



36^e

Congrès National
de Médecine &
Santé au Travail

Du 14 au 17 juin 2022
Palais de la Musique et des
Congrès de Strasbourg

Les Nouvelles Technologies au Service de l'Ergonomie de Conception

Jean-Claude SAGOT

Professeur des Universités en ergonomie et conception

Responsable du Pôle de recherche « ERgonomie et CONception des Systèmes » (ERCOS)
Laboratoire ELLIADD (E.A. 4661)

UTBM-Université de Bourgogne Franche Comté (UBFC)

90010 Belfort cedex

Les niveaux et étapes de déploiement de l'industrie 4.0

La production : de la mécanisation à la numérisation



Mécanisation

Charbon &
Machine à vapeur

1870 - 1920

Massification

Fordisme, Pétrole &
Electricité

1920 - 1970

Automatisation

Informatique,
Electronique &
Télécoms

1970 - 2020

Numérisation

Intelligence
Artificielle, Robots
& Objets connectés

2020 —>
Industrie
du futur 4.0

L'industrie numérisée et connectée du XXIème vise à la fois une meilleure productivité, qualité, flexibilité, traçabilité, sécurité des opérations de fabrication

Les briques technologiques de l'industrie 4.0 :

- L'intelligence artificielle ;
- La robotique;
- Les robots collaboratifs (cobots) aux postes de travail qui interagissent avec les opérateurs;
- Les objets connectés et Internet des objets (IoT): capables de collecter, voire d'analyser des données et de les échanger entre eux ou avec des bases de données;
- Les exosquelettes de travail;
- La fabrication additive ou impression 3D d'une pièce;
- **La Réalité Virtuelle** et la Réalité Augmentée qui ouvrent de nouvelles perspectives, notamment **pour la simulation des situations de travail et des risques**, la formation , l'assistance au suivi pour l'ergonomie des postes de travail (ergo-conception), logiciels des « jeux sérieux », ...



**Usine du futur : la place de la Personne : utilisateur, opérateur, concepteur,...
demeure réellement posée ??**

**La problématique : des produits, des systèmes, des outils,...
complexes**

problèmes de dialogue, d'utilisabilité, de sécurité, voire de santé



**Produits de grande diffusion:
UTILISATEURS (grand public)**



**Produits industriels :
OPERATEURS (formés, qualifiés,...)**

**Qualité, coût, délais ➡ la fonction d'usage, voire la
fonction d'estime, sont mal intégrées**

Accidents et Maladies Professionnelles

Plaintes, incidents, accidents, maladies professionnelles, inaptitudes, baisse de productivité, accroissement des coûts à l'unité,...

....sont souvent les conséquences d'une mauvaise intégration du Facteur Humain dans la conception et l'organisation des systèmes de travail

En 2020 : Selon l'AM-Risques Prof. : 19 millions salariés de l'industrie, du commerce et des services

➤ **539 833 accidents ayant entraîné un arrêt de travail ou une incapacité permanente**

(50% manutentions manuelles, 17% chutes de plain-pied, 12% chutes de hauteur, 9% outillage à main, soit 65,3 millions de journées non travaillées, soit 281 858 emplois temps plein)

➤ **Les Troubles Musculosquelettiques (TMS) : 87 % des MP**
91% des cas relèvent du tableau n°57 : « Affections péri articulaires »

POPULATION

Equation personnelle

- Genre
- Age
- Caractéristiques biométriques
- Caractéristiques Physiolo.
- Ancienneté
- Habileté
- Formation-qualification
- Etc...

ENTREPRISE

- Organisation activité-production
- Méthodes
- Bureau d'études
- Qualité
- Dépendance organisationnelle
- Exigences cognitives et physiques
- Environnement physique
- Etc...

SI

**CAPACITES
FONCTIONNELLES**



**SOLlicitATIONS MENTALES,
PHYSIQUE, BIOMECHANIQUES**

(effort, position, articulation, répétitivité)

ALORS...

TMS

**Fatigue, douleur, gênes,
pathologies, restriction
médicales, inaptitudes,
maladies professionnelles...**



COUTS DIRECTS ET INDIRECTS

**Taux de cotisation
Absentéisme, turn-over,
Objectifs non atteints,
Dysfonctionnements,
Perte de production, de qualité,
Rigidités dans la gestion du personnel**

« ingénierie anthropocentrée »

La connaissance de **la PERSONNE**, de ses caractéristiques, comportements, raisonnements, représentations, attentes et besoins, doit être au cœur de la démarche de conception et ceci, dès l'analyse des besoins et se poursuivre tout au long du processus de développement et de conception :

« ingénierie centrée sur La Personne »

« ingénierie anthropocentrée »

~~« ingénierie technocentrée »~~

« ingénierie anthropocentrée »

L'objectif d'une conception anthropocentrée :

- s'appuyer sur les **compétences** des Personnes,
- la Personne doit rester **responsable** "aux commandes" (elle contrôle la technologie et non l'inverse),
- préserver sa **santé**, sa **sécurité**, son **bien être** et **l'efficacité** de la relation Personne-machine.

➡ **Usine du futur, présentée comme la 4e révolution industrielle, caractérisée par l'intégration des technologies numériques dans les processus de fabrication :**

l'approche d'une conception anthropocentrée reste posée ??

L'ergonomie, discipline concernée, mais pas la seule

Discipline scientifique visant la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système

→ Sécurité - Santé – Bien être - Efficacité

Ergonomie physique

- Anthropométrie, biomécanique, efforts, bruit, chaleur, froid, lumière, vibrations.



Ergonomie cognitive

- Perception, mémoire, raisonnement, traitement de l'information, charge mentale, stress...



