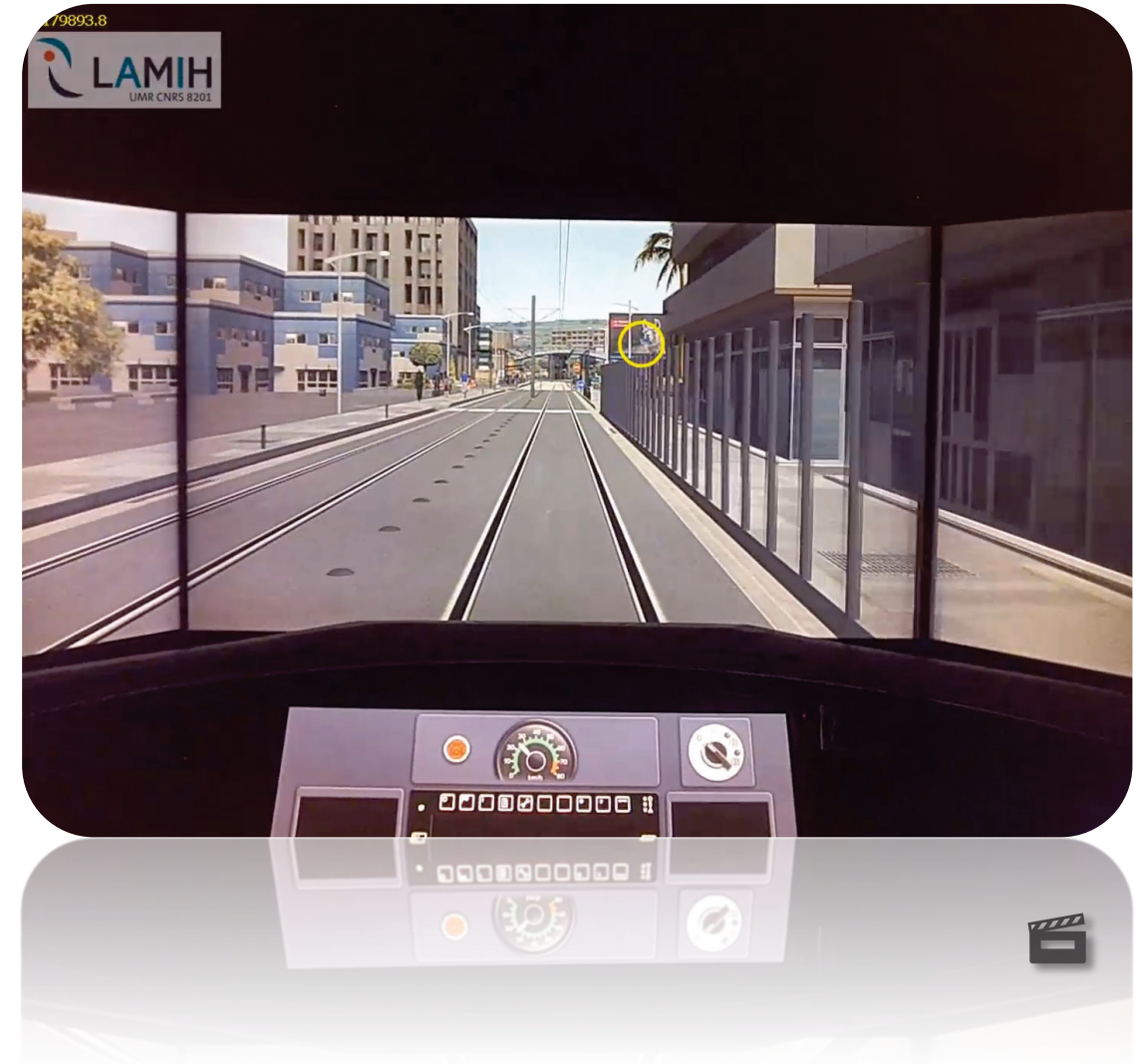


- Qualification

Pas de gêne visible ni de masquage

Gêne relative ne semblant pas aller jusqu'au masque

Qualification en tant que masque



5. Résultats (5/11)

- Qualification

Pas de gêne visible ni de masquage

