

Dominique Yolin
dominique@arcrean.com



Étapes et Document de conception

- Cours de découverte -

She thinks she's playing the new
minecraft



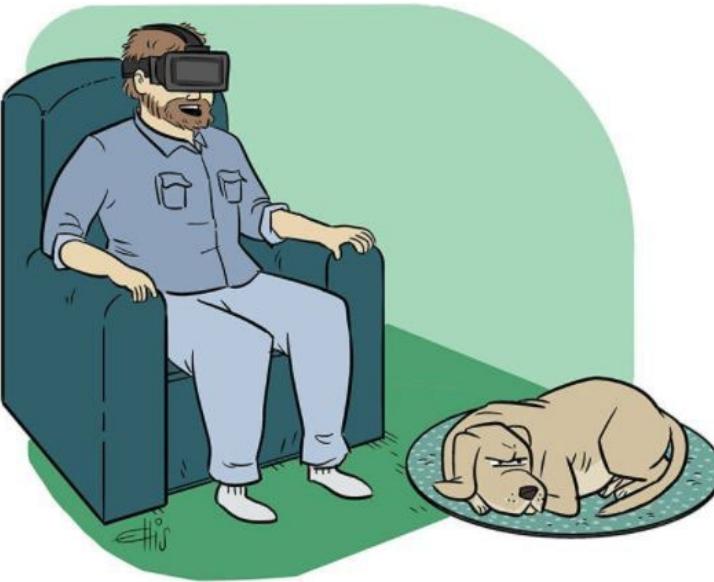
Conception d'application

Affordance et feedback

Conception sensorielle

Réalisme

Critère et évaluation



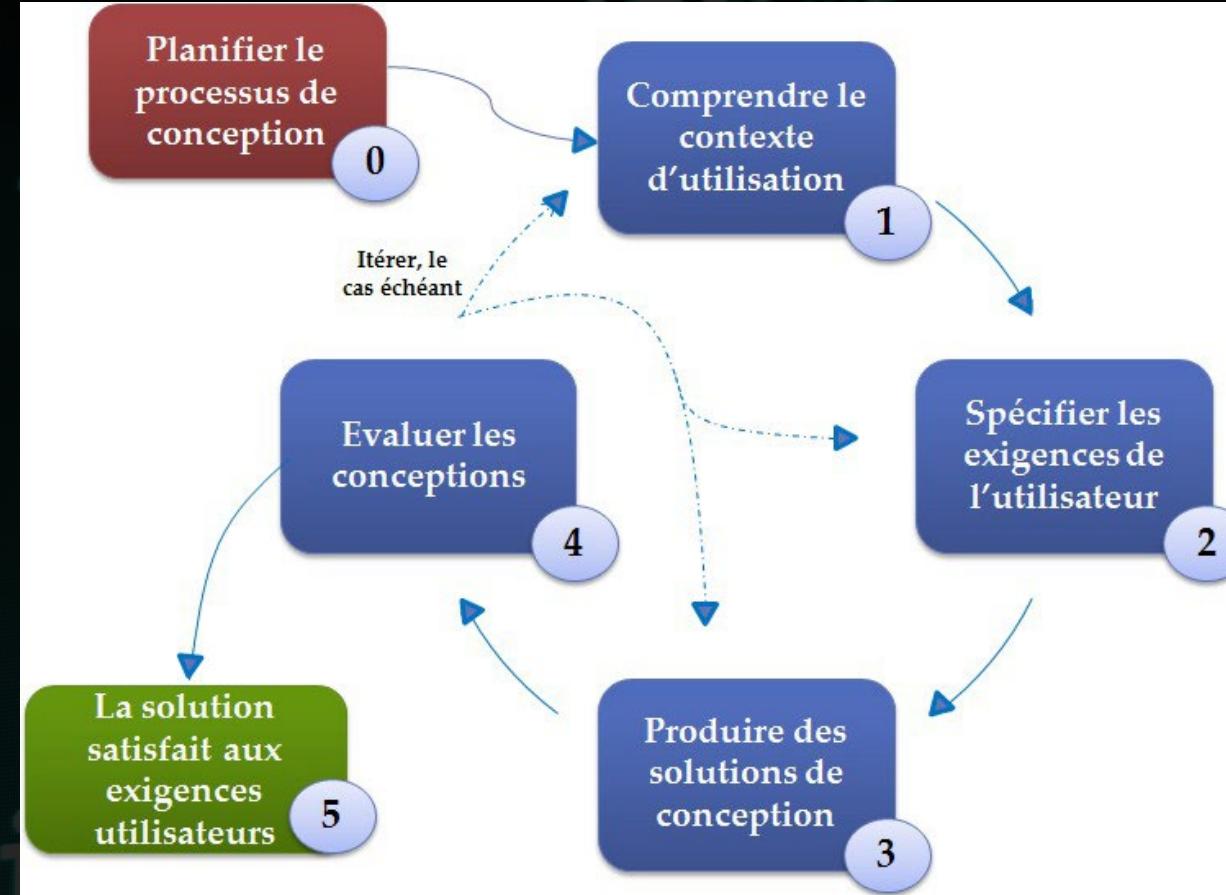
"It's like I'm actually walking my dog!"

