

Ergonomie des postes de conduite tramways



Marie- France DESSAIGNE
Docteur en ergonomie



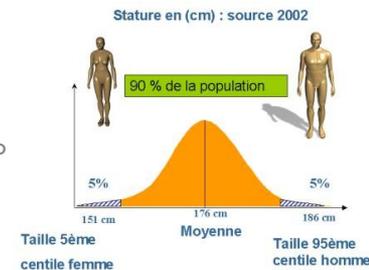
Etudes d'ergonomie sur l'activité de conduite dans les cabines de tramways

Analyse Demande pour l'Etude STRMTG + 15 exploitants français

- ◆ Constats → Design travaillé au détriment des besoins de l'homme!
- ◆ Objectif → Cahier des Charges de conception des Postes de conduite futurs
- ◆ Réalisée 7 réseaux français sur 5 modèles différents (Citadis, THS, Eurotram, Translhor et Bombardier).

Méthodes proposées : croiser plusieurs approches :

- 7 Analyses ergonomiques : Activité + questionnaires => Constats °recod°
 - Analyse littérature scientifique,
 - Analyse des normes ergonomiques « utilisables ».
 - Simulations numériques des postes actuels et « futurs ».
- ◆ Démarche qui varie de celle de l'ingénierie classique !
- Le focus est d'abord l'homme qui conduit (fonctions physiologiques, biomécaniques et cognitives et sociales).



Méthodologie 1 : Analyses de l'Activité

◆ Pour chacune des 7 villes démarche proposée:

- ◆ 2. Analyse des données relatives à l'analyse de l'activité 4
- ◆ 2.1. Résultats de l'analyse par réseau : (10 conducteurs!) 4
- ◆ 2.1.3. Le réseau de Marseille 4 : c'est l'ergonome qui fait l'analyse des différents paramètres étudiés!
- ◆ 3. Analyse des données relatives aux 20 questionnaires conducteurs 36
- ◆ 3.1. Résultats de l'analyse par réseau 36 : Il s'agit d'une enquête d'opinions où les personnes s'expriment sans avoir à se justifier.
- ◆ 3.1.3. Le réseau de Marseille 36
- ◆ 4. Synthèse des deux approches de l'activité de conduite 60
- ◆

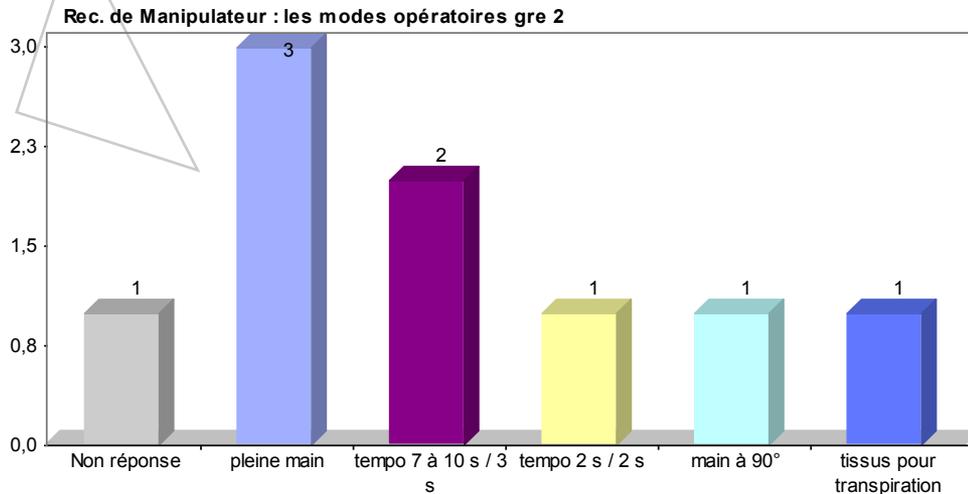
Méthodologie 1 : Analyses de l'Activité

- ◆ L'analyse de l'activité a été réalisée dans toutes les villes sur un échantillon de 10 personnes.
- ◆ Va permettre de repérer et d'analyser les situations d'usage liées à l'accomplissement du travail : on observe le déroulement logique, enchaînement des opérations qu'on regroupe ensuite par scénarios d'activité: (ex. démarrage, conduite en ligne, accostage...).
- ◆ On confirme par des méthodes éprouvées (observation, entretien) et de comparer la tâche prescrite avec l'activité réelle ou effective : Ex. Tenir le manipulateur; appuyer sur une pédale....
- ◆ On regarde les contraintes, les astreintes et la charge de travail qui pèsent sur l'individu pour chaque tâche : effet contextuel.
- ◆ On définit les écarts entre la tâche prescrite et l'activité, ce qui guidera pour émettre des recommandations tant pour corriger que concevoir!