Gêne relative ne semblant pas aller jusqu'au masque

Qualification en tant que masque

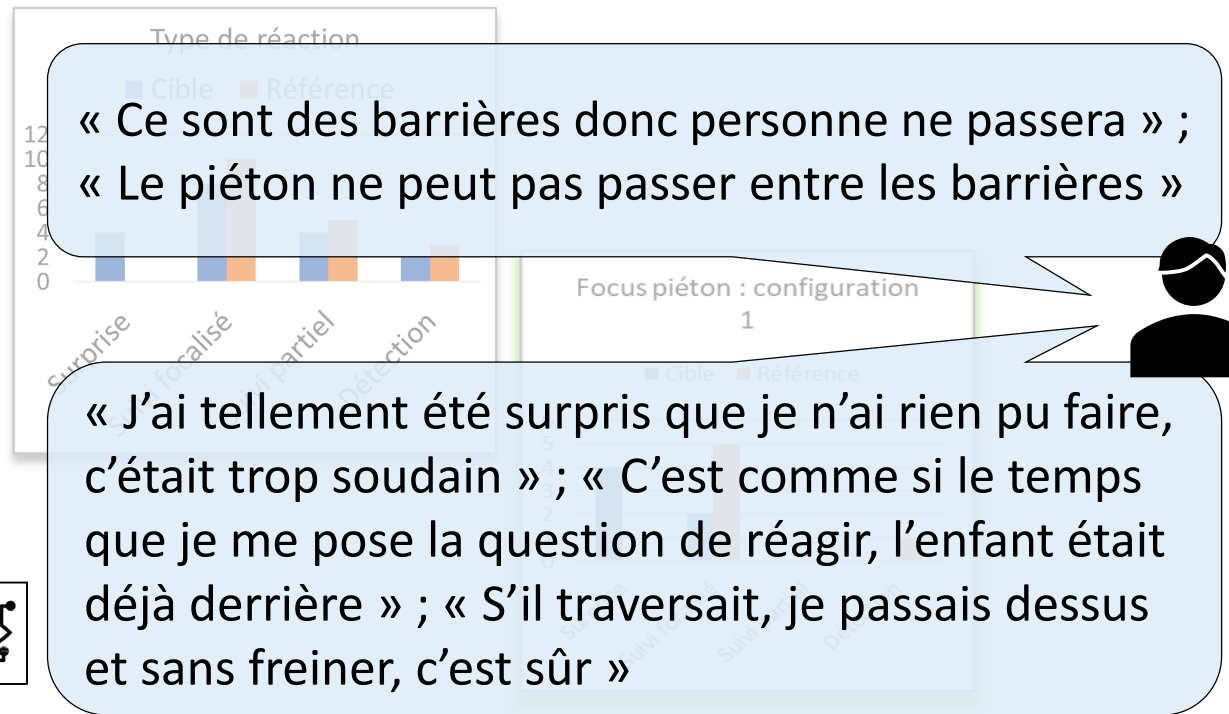
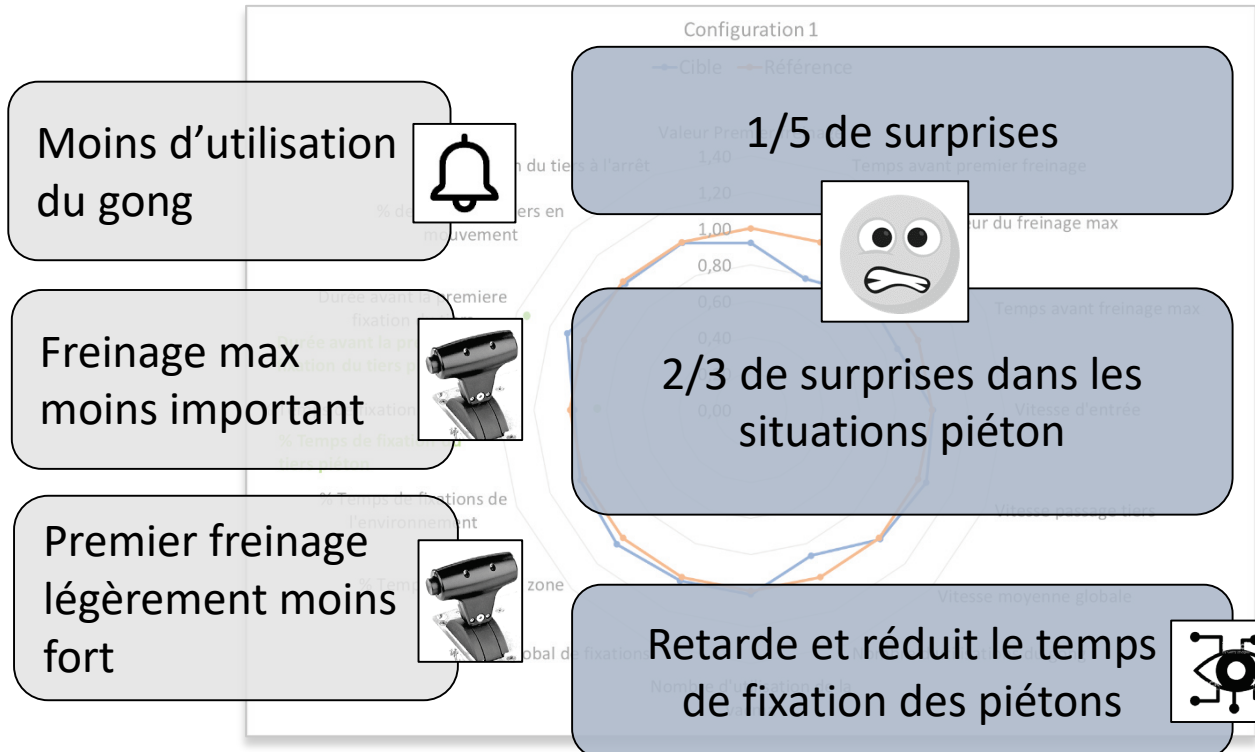




- Principe de « mur sur-sécurisant »

- Exemple – Configuration 1

(barrières à lisses verticales / esp. 0,1 m / écart au GLO 0,3 m)