Conception d'une application

Sujets couverts dans ce chapitre

- Conception centrée sur l'utilisateur
- La démarche
- Les différentes étapes et questions à se poser
- Les tests à faire

Conception centrée utilisateur



J. Veytizou, G. Thomann, F. Villeneuve. Un produit universel pour une interface sur mesure.
Colloque Jeunes Chercheurs et Jeunes Chercheuses, Jun 2013, France.

Objectif

- L'objectif de ce document est de présenter les étapes principales de conception d'une application en Réalité Virtuelle (et par extension en eXtended Reality - XR)
- Le travail de conception est avant tout un exercice de pensée qui fait appel
 - à vos connaissances assimilées en XR jusqu'à aujourd'hui,
 - à vos expériences passées éventuelles en XR,
 - à votre capacité de projection dans une expérience de XR, quand bien même vous n'avez jamais personnellement eu l'occasion de tester quelque dispositif XR que ce soit,
 - et donc à votre pouvoir d'imagination

Étape par étape

- A première vue le formalisme de la méthode qui suit peut sembler ardu, mais il ne faut surtout pas se laisser impressionner par les termes techniques.
- Commencer par imaginer l'application XR, sans retenue, en faisant confiance à ses intuitions.
- Faire de ce moment de brainstorming en équipe un moment ludique et plaisant.
- Et lorsque les contours d'une expérience virtuelle pertinente seront définis, alors il sera temps de faire rentrer les idées dans le formalisme méthodologique proposé.
- Cette dernière phase sera d'autant plus simple que l'expérience virtuelle semblera convaincante et naturelle.

Analyse des besoins des utilisateurs

- Quelle activité/objectif dans l'environnement virtuel ?
 - Explorer, comprendre, analyser, se former, se divertir...
 - Contexte
 - Analyse de l'activité existante (non RV)
 - Quelle part conserver en réel ? Quelle part virtualiser ?
- Quel comportement/bénéfice attendu du système ?
- Quel(s) profil(s) utilisateur(s)
 - Capacités sensori-motrices, nombre, expertise, préférences
- Quelles contraintes (techniques, usage...) ?
- Empathie :
 - comprendre l'expérience, la situation des personnes qui vont utiliser (observer, discuter, analyser les réactions et le besoin)
- NB : Vous n'êtes pas vos utilisateurs

Etat de l'art

- Détermination des problématiques
- Analyse des solutions existantes aux problématiques
 - Recherche d'applications sur étagère
 - Recherche d'articles scientifiques (synthèse bibliographique)
 - Etude de concurrence
 - Recherche dans des domaines différents

Démarche de conception

- Hypothèse: il est préférable de privilégier un schème sensorimoteur naturel pour toutes les ACV (Action Comportemental Virtuelle) exigées par le niveau des I² fonctionnelles, au lieu d'exploiter une métaphore.
- Ce choix doit cependant être fait au regard de l'efficacité et du coût de l'interfaçage technique nécessaire.
- Dans le cas du choix d'une métaphore, il est préférable que celle-ci soit aisément assimilable par l'usager pour devenir un **schème sensorimoteur artificiel**.