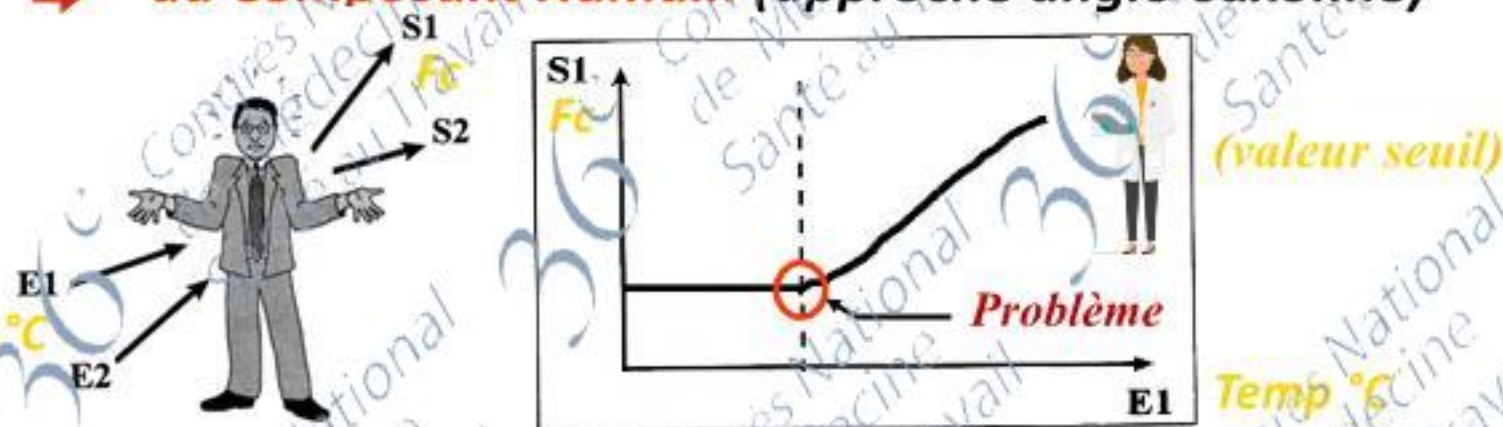
Ergonomie organisationnelle

- Conception du travail, travail en équipe, horaires ...



L'ergonomie tient compte :

➔ du Composant Humain (approche anglo-saxonne)



➔ de l'Activité humaine (approche francophone)



étude des comportements : gestes, regards, paroles, raisonnements,...

L'ergonomie

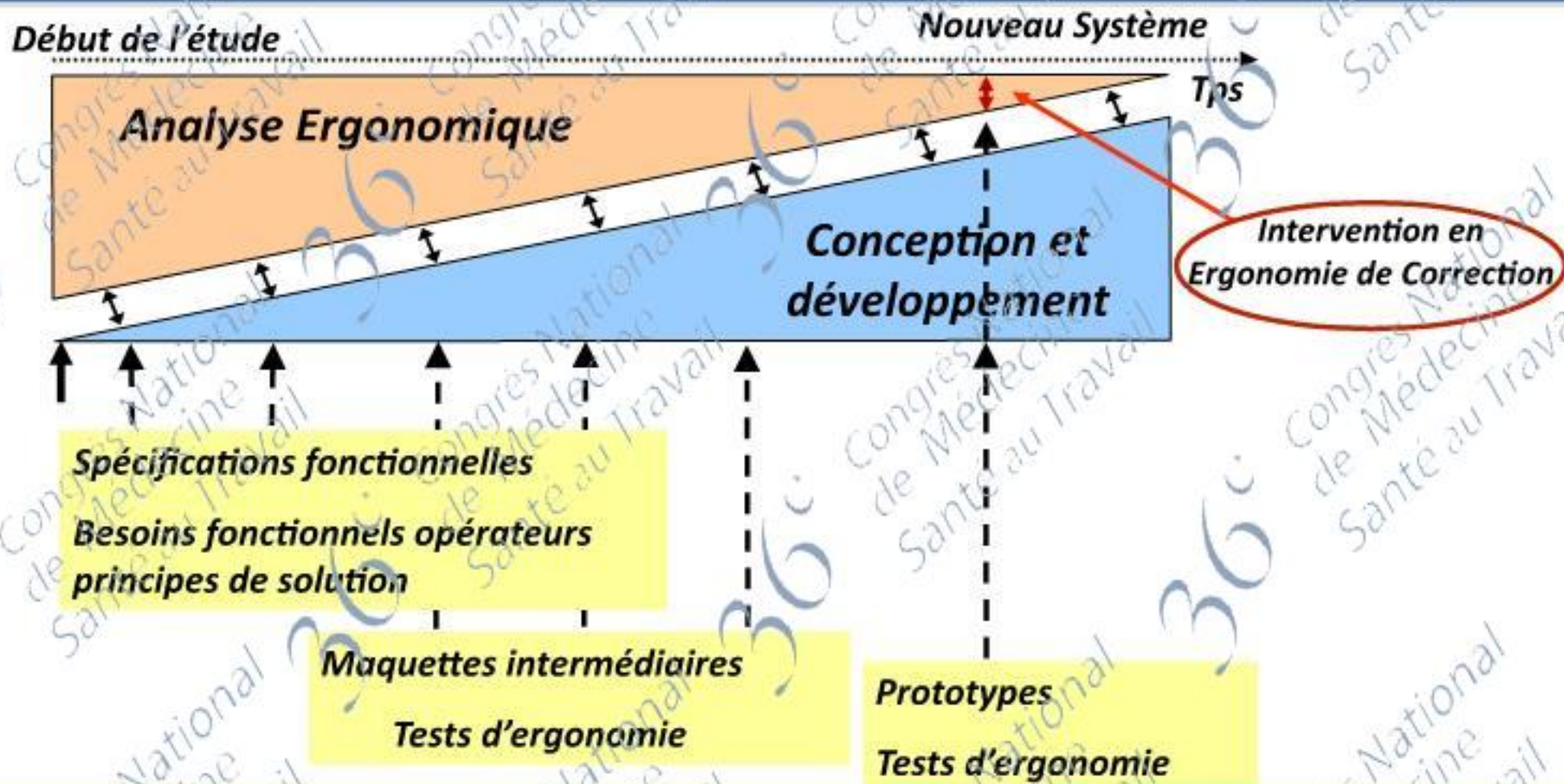
❖ Ergonomie de conception



❖ Ergonomie de correction



Articulation ergonomie et conception de produit/système



Articulation ergonomie-conception aidée avec les nouvelles technologies



Sagot et al. (2003): Ergonomics in product design, safety factor, *Safety science* 41 (2-3), 127-154

Sagot et Gomes (2003): Intégration des facteurs humains dans la démarche de conception. Une approche ergonomique, *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail* 191, 61-71

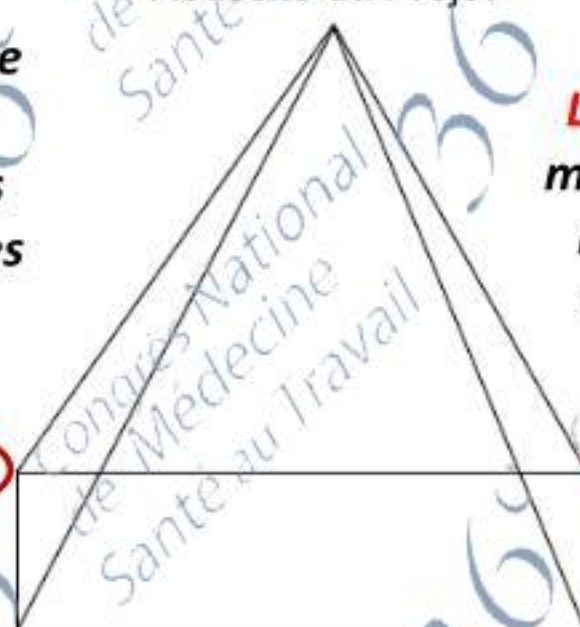
Ingénierie anthropocentrique : de la technique au social