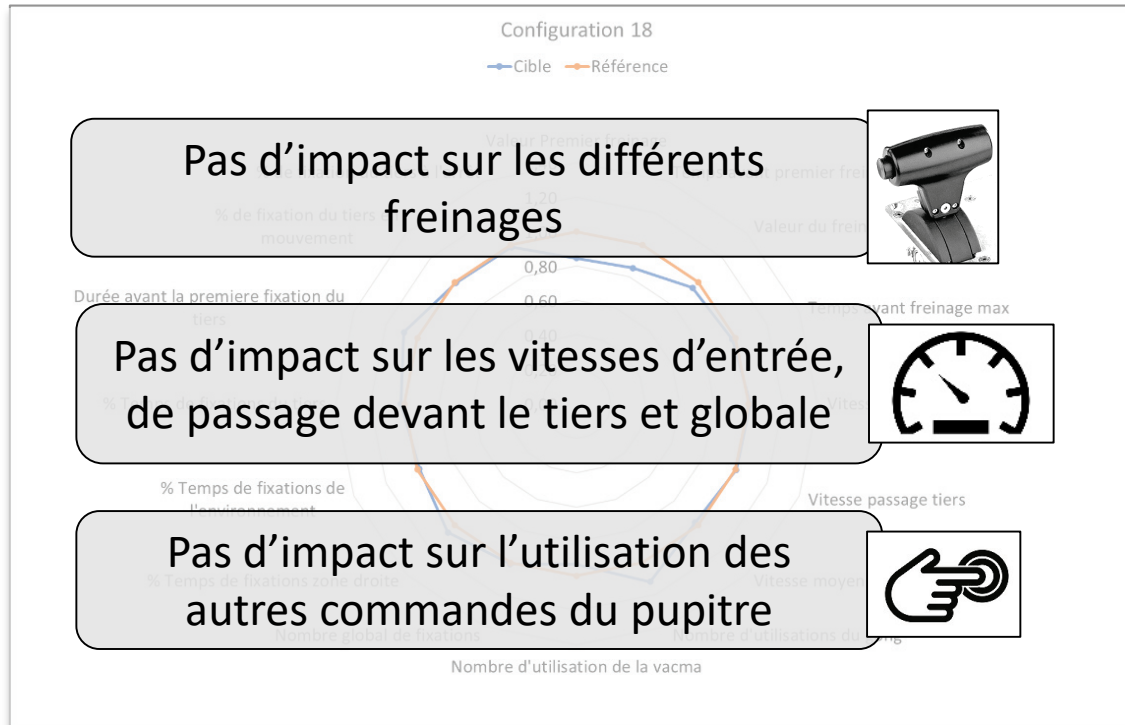
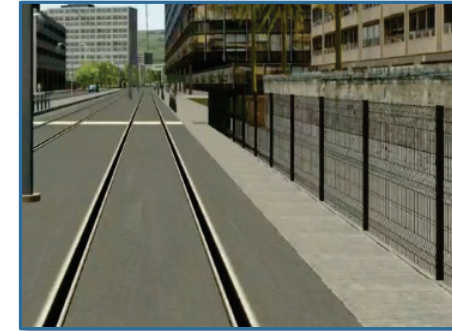




- Principe de « mur sur-sécurisant »

- Exemple – Configuration 18

(grillage rigide / esp. 0 m / écart au GLO 1 m)



Regarde + vers la droite.
Pas d'impact sur les autres fixations des AOI



Pas d'impact sur le comportement de réaction des conducteurs





• Suivi partiel par « volonté de sécurisation »

• Exemple – Configuration 5

(émergences circulaires Ø 0,09 m / esp. 3 m / écart au GLO 0,3 m)



Pas d'impact sur les différents freinages max



Vitesses de passage devant le tiers et moyenne moins importantes



Pas d'impact sur l'utilisation des autres commandes du pupitre



+ d'utilisations du gong



+ de suivis partiels



+ de temps de fixation vers la zone de l'intersection.

« Comme à droite c'est OK, j'ai une bonne visibilité, je cherche la zone la moins visible et là, c'est au niveau du passage piéton à droite et je fais des allers-retours entre cette zone et le reste de l'environnement »





5. Résultats (9/11)





- **Suivi partiel** par incertitude d'évolution de la dynamique du tiers
- **Exemple – Configuration 11**
(émergences circulaires \varnothing 0,15 m / esp. 3m / écart au GLO 1 m)




Pas d'impact sur les freinages étudiés 

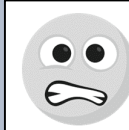
Vitesse d'entrée légèrement plus importante 

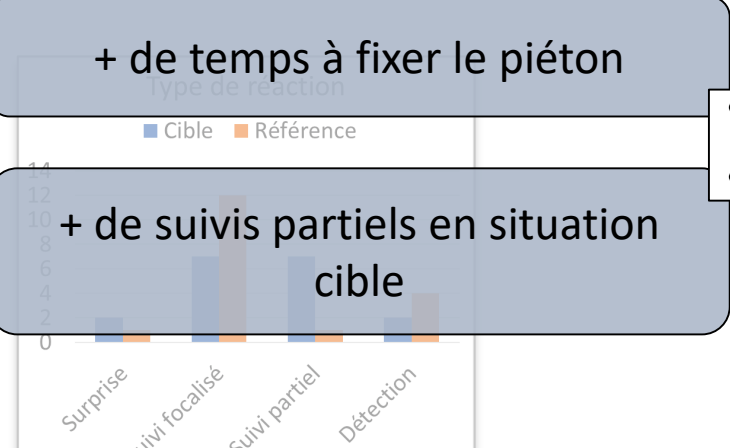
Pas d'impact sur l'utilisation des autres commandes du pupitre 