Document de conception

- Dans le document commencer par faire figurer les informations factuelles
 - Nom du projet
 - Entreprise/lab/autheurs impliqués
 - Date
- Utiliser les 7 étapes de conception qui suivent pour créer le document
 - Chaque étape sera un chapitre du document

Étapes de conception

➤ 1^{ère} étape : I² Fonctionnelles / Objectif

- On exprime le ou les objectifs macro de l'application ainsi que la population cible (enfants, professionnels, tout public, etc).
- On spécifie très rigoureusement les grandes fonctionnalités de l'application.
 - Ces fonctionnalités découlent des objectifs à atteindre.
 - Spécificités & contraintes liées aux besoins

➤ 2^{ème} étape : Les ACV et interactions

- A partir des I² fonctionnelles désirées, on détermine les ACV utiles.
 - Scénario, flow d'application
- En particulier pour les activités requérant une gestuelle spécifique, les gestes nécessaires à l'activité réelle doivent être précisés avec exhaustivité.
 - Le choix des gestes à transcrire virtuellement doit être réfléchi.
 - Si certaines phases de l'activité modélisée reposent sur un enchaînement précis d'ACV, lister ces séquences.
- Se poser la question du niveau de simulation réaliste nécessaire
- Environnement virtuel
 - Contenu virtuel : métier, visuel, audio... statique et dynamique
 - Interface graphique

➤ 3^{ème} étape: I² Sensorimotrices

- On détermine la ou les interfaces comportementales qui permettent de mener au mieux les ACV désirées
- Interactions
 - Techniques, commandes/actions et effets/feedbacks, assistances/guides
 - Relations de temps, espace, dépendances..., activations/désactivations, en cas de simultanéité vérifier la compatibilité

Étapes de conception

► 4ème étape : I2 Cognitives

- On détermine pour chacune des ACV, soit a priori, soit par rapport aux expériences passées en XR, le ou les schèmes sensorimoteurs naturels susceptibles de fournir une immersion et une interaction efficaces.
- Si ces schèmes naturels ne peuvent être réalisés à un coût abordable, une métaphore appropriée sera choisie.
 - dans le cas d'utilisation d'une manette RV, Gamepad ou autre, ne pas oublier d'expliquer le mapping des contrôles sur les actions à réaliser

► 5ème étape : Les Aides Logicielles Comportementales

- Des ALC sont ensuite conçues pour améliorer les I2 cognitives et les I2 sensorimotrices.
- Ces ALC s'avèrent souvent indispensables pour parfaire l'immersion et l'interaction, elles peuvent permettre au sujet d'accepter les incohérences sensorimotrices inhérentes à l'expérience en RV+.

► 6ème étape: Analyse de la transparence de l'interfaçage comportemental

- On analyse le degré d'immersion extéroceptive et proprioceptive de l'interfaçage comportemental choisi
- On effectue des tests auprès des utilisateurs pour repérer les points opaques de l'interfaçage
- On met en place un tutoriel ou un plan d'apprentissage des interactions non immédiatement affordantes

► 7ème étape: schéma

- Description d'une séquence fonctionnelle représentative de l'expérience souhaitée
- S'appuyer sur des écrans “wireframes” et/ou des “mockups”
 - <https://www.aha.io/roadmapping/guide/product-management/wireframe-mockup-prototype>

Les schémas

- Doivent rendre compte de ce que l'utilisateur visualise exactement (dans le visiocasque pour le présent module),
- Les éléments visuels qui participent des ACV doivent être présents, même si grossièrement illustrés:
 - les objets manipulés,
 - les mains ou manettes VR,
 - les éléments d'UI,
 - les feedbacks visuels amenés par les ALC, etc.
- La dimension sonore peut également être représentée sur ces écrans via l'icône du haut-parleur à côté duquel vous ajoutez une étiquette textuelle décrivant le son produit.