Différents items observés et analysés

- ◆ Age et Ancienneté du conducteur
- ◆ Taille et Poids du conducteur
- ◆ Spécificité segments corporels
- ◆ Comment Position assis au poste?
- ◆ Bonne ou difficile ? Multiple ?
- ◆ Atteinte pied
- ◆ Atteinte mains/volant
- ◆ Inclinaison siège
- ◆ Ses réglages favoris
- ◆ Zones de confort
- ◆ Vision & surveillance voie + piétons :
Stratégie de prise d'information ? En vision proche ou éloignée
- ◆ Passage de l'un à l'autre
- ◆ Vision tableaux de bord : Lisibilité + emplacement
- ◆ Ecran central et SAE
- ◆ Rétro Allée centrale voyageurs
- ◆ Vision des rétroviseurs :
- ◆ Extérieurs ? Intérieurs ? Gênes ?
- ◆ Surv. portes descente/Montée
- ◆ Prise d'infos Signalisation Extérieure
- ◆ Enchaînement des opérations ?
- ◆ Formation théorique et pratique :
 - ◆ - vos règles importantes ?
 - ◆ Position et angle du pédalier ?
 - ◆ Maîtrise de la Manette ou Joystick ?
 - ◆ Enchaînement des opérations
 - ◆ Maîtrise vitesse ?
 - ◆ Enchaînement des opérations
 - ◆ Maîtrise freinage ?
 - ◆ Enchaînement des opérations
 - ◆ Usage de la Veille ?
 - ◆ Enchaînement des opérations
 - ◆ Quand charge de travail limite en conduite ?
 - ◆ Petit test ergonomique MFD ...
 - ◆ Comment et sur quoi focalisez vous l'attention ? Quand ?
 - ◆ Incident ou Accident personnel ?
 - ◆ Qu'est-ce qui détourne l'attention ?
 - ◆ Baisse de vigilance ? Quand ?
 - ◆ Incident personnel ?
 - ◆ Stratégies de conduite préférée
 - ◆ Appréciation du poste de conduite ?
 - ◆ « Utilisabilité » du poste ? Gênes ?
 - ◆ Dangereusité en conduisant (à poser en question indirecte).
 - ◆ Verbalisations particulières.

Méthodologie 1 : Un exemple de scénario



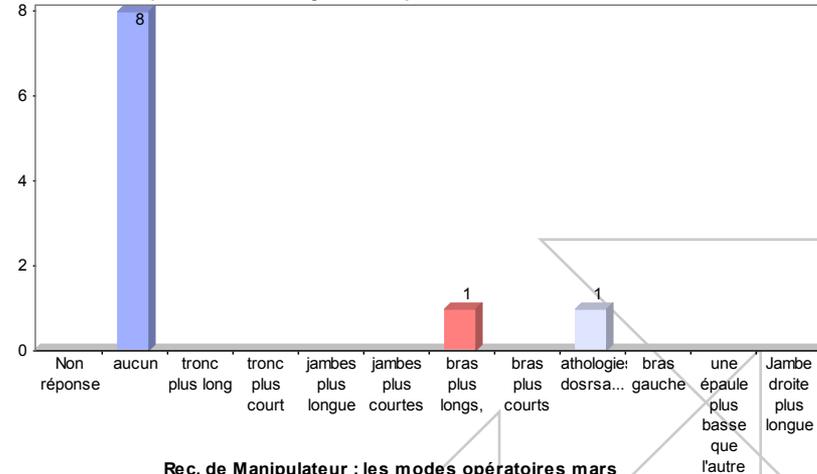
Comment le conducteur gère t-il la veille?

- ◆ 3 sujets saisissent la Veille « à pleine main » une grande partie du temps.
- ◆ 1 personne met sa main tournée de 90° et avec 3 doigts. 1 dit utiliser un tissu : hygiène!
- ◆ Le cycle de la veille CITADIS est de **10"/2" + 2" de buzeur avant FU**
- ◆ Les temporisations sont différentes et plus difficilement perceptibles car il s'agit **d'effleurement et non d'appui**:
 - 1 sujet effleure toutes les 2s/2s
 - 1 sujet effleure toutes les 4 à 6 s/2s
 - 2 sujets reste devant environ 7 à 10s /2s

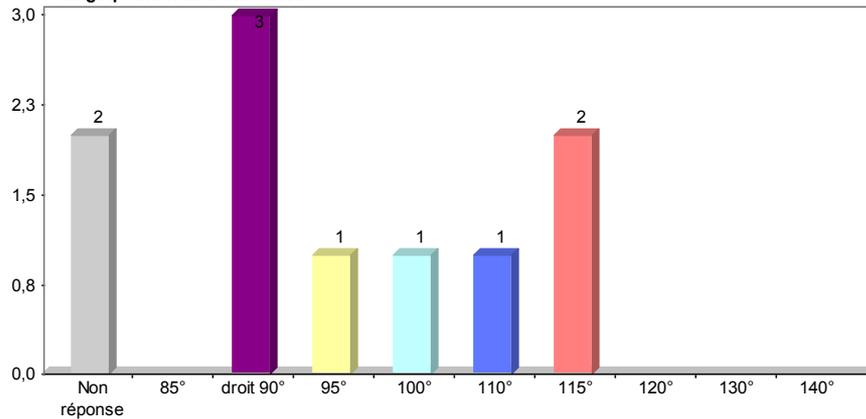
Méthodologie 1 : Résultat questionnaire



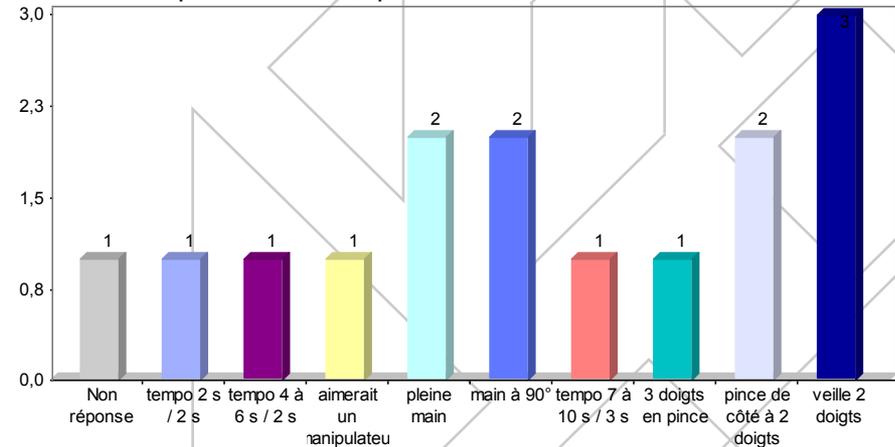
Conducteur: particularité des segments corporels