VACMA moins actionnée 

+ de temps à fixer le piéton 

+ de suivis partiels en situation cible

2 comportements de type surprise 



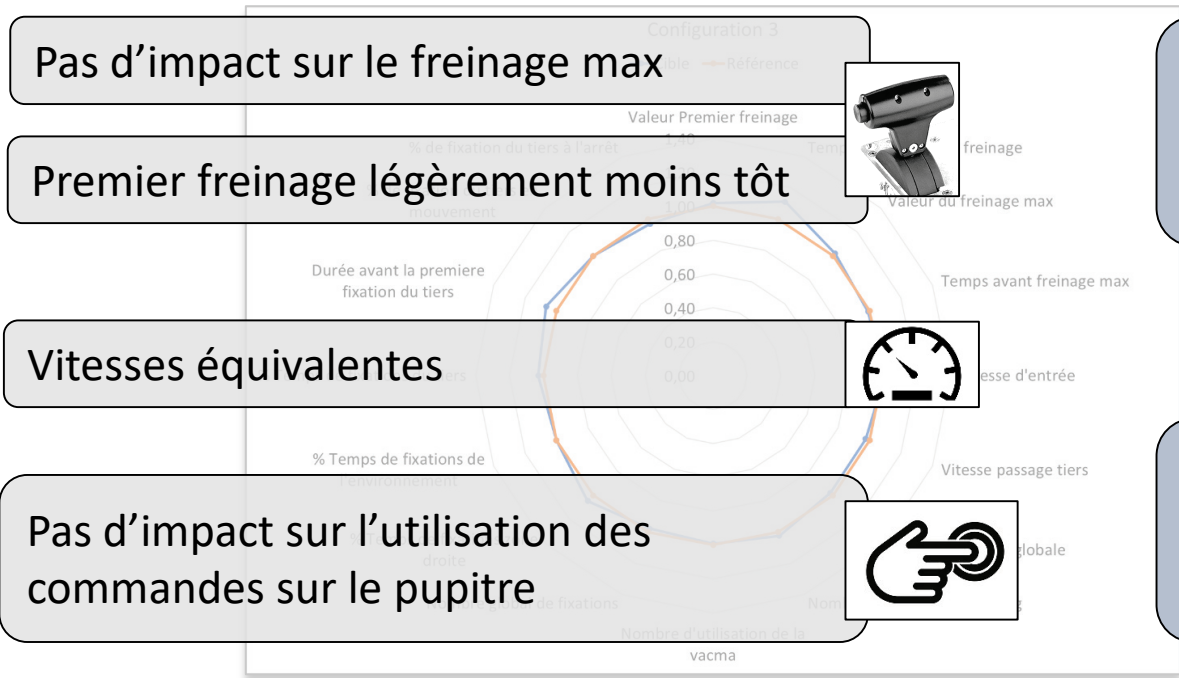
Type de réaction	Cible	Référence
Surprise	~2	~1
suivi focalisé	~7	~1
suivi partiel	~6	~1
Détection	~1	~1



- Focalisation attentionnelle

- Exemple – Configuration 2

(barrières en croix / esp. 0,1 m / écart au GLO 0,3 m)



+ de temps de fixation vers la zone droite.
Pas d'écart sur les autres AOI (y compris tiers)



Forte représentation des suivis focalisés
(dans les situations cibles ET de référence)



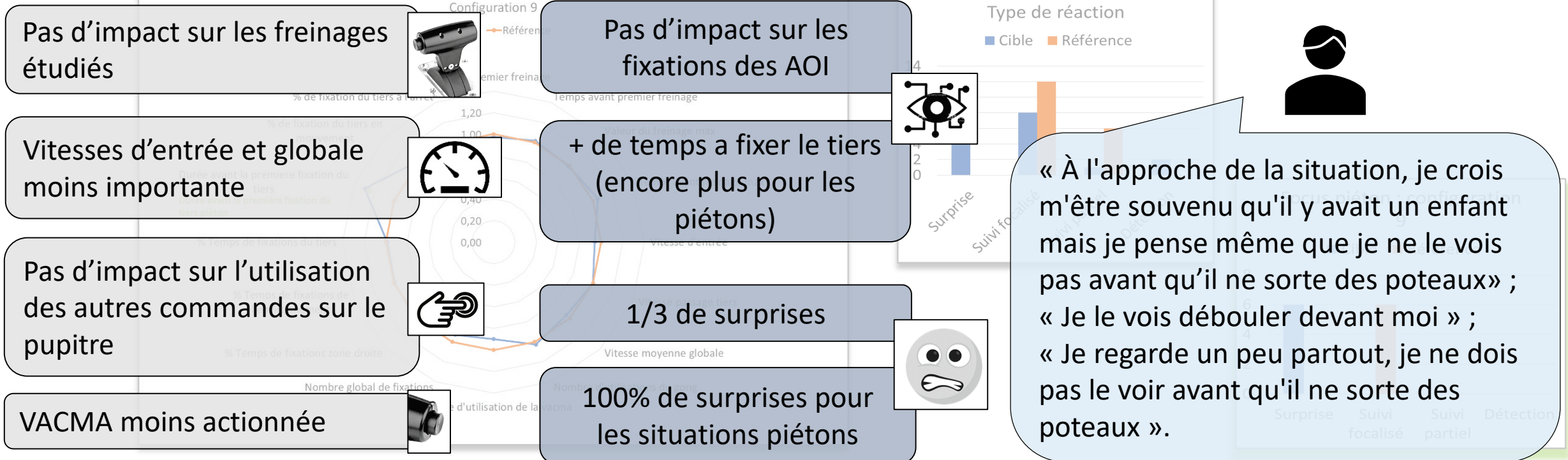
Pas de masque à la visibilité



• Principe de surprise inhibitante

• Exemple – Configuration 9

(émergences circulaires Ø 0,15 m / esp. 1 m / écart au GLO 1,5 m)