Choix des interfaces

- En théorie, les interfaces devraient servir les interactions et être choisies après la conception
- En pratique, sont souvent des contraintes de l'application : approche technocentré
 - Ne doivent pas être le point de départ de la conception
 - Ne doivent pas aller à l'encontre des besoins
 - Connaitre leur potentiel et leurs limites
- Ex : HMD vs. Cave vs Moniteur, Kinect vs Leap Motion, Meta Quest vs Apple Vision Pro...
- Idéalement, une analyse économique du matériel informatique et des interfaces préconisées (et disponibles sur le marché) pour l'application de XR serait à envisager...

Développement itératif

➤ Choix d'un moteur

➤ Bonnes pratiques classiques

- Qualité de code : évolutif, modulaire...
- Couches d'indépendance vis-à-vis du matériel
- Profiling et optimisation des performances
- Gestion de version
- ...

➤ Prototype

- Basse fidélité (rapide et peu cher)
- Tangible
- Répond à un objectif/besoin
- Dans un proto brut, on voit le potentiel, dans un proto raffiné, on voit les pbs

Etapes de travail proposées

- Base simplifiée de l'environnement virtuel
 - Echelles
 - Organisation spatiale des éléments, repères
 - Comportements obligatoires



- Interactions de base pour chaque tâche : se concentrer sur l'essentiel
 - Maîtrise des interfaces : forces et faiblesses
 - Navigation, sélection, manipulation, contrôle
 - Itérations

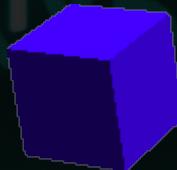
- Amélioration du programme
 - Architecture, modularité, indépendance matérielle, réseau...
 - Comportement complet
 - Gestion des données métier

- Raffinement des techniques
 - Feedbacks sensoriels
 - Guides virtuels

Tests itératifs !

- La RV et les I3D sont intrinsèquement liées à la notion d'expérience utilisateur (UX)
- Tout choix de conception/développement influe sur l'utilisabilité de l'application et la perception des informations
- Tests avec les utilisateurs finaux ou des participants représentatifs : vous n'êtes pas les utilisateurs !
- Différentes méthodes des plus informelles aux plus scientifiques
- Compléments conception & UX
 - <https://fr.slideshare.net/marknb00/comp-4010-lecture-5-interaction-design-for-virtual-reality>

Quelques exemples de schémas explicatifs



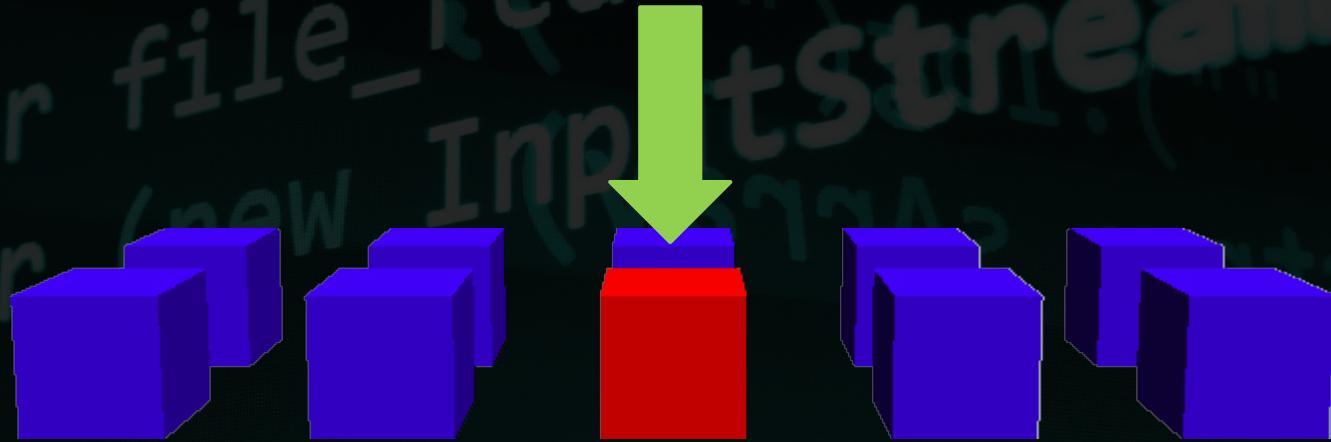


```
public static void main (String[] args) {
    try {
        BufferedReader file_reader = new BufferedReader(new InputStreamReader(
                new FileInputStream("file.in")));
        String text;
        while (!(text=file_reader.readLine().trim()
                .equals(file_contents))).endsWith("))") System.out.println("no");
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
```