Travail en groupe projet

La coordination consiste à définir le meilleur agencement de tâches préalablement réparties en vue d'élaborer un ensemble cohérent

Coordination

Réussite du Projet



La coopération est un mode de relation où les individus participent volontairement à un travail commun

Coopération

Confiance

Désir

La pyramide du projet

La collaboration est le fruit de ces deux mécanismes

D Jallion
2006

1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations

Situation Existante, voire similaire : **Personne Réelle- Poste Réel-Envir. Réel**

Situation Existante



Sagot et al. (2003)

- **Indicateurs économiques et sociaux:**
*Doléances (Nordique, Karasek, NASA-TLX),
Accid., MP, Absent., Turn-over, Qualité,...*
- **Tâche/activité :** *le prescrit, le demandé,
l'attendu / le réel , l'activité réelle*
- **Métriologie (** *postures, gestes, efforts,
bruit, chaleur,...* **)**



1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations
Situation Existante : Personne Réelle- Poste Réel-Envir. Réel



Utilisation de la méthode RULA (Rapid Upper Limb Assessment = évaluation rapide des membres supérieurs)



Utilisation caméra vidéo 3D active : la Kinect
(reconnaissance 3D de gestes pour l'interaction
Personne-système)

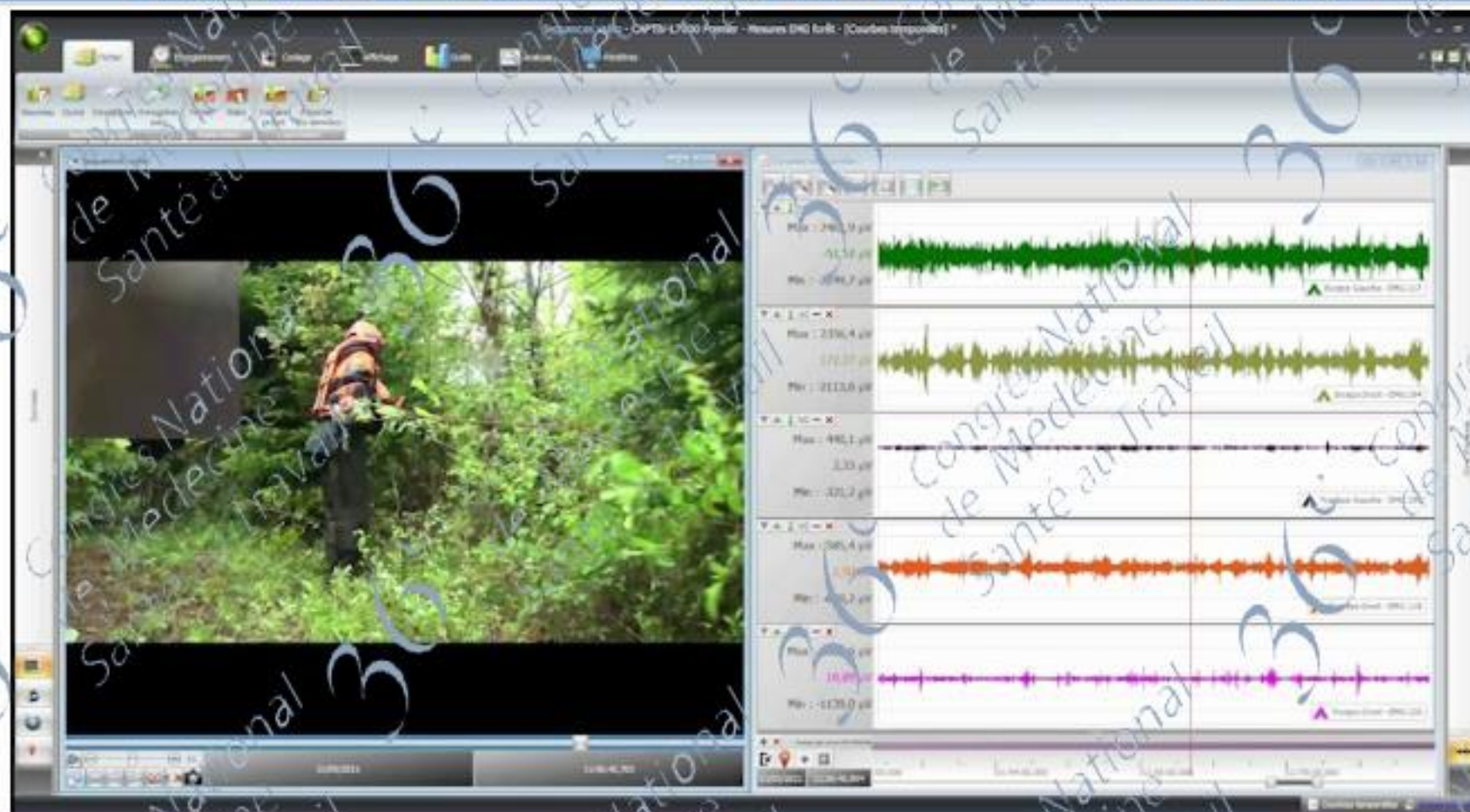
1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations

Situation Existante : les gestes , les postures, les efforts,...



1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations

Situation Existante : les gestes, les postures, les efforts,...



1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations : le travail

Analyse du travail prescrit , voire l'attendu



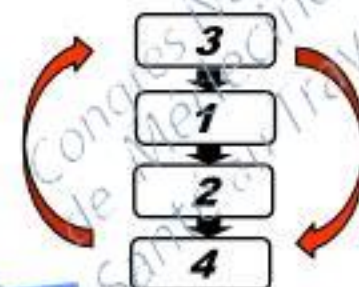
Analyse du travail réel : comportements



Des différences notables :

- l'ordre des opérations
- Le nombre d'opérations
- le contenu des opérations
- de nouvelles opérations
- les outils utilisés
- la façon de remédier aux incidents
- etc...