1. Introduction
2. Cadre expérimental
3. Éléments de l'étude
4. Méthodologie
5. Résultats
6. Conclusion

6. Conclusion

4. Conclusion (1/10)

• Résultats

• Qualification des configurations

Pas de gêne visible ni de masquage

x 9

○ Gêne relative ne semblant pas aller jusqu'au masquage

x 6

● Qualification en tant que masque

x 5

Configurations d'émurgences

Id conf.	Type d'émurgence	Espacement		Écart au GLO		Distance à l'intersection	
		(m)	(*)	(m)	(*)	(m)	(*)
1	Barrière à lisses verticales	0,1		0,3		0,1	
2	Barrière en croix	0,1		0,3		0,1	
3	Circulaire Ø. 0,09 m	1		0,3		0,5	
4	Circulaire Ø. 0,09 m	1		1		0,5	
5	Circulaire Ø. 0,09 m	3		0,3		0,5	
6	Circulaire Ø. 0,09 m	3		1		0,5	
7	Circulaire Ø. 0,15 m	1		0,3		0,5	
8	Circulaire Ø. 0,15 m	1		1		0,5	
9	Circulaire Ø. 0,15 m	1		1,5		0,5	
10	Circulaire Ø. 0,15 m	3		0,3		0,5	
11	Circulaire Ø. 0,15 m	3		1		0,5	
12	Circulaire Ø. 0,15 m	5		0,3		0,5	
13	Circulaire Ø. 0,40 m	3		1		0,5	
14	Circulaire Ø. 0,40 m	5		1		0,5	
15	Circulaire Ø. 0,40 m	5		1,5		0,5	
16	Circulaire Ø. 0,40 m	8		0,3		0,5	
17	Circulaire Ø. 0,40 m	8		1,5		0,5	
18	Grillage rigide	0		1		0,5	
19	Grillage simple torsion	0		0,3		0,5	
20	Grillage simple torsion	0		1		0,5	

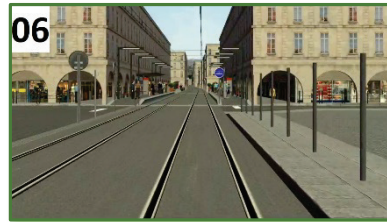
Nombre : 20

(*) par rapport au bord de l'émurgence

4. Conclusion (2/10)

- Résultats

- Qualification des configurations



Configurations d'urgences							
Id conf.	Type d'urgence	Espacement		Écart au GLO		Distance à l'intersection	
		(m)	(*)	(m)	(*)	(m)	(*)
2	Barrière en croix	0,1		0,3		0,1	
5	Circulaire Ø. 0,09 m	3		0,3		0,5	
6	Circulaire Ø. 0,09 m	3		1		0,5	
12	Circulaire Ø. 0,15 m	5		0,3		0,5	
14	Circulaire Ø. 0,40 m	5		1		0,5	
17	Circulaire Ø. 0,40 m	8		1,5		0,5	
18	Grillage rigide	0		1		0,5	
19	Grillage simple torsion	0		0,3		0,5	
20	Grillage simple torsion	0		1		0,5	
Nombre : 9		<i>(*) par rapport au bord de l'urgence</i>					

Pas de gêne visible ni de masquage

4. Conclusion (3/10)

- Résultats

- Qualification des configurations



Configurations d'émergences							
Id conf.	Type d'émurgence	Espacement		Écart au GLO		Distance à l'intersection	
		(m)	(*)	(m)	(*)	(m)	(*)
③	Circulaire Ø. 0,09 m	1		0,3		0,5	
④	Circulaire Ø. 0,09 m	1		1		0,5	
⑩	Circulaire Ø. 0,15 m	3		0,3		0,5	
⑪	Circulaire Ø. 0,15 m	3		1		0,5	
⑮	Circulaire Ø. 0,40 m	5		1,5		0,5	
⑯	Circulaire Ø. 0,40 m	8		0,3		0,5	

Nombre : 6 (*) par rapport au bord de l'émurgence

Gêne relative ne semblant pas aller jusqu'au masque

4. Conclusion (4/10)

- Résultats

- Qualification des configurations



Configurations d'émergences							
Id conf.	Type d'émergence	Espacement		Écart au GLO		Distance à l'intersection	
		(m)	(*)	(m)	(*)	(m)	(*)
1	Barrière à lisses verticales	0,1		0,3		0,1	
7	Circulaire Ø. 0,15 m	1		0,3		0,5	
8	Circulaire Ø. 0,15 m	1		1		0,5	
9	Circulaire Ø. 0,15 m	1		1,5		0,5	
13	Circulaire Ø. 0,40 m	3		1		0,5	

Nombre : 5

(*) par rapport au bord de l'émergence

Qualification en tant que masque

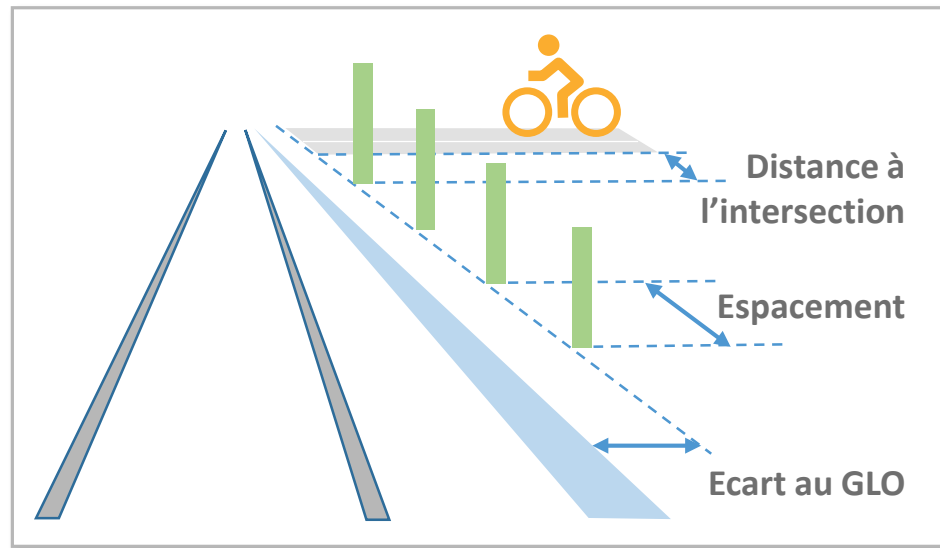
4. Conclusion (5/10)