Siège: positionnement du dos

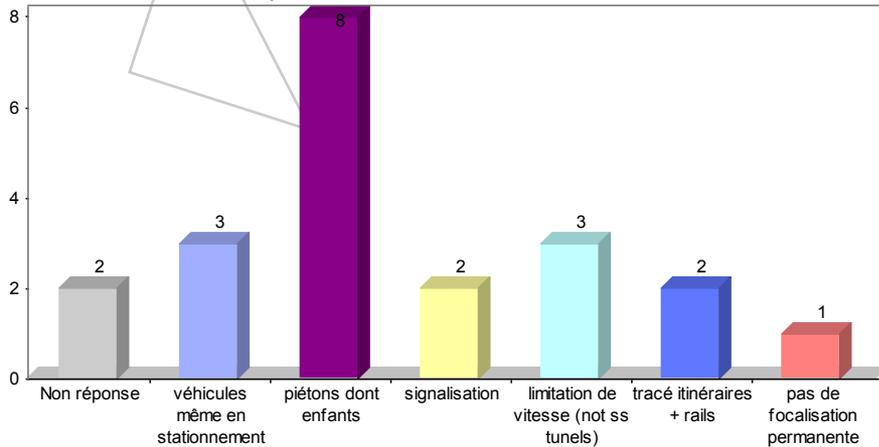


Rec. de Manipulateur : les modes opératoires mars

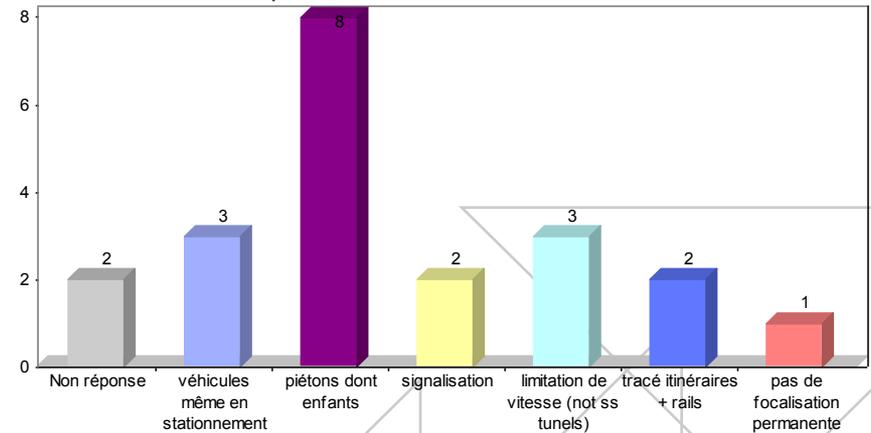


Méthodologie 1 : Résultat questionnaire

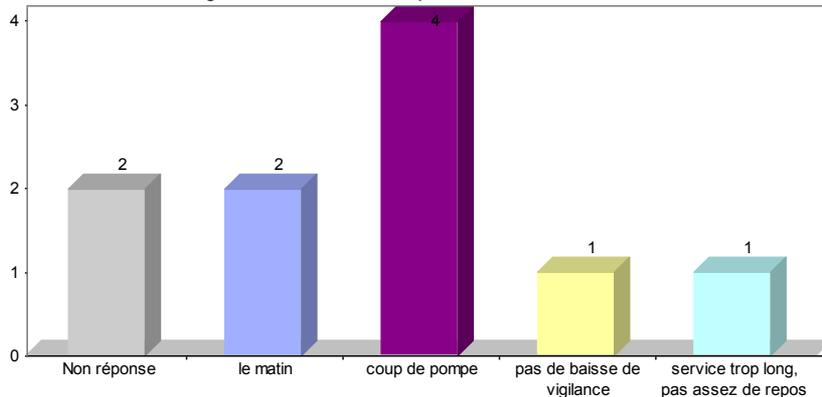
Rec. de Comment et sur quoi focalisez-vous votre attention mars



Rec. de Comment et sur quoi focalisez-vous votre attention mars



Rec. de Baisse de vigilance? Quand? Incident personnel? mars



Méthodologie pour la synthèse.

- ◆ Comparer un matériel à l'autre sur une tâche et ses performances : Comparaison possible? EX. siège, pédaaliers, veille, traction , freinage...
- ◆ Comparer les éléments observés (« objectifs ») et ceux enregistrés (perf) avec ce qui est dit dans questionnaires (subjectifs ?).
- ◆ Comparer par scénarii (EX. Guidage) d'un matériel à l'autre? Est-ce possible ?
- ◆ Faire la synthèse générale pour voir ce qu'il faut retenir pour modification et reconception!

La conduite de tramway est « Si particulière » par rapport aux trains!



- ◆ Historiquement, le tramway est issu du ferroviaire...
- ◆ Très peu de normes existantes.
- ◆ Les tramways circulent en milieu urbain!
- ◆ Importance de la tâche homme: Tenir distance de freinage et Impossibilité de dévier la trajectoire!
- ◆ **Différence 1 : Une activité physiologique plus sollicitée**
 - ◆ Ajustement permanent vitesse et freinage (+Veille) => coût physio!
 - ◆ Prise d'info & perception démultipliée => coût physio !
 - ◆ Attention sélective et Vigilance n'ont pas les même impacts selon train ou tram
- ◆ **Différence 2 : Une activité cognitive plus forte**
 - ◆ Surveillance des citoyens dans un véhicule à guidage intégral: cyclistes, automobilistes, piétons ==> Nb. d'infos prélevées!
 - ◆ Plus d'anticipations, volontaires et régulées, avec diagnostics plus longs : SIG°.
 - ◆ Stratégies visuelles plus nombreuses, plus courtes et différentes!
 - ◆ Charge de travail liée à l'enchaînement des opérations + forte, peut entraîner une surcharge et faire oublier la Veille!



Activité du conducteur différente de celle d'un train, non comparable!

La conduite de tramway : les fondamentaux...