Définition du Champ des Activités Futures Souhaitables



Tâche future
souhaitable

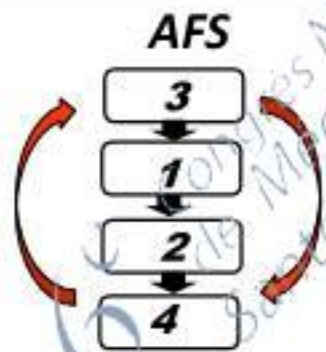
+

marges de manœuvres
associées

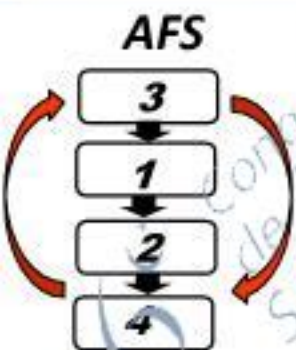
(possibilité ou liberté dont dispose un opérateur pour élaborer différentes façons de travailler afin de rencontrer les objectifs de production, et ce, sans effet défavorable sur sa santé)

1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations : Définition du Champ des Activités Futures Souhaitables

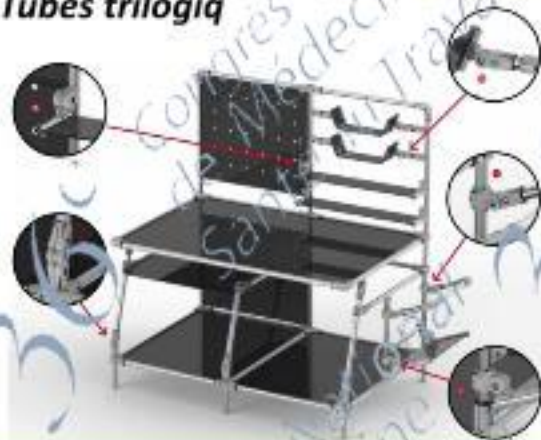
Atelier carton



1^{ère} ETAPE : Recherche d'informations : Définition du champ des Activités Futures Souhaitables

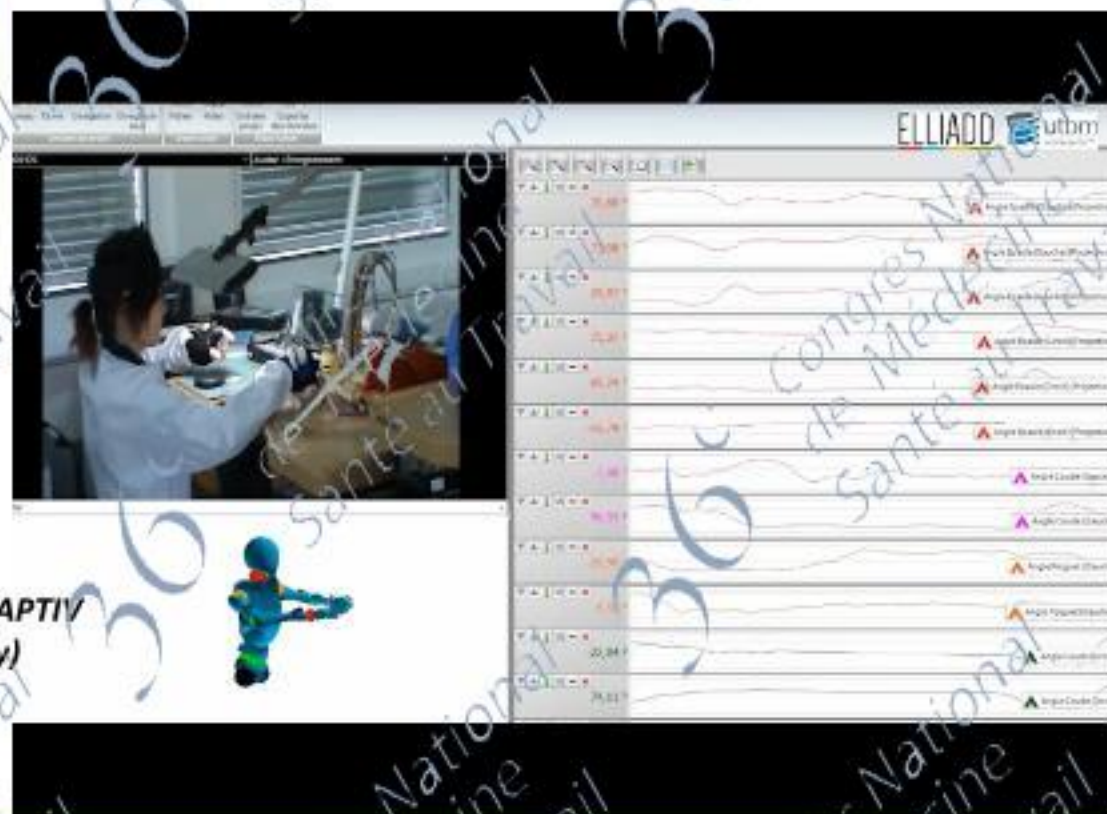


Tubes trilogiq



PLATEFORME CAPTIV
(TEA, Nancy)

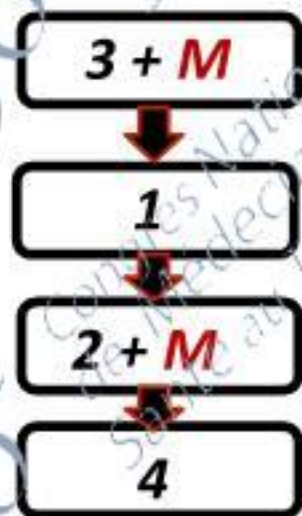
Atelier maquettes :
(carton, bois, tubes trilogiq...)



Livrable 1^{ère} ETAPE : Cahier des charges

Définissant tâches futures souhaitables + marges de manœuvre et spécifiant les recommandations ergonomiques