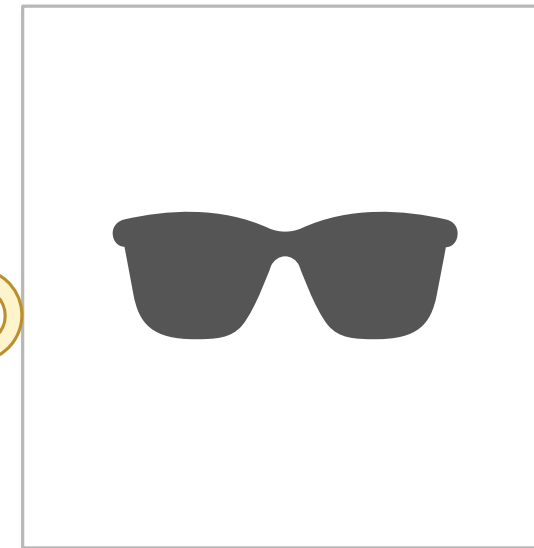
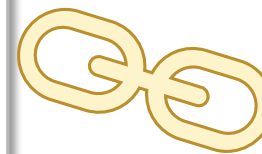
- Résultats

- Facteurs semblant influencer la transition visibilité-masque

- Relative corrélation entre :



Disposition des émergences



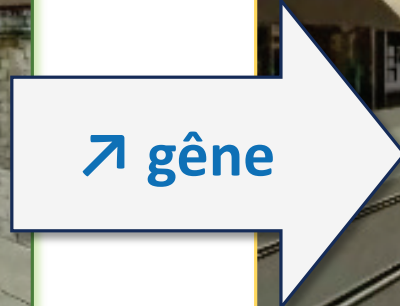
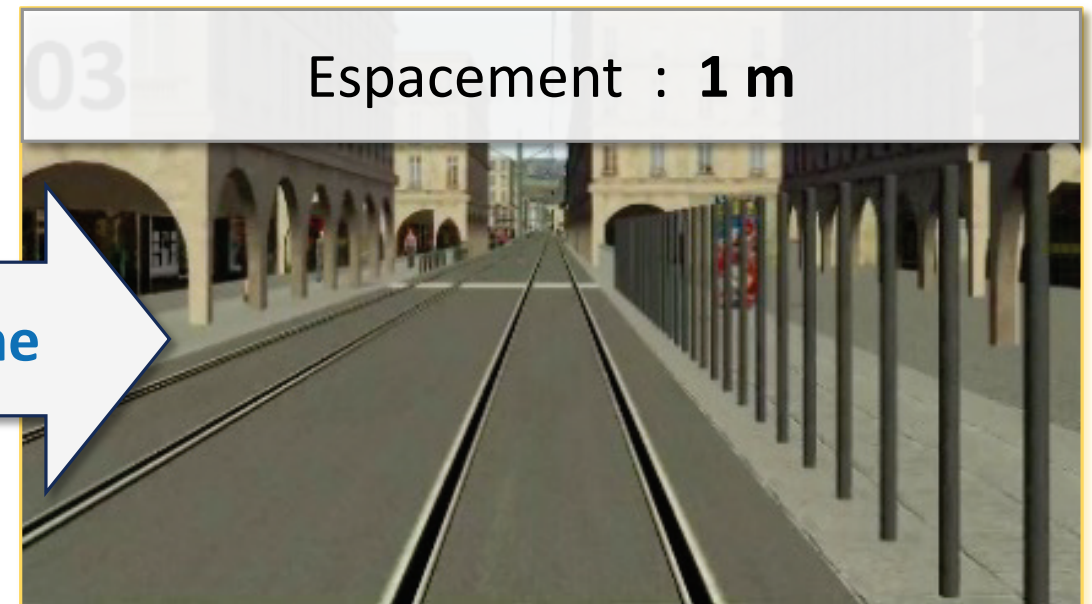
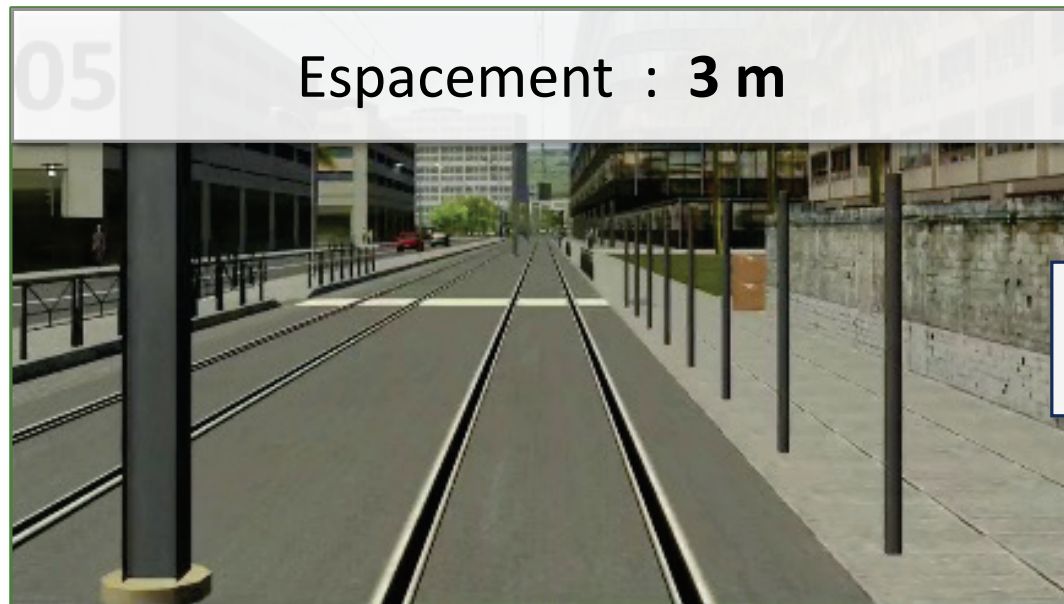
Gêne à la visibilité