◆ Pour réaliser les actions de la conduite :

- Bien voir!
- Etre bien assis,
- Atteindre ses pédales,
- Bien tenir son manipulateur,
- Pouvoir actionner aisément les commandes sur son tableau de bord...



◆ Conduire, c'est d'abord voir et réfléchir pour agir :

- Plus de prises d'infos et d'anticipations en champ proche,
- Diagnostics et prises de décisions + nombreux,
- Une attention sélective sollicitée => fatigue plus forte et charge mentale plus forte .
- On est pas souvent en hypovigilance!



Résultats analyse 7 réseaux français : la position assise

- ◆ **Plus de 20% des 210 conducteurs des 7 réseaux ne peuvent poser les pieds à terre!**
 1. Mauvaise posture « statique » => Pathologie du dos et des membres inférieurs : pressions diverses, sensations douleur, engourdissement, et raideur dans les jambes.
 2. Contraintes physiologiques lourdes , peu acceptables pour des postures de 7 heures par jour ! Elles le sont moins dans les autobus!
- ◆ **80% des conducteurs estiment leurs sièges mal adaptés :**
 1. 2 réglages sont très pénalisant : avance-recul et montée –descente (50%!).
 2. La position des commandes de réglage non adaptée (manip par ex.),
 3. Les manettes siège ne fonctionnent parfois pas.
=> Effets ressentis : non repos des muscles, contractions et douleurs.
- ◆ **Importance de l'imbrication des différents éléments du poste :EX. : posture et vision !**

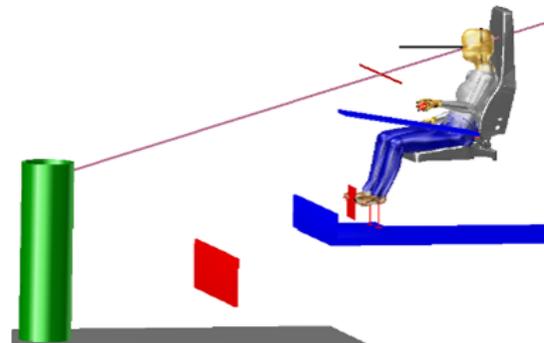
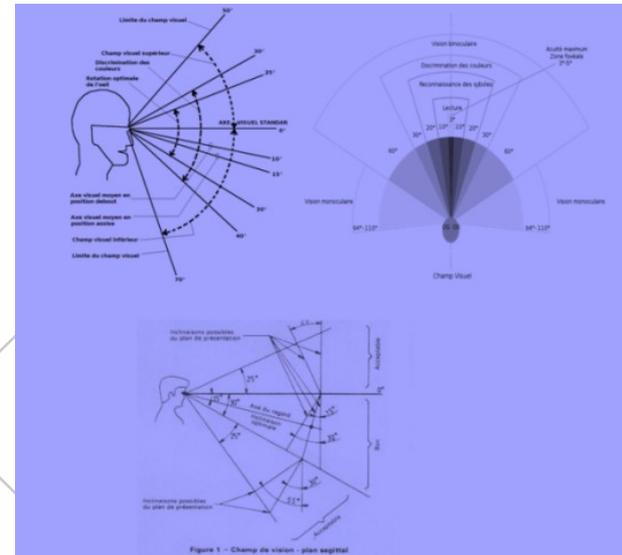


Schéma numérique n° 5 : simulation de la posture d'une petite femme aux jambes en posture inclinée, assise dans le siège en position basse du poste de conduite du C.

Résultats de l'analyse sur la position en poste surélevé

Globalement : préférable et plus confortable d'avoir un poste surélevé

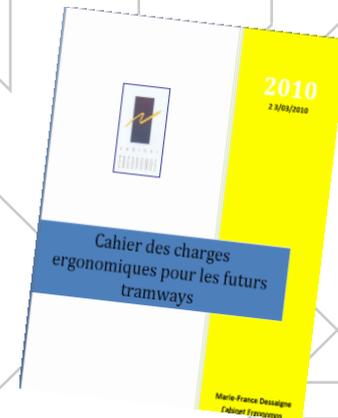
- ◆ La visibilité en avant est accrue, on voit plus loin et mieux vers le bas du pare-brise,
- ◆ Les angles de vision sont améliorés sur :
 - le bas du pare brise,
 - Loin devant et la SIG°,
 - sur le tableau de bord,
 - les côtés..
- ◆ Les conditions de surveillance sont meilleures,
- ◆ Bénéfice psychologiques : sentiment de sécurité.



➔ Il faut un poste réglable pour s'adapter à tous les individus!

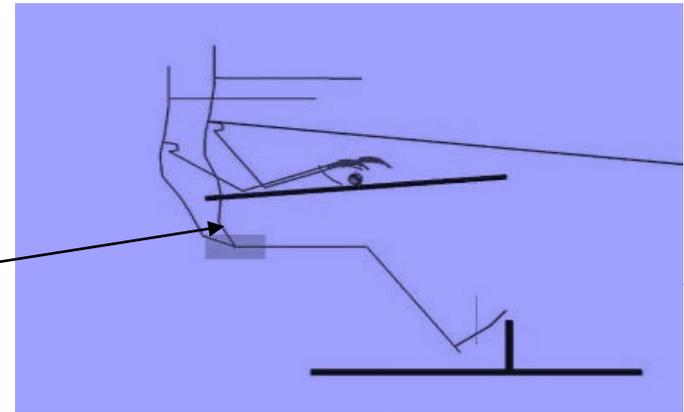
Démarche de conception pour Cahier Charges ergo.