Tâche future
souhaitable
+ Marges de
manœuvre



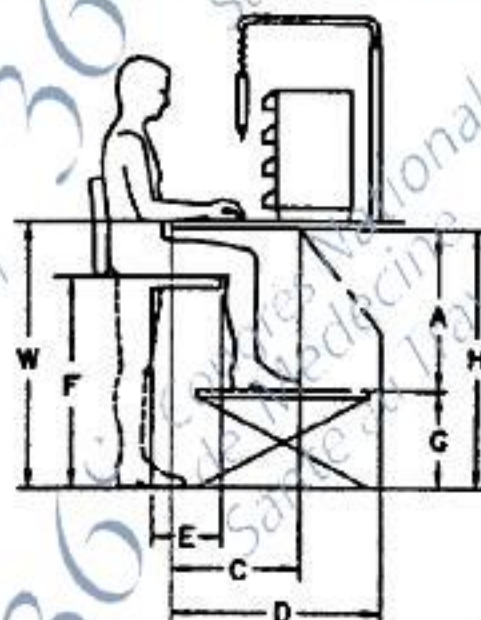
+

NF ISO 15 537



NF X35-109

NORMES ET STANDARDS



CONCEPTION POSTE
NF EN ISO 14738



EFFORTS
NF EN 1005



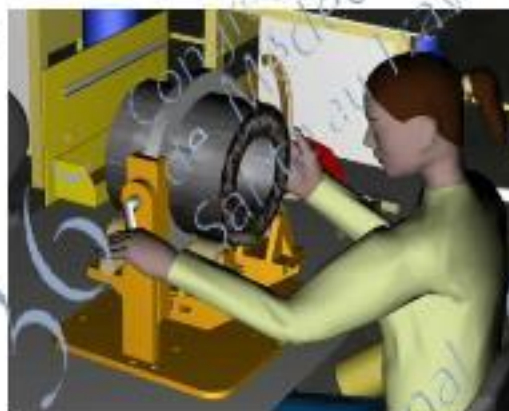
Articles Code du travail

2^{ème} ETAPE : Elaboration de préconcepts et définition d'un concept

Situation numérique : Pers. Num. et Réel –Poste Num –Env. Num.



Situation Numérique



Situation Existante



Sagot et al. (2003)

2^{ème} ETAPE : Elaboration de préconcepts et définition d'un concept

Plate-forme Visio-Concept

Immersion visuelle

Stéréoscopie passive

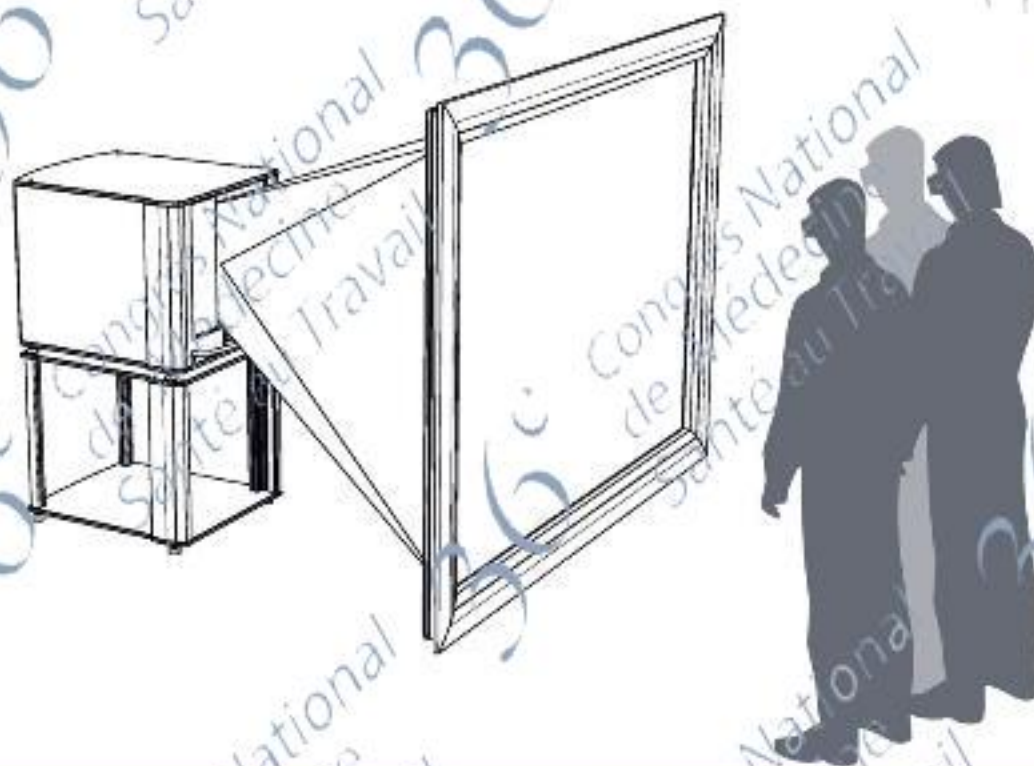
Système BARCO

**Gemini avec
2 projecteurs**

**Polarisation
circulaire**

**Conversion signal
actif vers passif**

Ecran 2,4m x 1,8m



2^{ème} ETAPE : Elaboration de préconcepts et définition d'un concept



2^{ème} ETAPE : Elaboration de préconcepts et définition d'un concept

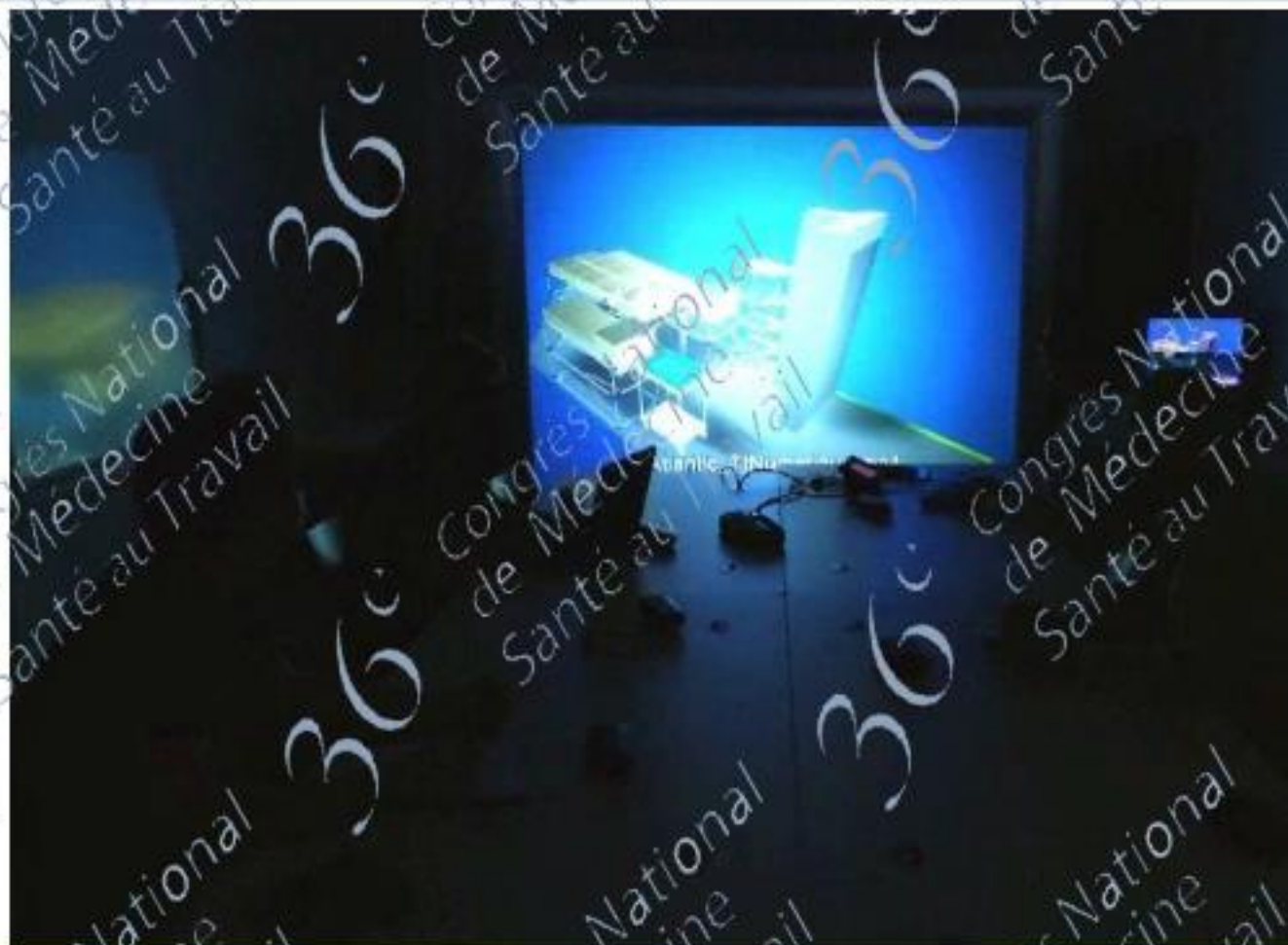
Simulation scénarios reconstituant certaines Tâches Futures Souhaitables en groupe projet