4. Conclusion (6/10)



- Résultats

- Facteurs semblant influencer la transition visibilité-masque
Configurations d'émergences circulaires $\varnothing 0,09\text{ m}$

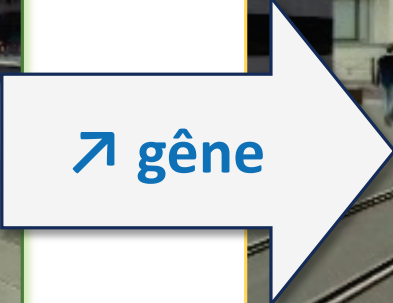
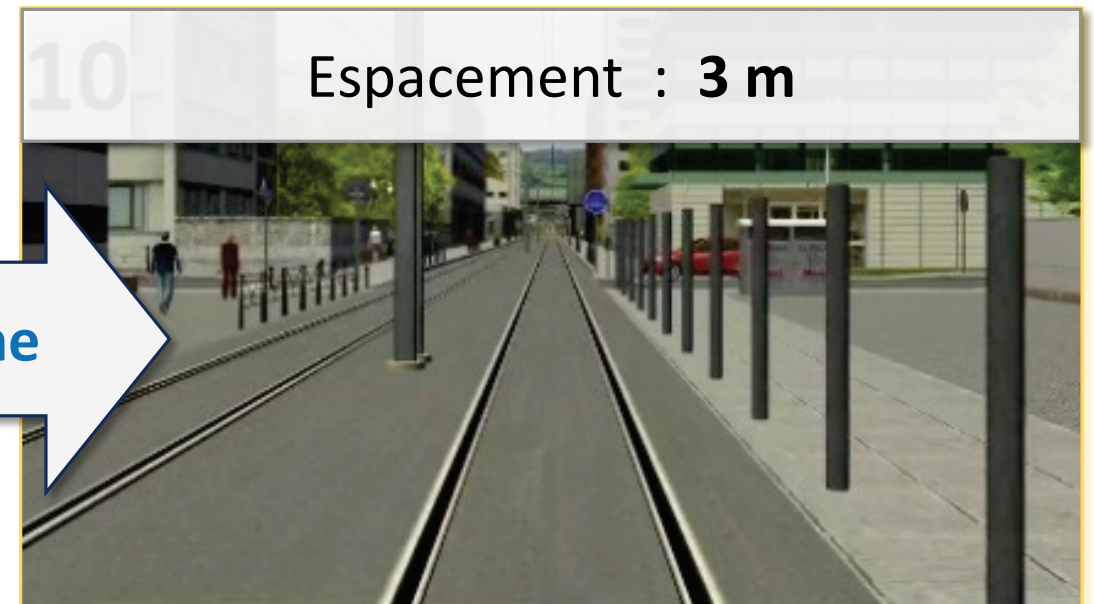
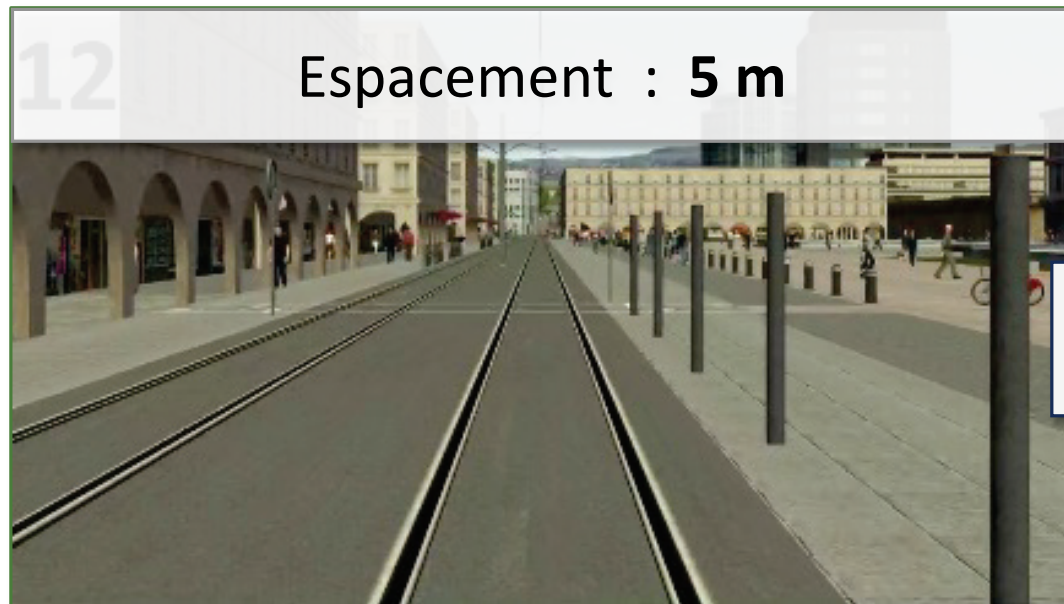