- ◆ Approche « proactive » et non « rétroactive »
 - Partir des contraintes de l'homme pour les intégrer dans les équipements à concevoir.
 - Ne pas concevoir à partir des outils à placer dans la cabine!
- ◆ le CC aborde d'abord les critères principaux : la vision du conducteur puis la posture au poste de conduite.
- ◆ Puis approche organique : siège, pédales et repose-pieds, manipulateurs, écrans et boutons de commandes... organes de 2^{ème} et 3^{ème} niveaux.
- ◆ Enfin, en final, déterminer les critères de dimensionnement global de la cabine.

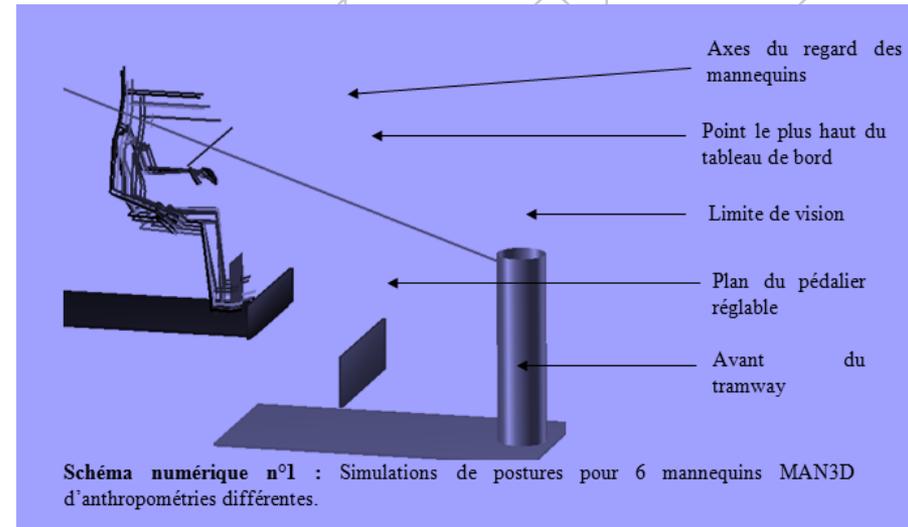


Principes primaires conception d'un poste assis du Tramway

1. Les concepteurs doivent considérer plusieurs postures « confortables » pour 1 sujet : Il doivent identifier et le point H du sujet et le point H du siège!



2. Il faut des mannequins de taille différentes : 5^{ième}, 50^{ième} et 95^{ième} percentiles car les points de réglage doivent satisfaire les extrêmes en taille de la population conducteurs.



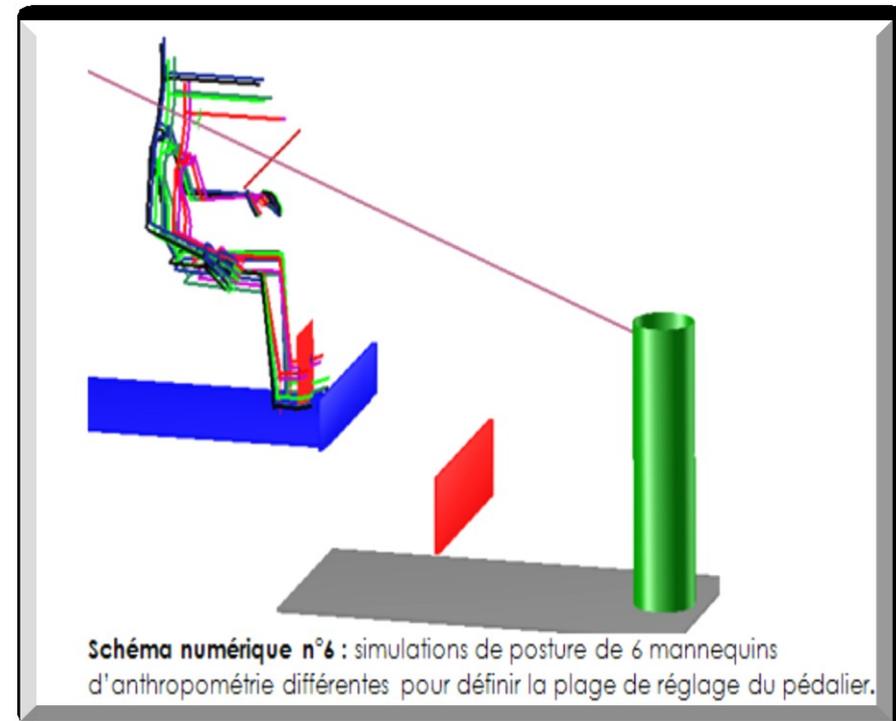
Principes primaires conception d'un poste assis du Tramway

3. Il faut au moins 6 mannequins pour bien concevoir :

Cela permet de représenter toutes les tailles : 5^{ième}, 50^{ième} et 95^{ième} percentiles

Cela permet à minima de croiser les critères pénalisant d'une position assise :

- Petite taille des membres inférieurs et,
- Tour de taille ou de ventre.

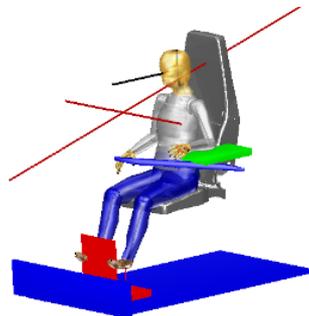


Principes primaires conception d'un poste assis du Tramway

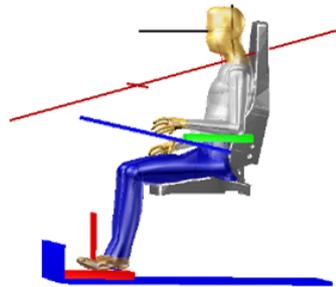
4. Les intervalles de confort des membres et articulations doivent être utilisés, notamment pour le bras manipulateur qui, a ce jour, n'est jamais optimisé...
- A la base, étude de Rebiffé.