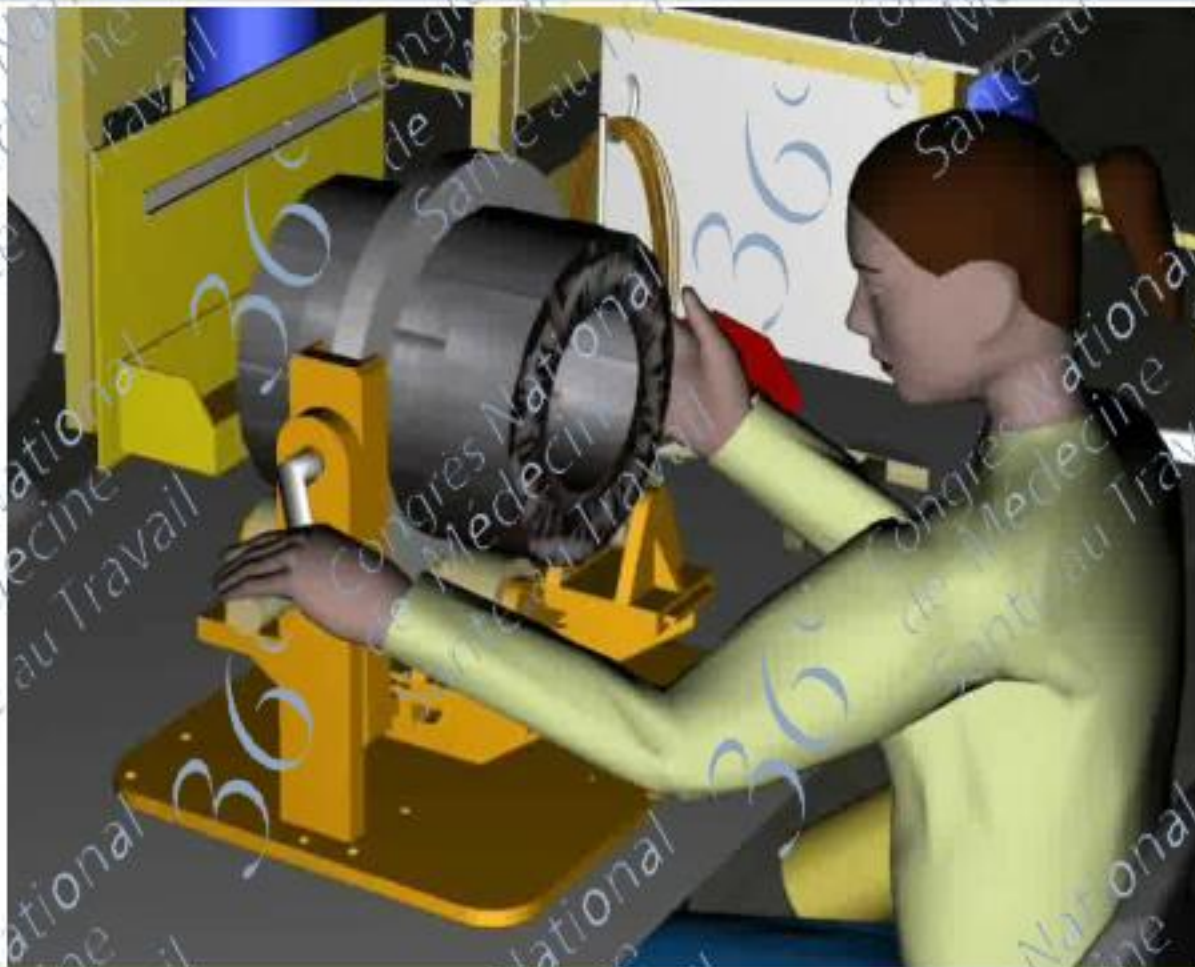
2^{ème} ETAPE : Elaboration de préconcepts et définition d'un concept numérique