4. Conclusion (7/10)



- Résultats

- Facteurs semblant influencer la transition visibilité-masque
Configurations d'émergences circulaires $\varnothing 0,15\text{ m}$

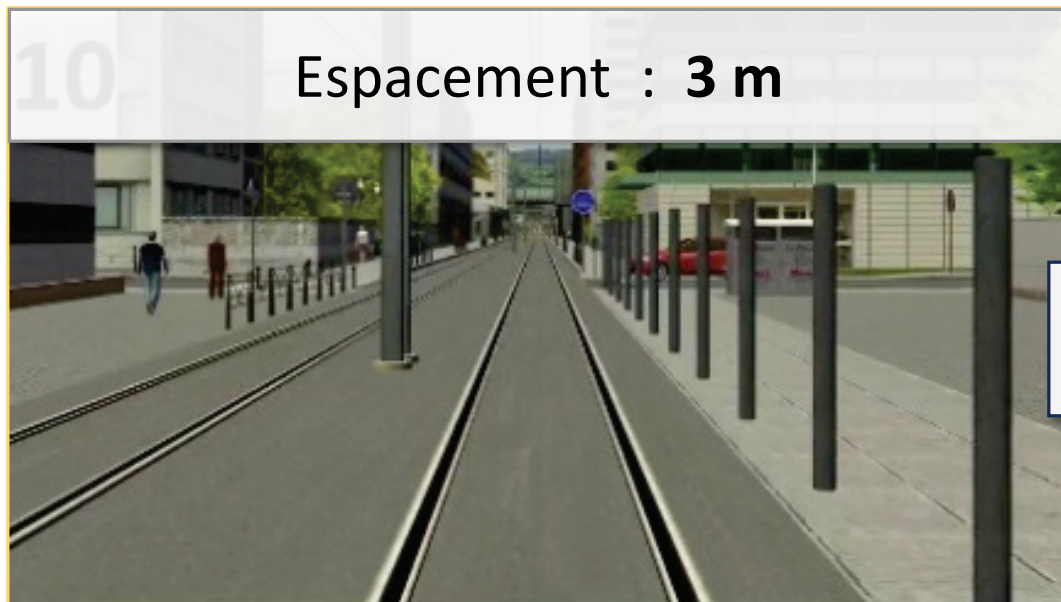


4. Conclusion (8/10)

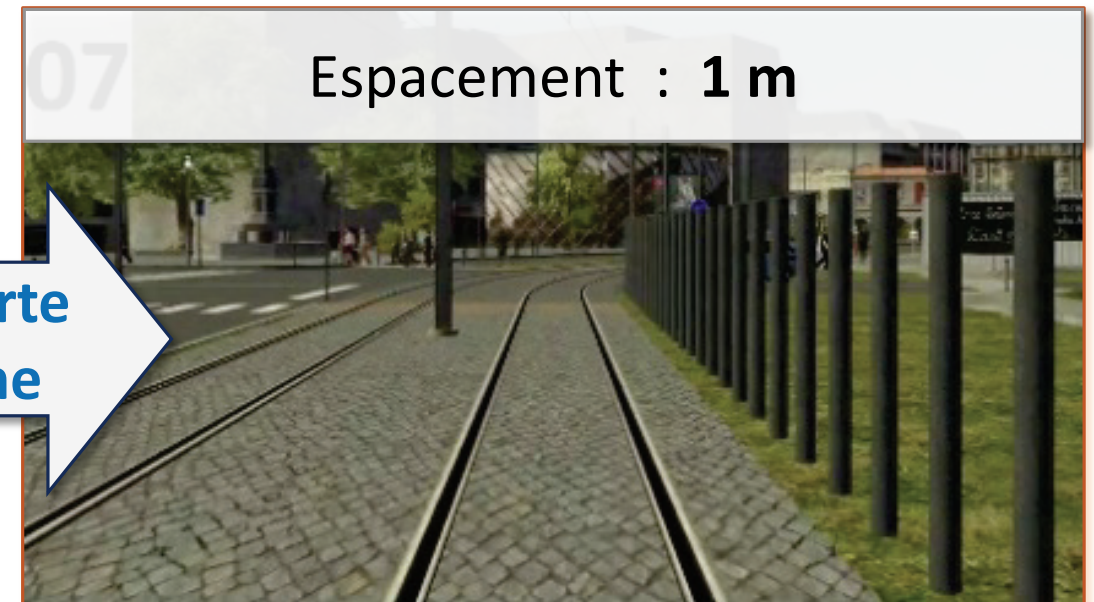


- Résultats

- Facteurs semblant influencer la transition visibilité-masque
Configurations d'émergences circulaires $\varnothing 0,15\text{ m}$



Très forte
↗ gêne



4. Conclusion (9/10)



- Résultats

- Facteurs semblant influencer la transition visibilité-masque

Configurations d'émergences circulaires $\varnothing 0,15\text{ m}$ – Espacement 3 m



Légère
↗ gêne

4. Conclusion (10/10)

- Résultats

- Facteurs semblant influencer la transition visibilité-masque

Configurations d'émergences circulaires $\varnothing 0,40\text{ m}$ – Espacement 5 m



Légère
↗ gêne



Merci de votre attention



Questions ?

[Gérald Conreur](#) (LAMIH UMR CNRS 8201)

[Mathieu Mouchel](#) (FactHum France)



- Groupement

- LAMIH UMR CNRS 8201



pschitt@uphf.fr



<https://www.uphf.fr/lamih>

- OKTAL SYDAC



roger.espanol@oktal.fr



<https://www.oktalsydac.com/fr/>

- FactHum France



contact@facthum-france.fr



<https://facthum-france.fr/>