Tableau 1 : intervalles de confort des articulations utilisés pour les simulations de posture

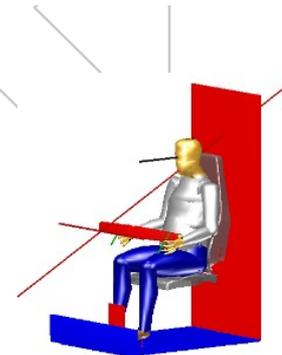
Articulations	Degré de liberté	Valeurs
Epaule	Flexion-Extension	30° et -10°
	Abduction- adduction	30° et -5°
	Rotation axiale	- 30° et 50°
Coude	Flexion-Extension	80° et 120°
Genou	Flexion-Extension	90° et 160°



5^e percentile féminin
Schéma numérique 9: position d'un accoudoir nécessaire pour le bras gauche dans le.



95^e percentile masculin



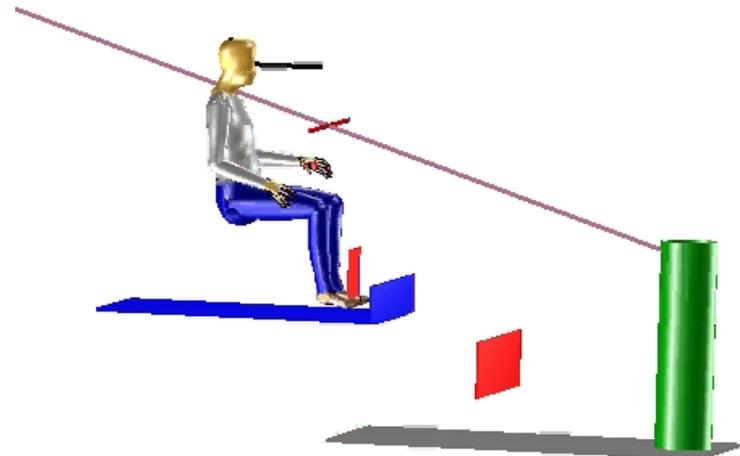
Principes primaires conception d'un poste assis du Tramway

5. « Réglage bras gauche au repos » // manipulateur :

il doit être calculé pour tous les mannequins et ne pas contraindre les autres critères de l'assise.

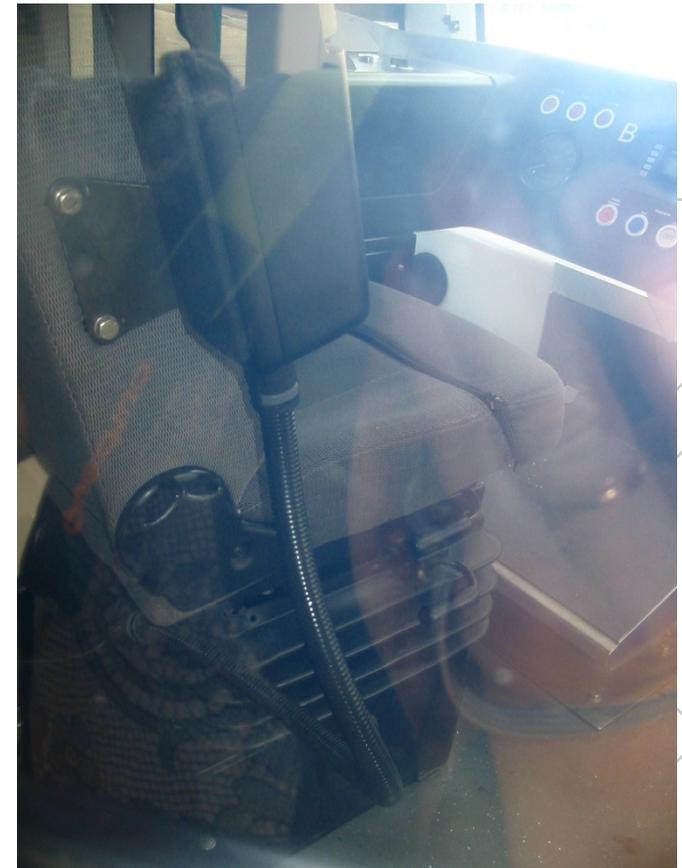
⇒ Respecter la posture de confort recommandée!

⇒ Adapter la position du Manipulateur



Principes primaires conception d'un poste assis du Tramway

6. L'avance-recul du siège doivent être adaptable pour tous dont 5^{ème} percentiles et 95^{ème} percentiles.
7. Un espace derrière le siège doit également être prévu, même quand ce dernier est poussé à son maximum en arrière. Réglage dossier → 130°!
8. Réglage « haut-bas » du siège permanent : Calage de 160 mm qui favorise vision & la bonne position du bras par rapport au manipulateur.
9. Les pieds doivent reposer « au sol » grâce au réglage « haut-bas » du siège.



Principes primaires conception d'un poste assis du Tramway

10. Un pédalier réglable pour le repos des pieds : une priorité pour le maintien du corps et le choix niveau de vision!
11. L'atteinte des pieds sur la pédale doit toujours être possible. Respecter tous les angles du corps + les règles CC.
12. La taille des montants latéraux pare-brise ne doit pas gêner la vision des conducteurs : Etablir l'Angle maximal //œil ou 1 largeur max. du montant.
13. **Beaucoup d'autres sous-systèmes spécifiés...**



Simulation numérique sur le système Veille

- ❖ Les simulations de posture ont permis de **tester d'abord l'ergonomie de systèmes existants** (personne différentes tailles Hô// la posture imposée selon modèles de tramway!)
- ❖ Ex. Constat: un Hô grande taille (1m88) peut conduire le tramway, mais la position de ses mains sur la tablette va être problématique :
 - ❖ le dossier du siège bloque le mouvement de recul et d'ouverture du bras et du coude).
 - ❖ L'Hô de grande stature a des difficultés pour appuyer sur les boutons de Veille, qui se situent au milieu de la tablette.
 - ❖ leur main va en amont de ce point et ils doivent appuyer sur le bouton avec leur paume et non avec les mains.
 - ❖ Attention, caractéristiques dossiers variables !
 - ❖ Faible espace dans la cabine pour personnes grandes et corpulente (la porte touche le siège, le conducteur ne peut plus incliner siège),