**Plate-forme de travail collaboratif
(Visio-Concept, vidéo-projecteur,...)**



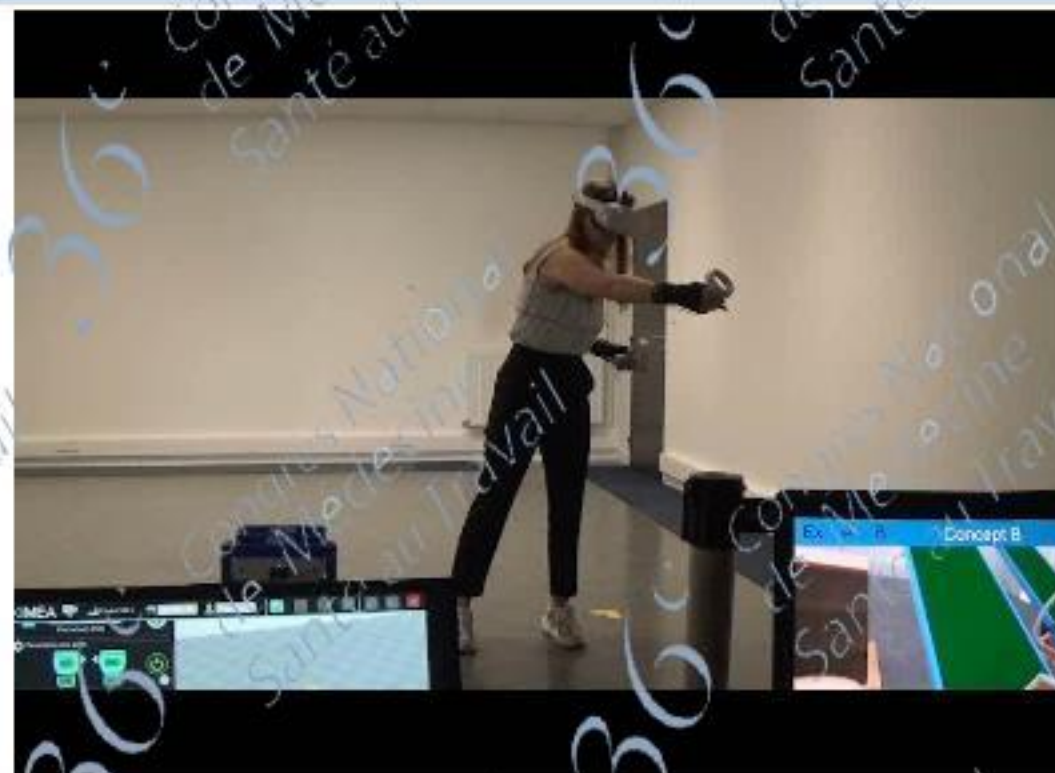
Evaluation d'un pré-concept avec mannequins numériques 3D reconfigurables



2^{ème} ETAPE: Définition d'un concept = livrable de l'étape

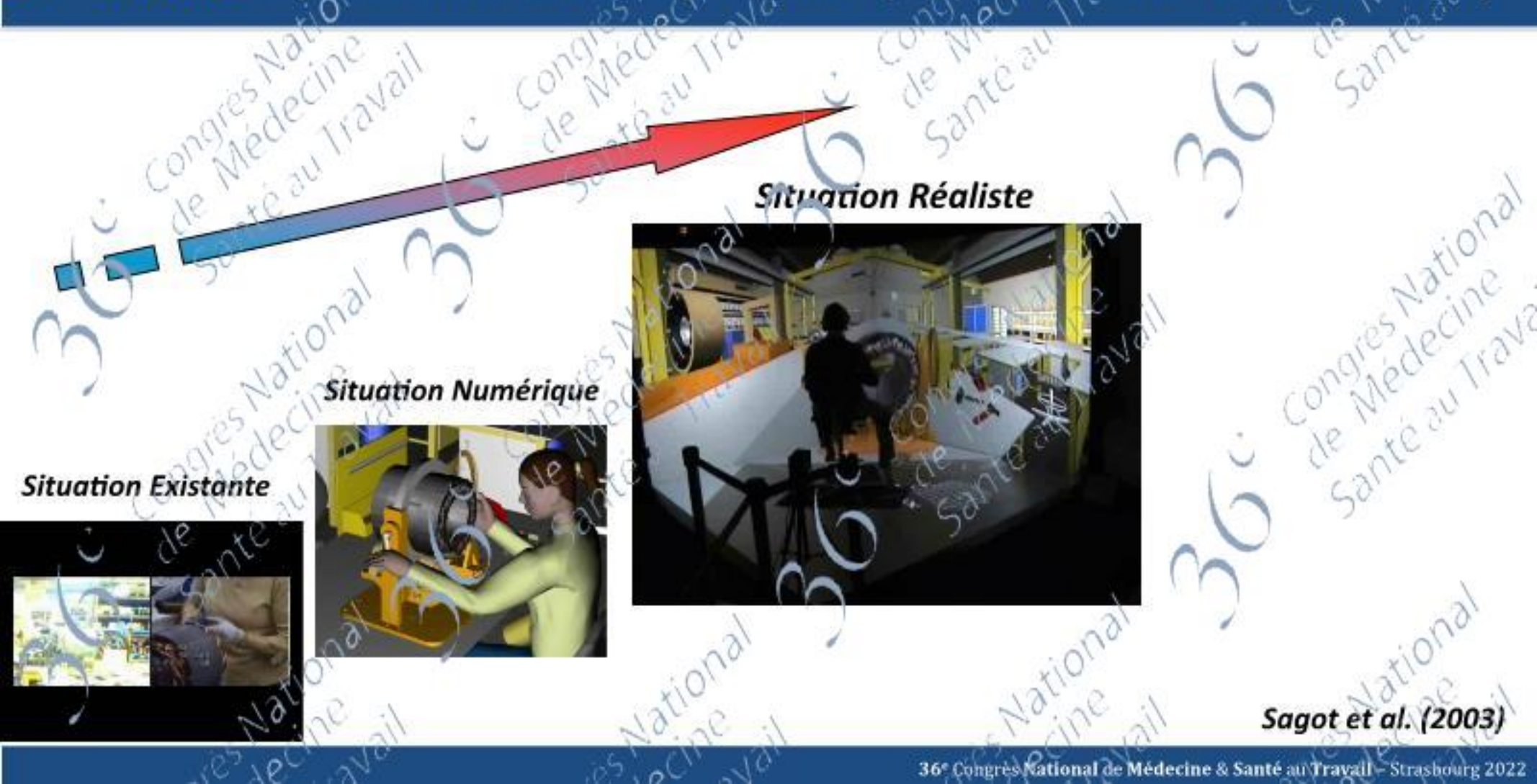


KINECT 2 + OCULUS RIFT S (moins de 1000€)



Kit KIMEA (avec la Kinect AZURE, l'outil de captation associé à des algorithmes de pointe permettent une visualisation instantanée des risques de TMS)

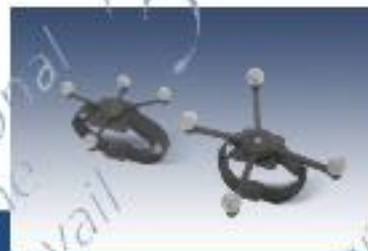
3^{ème} ETAPE : Optimisation du concept retenu (Pers. Réel-Poste Num-Env. Num)



Sagot et al. (2003)

3^{ème} ETAPE : Optimisation du concept retenu sur plateforme de RV Immersive

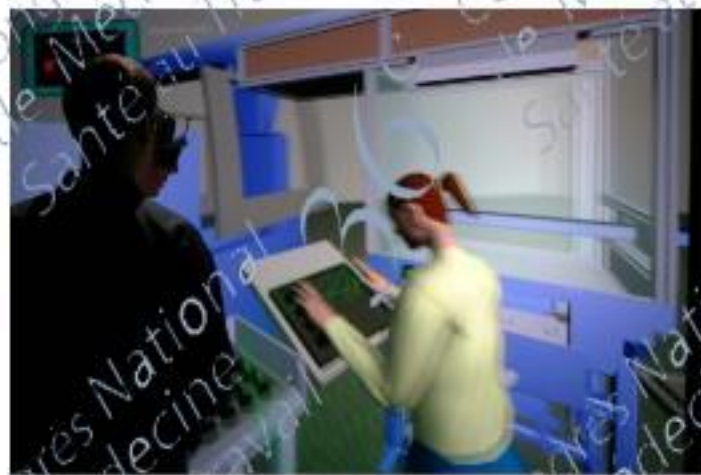
- Immersion visuelle
- Stéréoscopie active 115Hz
- 3 vidéoprojecteurs Christie SXGA+ (1400x1050)
- 2 écrans verticaux en acrylique 2,80m x 2,10m
- Rétroprojection
- 1 écran au sol en panneau bois 2,80m x 2,80m
- Projection directe via miroir
- Suivi de mouvements
- Système optique ART
- 6 caméras avec cibles tête + mains + pieds + divers



3^{ème} ETAPE : Optimisation du concept retenu sur plateforme de RV Immersive



3^{ème} ETAPE : Optimisation du concept avec le groupe projet



**Simulation de
certaines
Activités Futures
Souhaitables
avec le groupe projet
intégrant tous les
acteurs, bien-sûr les
opérateurs, voire
aussi des mannequins
3D**

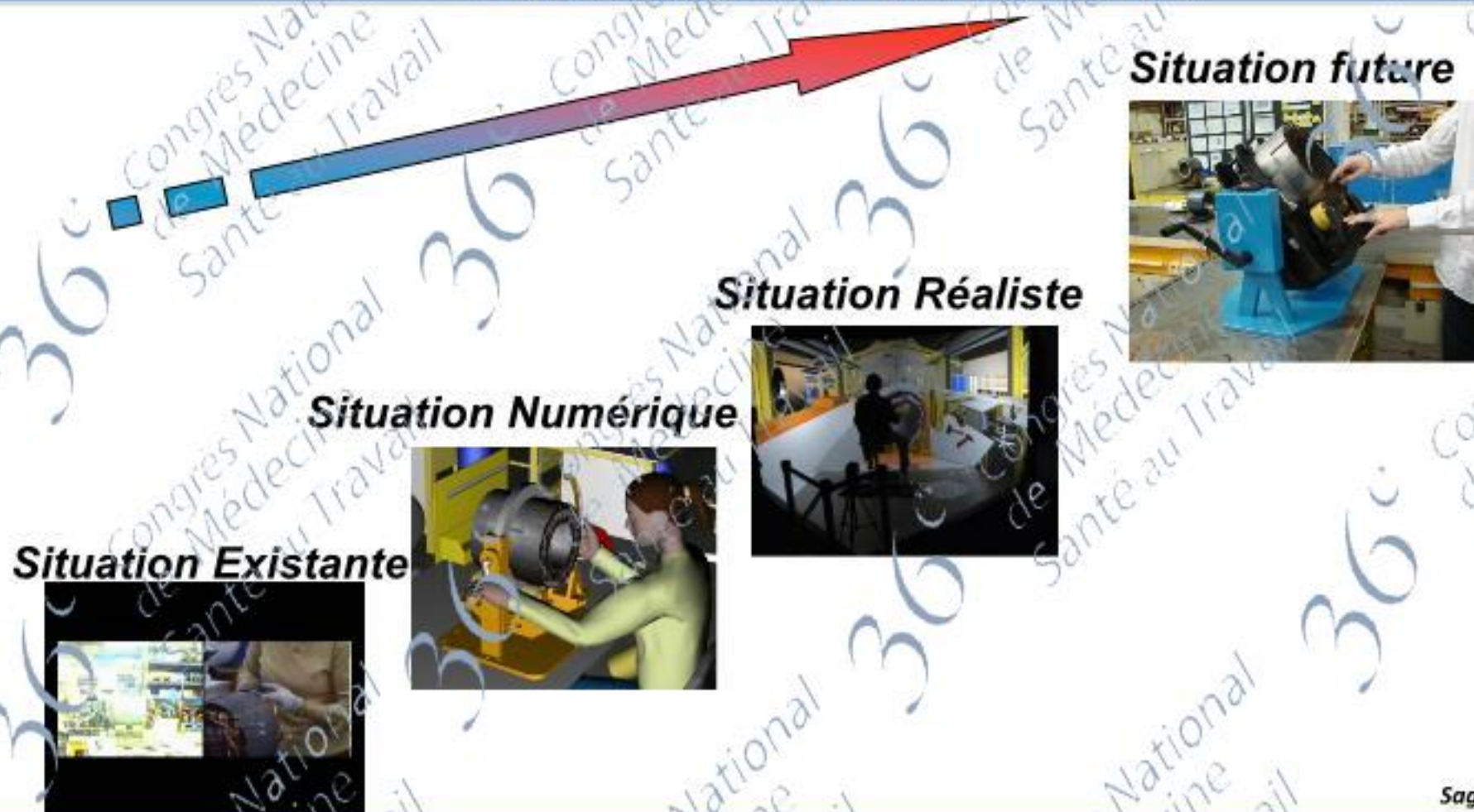
3^{ème} **ETAPE** : Optimisation du concept avec le groupe projet



3^{ème} **ETAPE** : Optimisation du concept avec le groupe projet



4^{ème} ETAPE : Développement- validation (techno-ergo-éco-social)
Situation future : HR-PR-ER



Sagot et al. (2003)

4^{ème} **ETAPE** : Développement- validation du concept retenu, test sur prototype



Pour une conception centrée sur la PERSONNE

Question industrielle



Solution de conception satisfait aux exigences du groupe projet et des opérateurs en particulier

Sagot et al. (2003)

Situation Existante



Situation Future

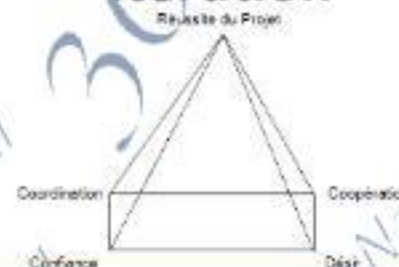
CdC: TFS + Marges

Situation Numérique



Evaluer les conceptions par rapport exigences

Itération



Situation Réaliste



36^e

Congrès National de Médecine & Santé au Travail

Du 14 au 17 juin 2022
Palais de la Musique et des
Congrès de Strasbourg

Merci de votre attention