Simulation numérique sur le système Veille

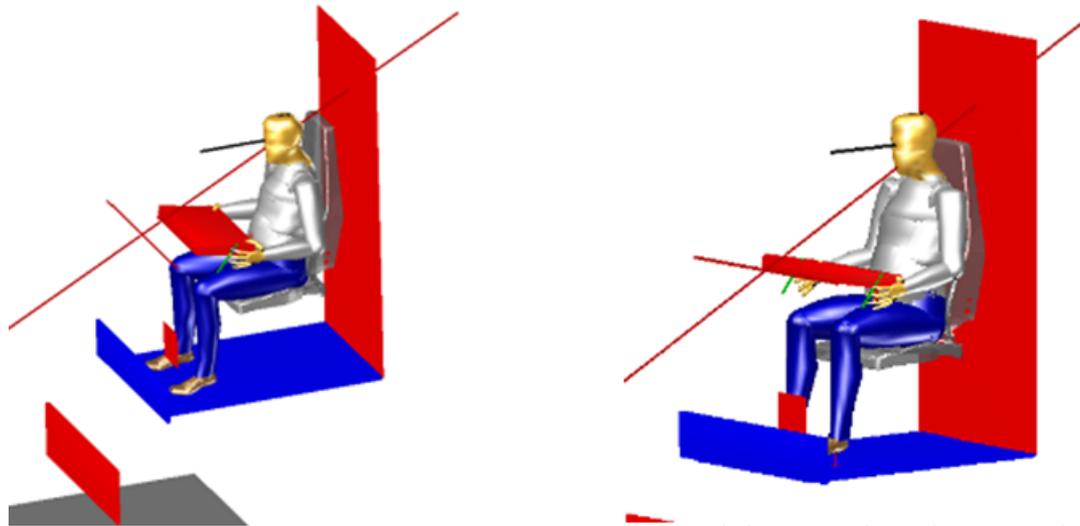


Schéma numérique n°11 : Simulation de postures de 95e percentiles masculins, corpulents (IMC=27) sur un système de Veille existant. On voit que le coude est bloqué par l'arrière du siège.

Simulation numérique sur le système Veille

En tant que méthode d'étude, les simulations peuvent permettre également de **définir une position optimale pour les systèmes de Veille futurs**, par l'emploi de mannequins numériques représentant des conducteurs de toutes tailles. Voir exemple ci-dessous.

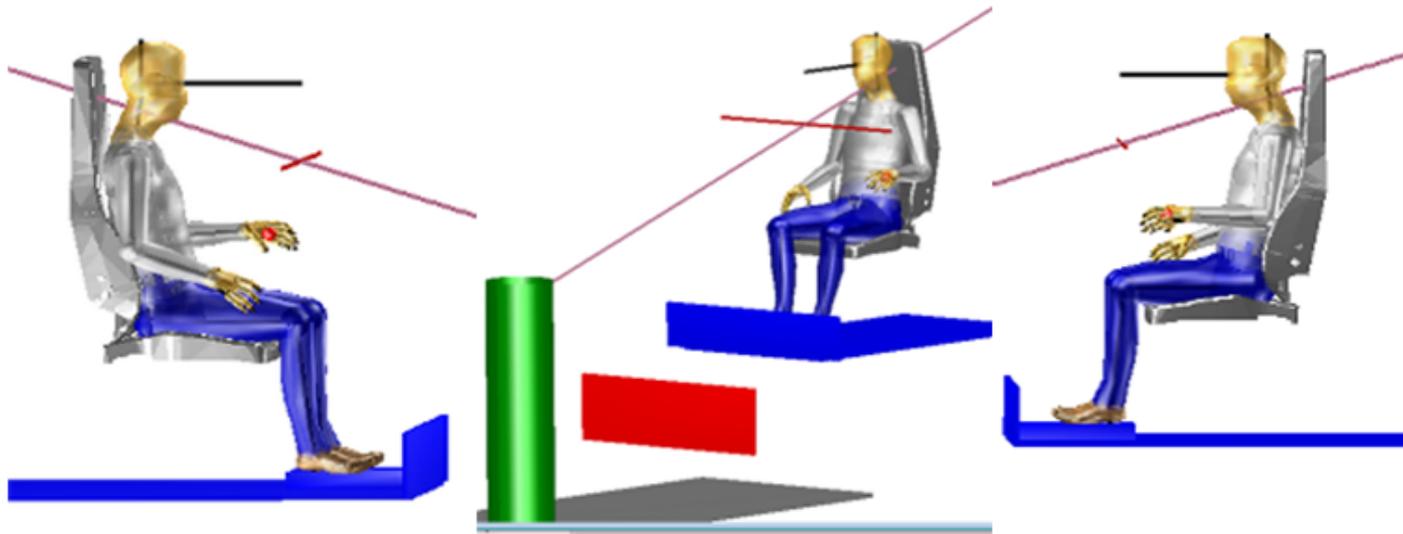


Schéma numérique n°12 : Posture de confort recommandée pour le bras gauche utilisant le bras manipulateur ou le système de Veille. Un accoudoir doit être ajouté pour la conception du poste futur.

Rédaction du futur Cahier des Charges

Sommaire

I. Introduction	4
1.1. Peu de normes existantes pour les tramways.....	7
1.2. Principes généraux pour la conception d'un poste de conduite tramway	8
II. Vision.....	10
2.1. La simulation numérique du champ de vision du conducteur en tramways	10
2.2. Les recommandations ergonomiques sur la vision des conducteurs	12
Notre analyse sur le champ de vision dicté par la Norme UIC 651-OR	12
Analyse sur le champ de vision « droit devant » de la route, Norme NF X 35-101.....	13
Notre analyse sur les champs de vision sur le tableau de bord.....	14
III. Posture de moindre inconfort du conducteur au poste de conduite de tramways.....	18
3.1. La simulation numérique de la posture de conducteurs	19
3.2. Les recommandations ergonomiques sur la posture du conducteur	25
IV. Le siège et l'assise	28
4.1. La simulation numérique pour les sièges	31
4.2. Les recommandations ergonomiques sur le siège du poste de conduite	32
V. Les pédales du conducteur.....	35
5.1. La simulation numérique de l'atteinte des pédales.....	35

EX. Synthèse des Rcdt° et règles pour un poste futur

1. Intégrer l'ensemble des paramètres ...
2. Simulation de ces paramètres en rapport avec les tailles de cabine existantes : les zones d'atteintes et d'aisance jambes, la hauteur du plancher de la cabine, du rail...
3. Proposition optimisée de l'ensemble des contraintes...

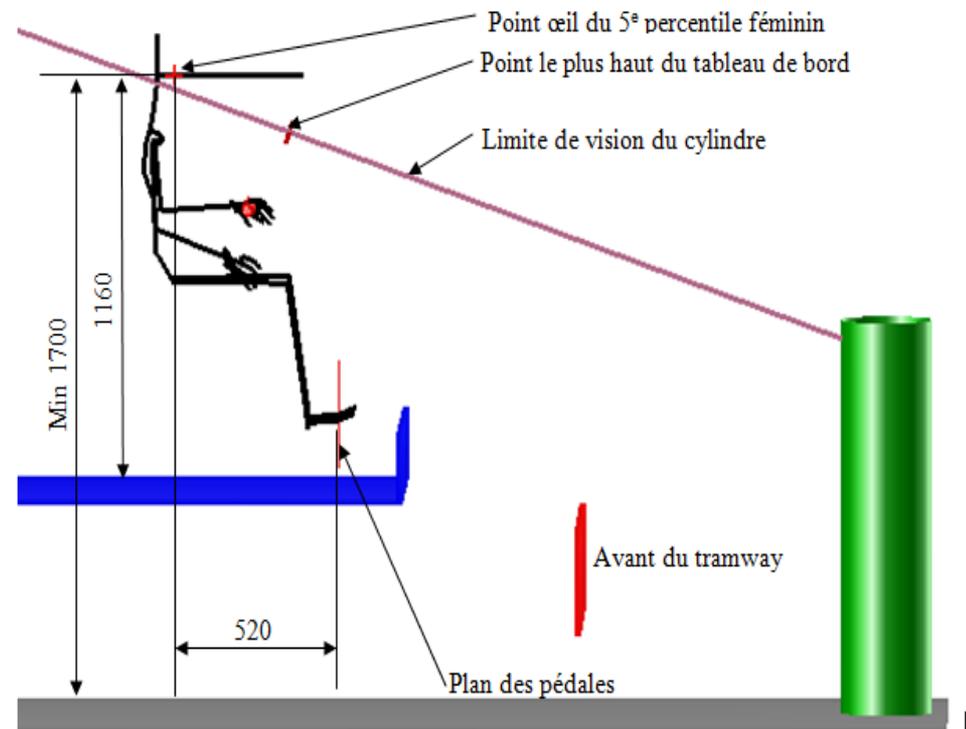


Figure 11 : Pré requis à l'utilisation de la configuration recommandée. Position du point œil du 5^e percentile par rapport à la limite de vision.

Suite à l'étude

- ◆ Rencontre avec les constructeurs pour discuter le Cahier des Charges conçu avec les exploitants français , le STRMTG et l'ergonome.
- ◆ Il faut maintenant travailler ensemble pour dépasser les héritages anciens, les normes inexistantes et concevoir des outils de travail qui correspondent aux besoins des conducteurs et des exploitants.

Consultation des rapports



- Etude 1 définitive tramways MARSEILLE
- Etude 1 définitive tramways CLERMONT ...
- Etude 1 définitive tramways ROUEN
- Etude 1 définitive tramway LYON
- Etude 1 Définitive tramway Montpellier
- Etude1 définitive tramway STRASBOURG
- Etude1 définitive tramways GRENOBLE



- 20100519_CdC Synthèse Ergonomie
- Cahier des Charges 24 mars 10

◆ Cabinet Ergonomos
dessaigue@wanadoo.fr

◆ STRMTG
Michel.Arras@developpement-durable.gouv.fr,

Alexandre.Dusserre@developpement-durable.gouv.fr

L'ATTENTION correspond aux ressources cognitives focalisées sur une source d'information donnée.

L'attention est plutôt « qualitative » (ce sur quoi je me focalise), par opposition à la vigilance!

Le caractère essentiel de l'attention est sa sélectivité.

On étudie cette dernière par **l'enregistrement des potentiels évoqués cérébraux** qui donne une réponse spécifique à une stimulation donnée.

Il existe 3 catégories de trouble de l'attention qui peuvent survenir pendant la conduite : la distraction, l'inattention et l'inhibition / Rehaussement.

La VIGILANCE est l'état d'éveil du système nerveux de l'individu.

On quantifie la vigilance par le biais d'un **électroencéphalogramme spontané** : Plus les ondes sont rapides, plus le sujet est éveillé.

La somnolence se produit avec une baisse de la vigilance.

L'hypovigilance est un état intermédiaire entre la veille et le sommeil, dans lequel l'organisme a ses facultés d'observation et d'analyse très réduites.

L'état d'éveil est indispensable pour être attentif pendant la conduite mais à l'inverse, le fait d'être éveillé n'implique pas que l'on soit attentif !!!