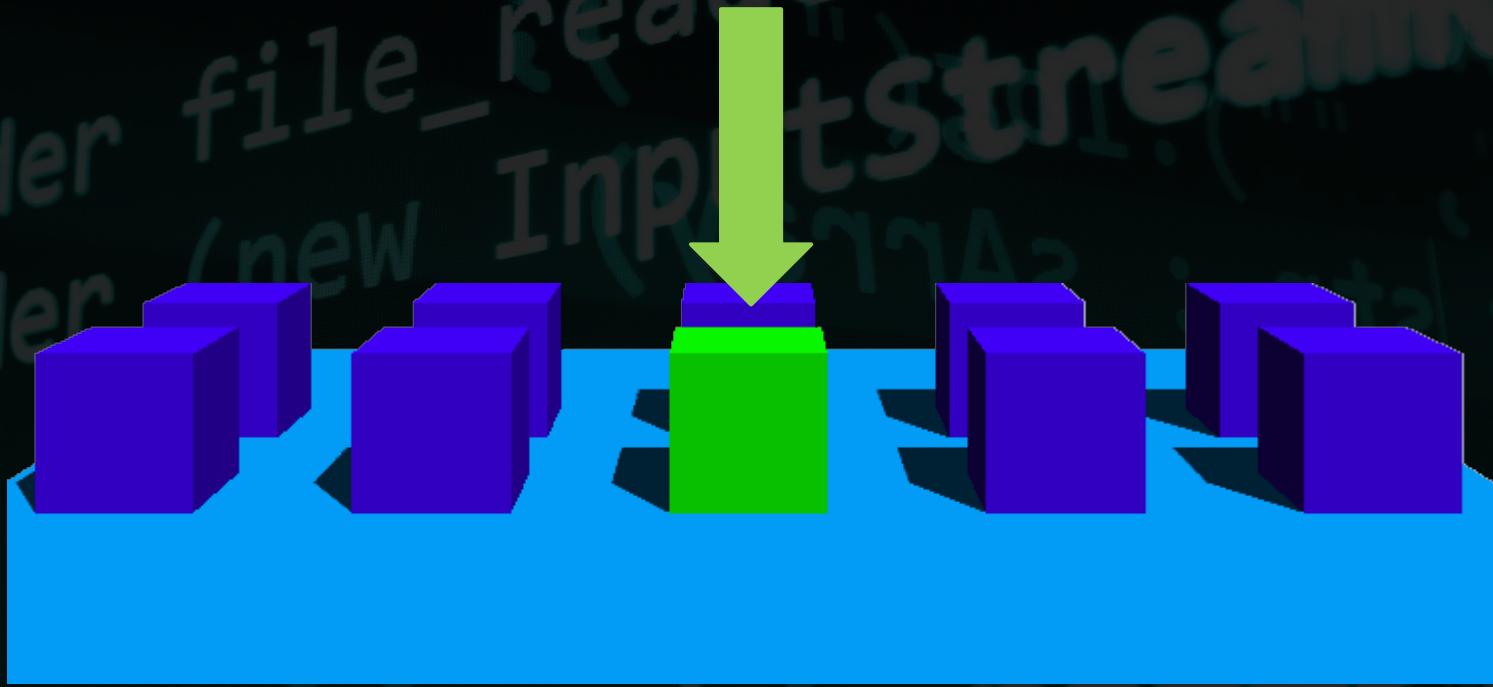


```
public static void main (String[] args) {
    BufferedReader file_reader = new BufferedReader(
        new InputStreamReader(
            new FileInputStream("file.in")));
    String text;
    while (!(text=file_reader.readLine()
        .file_contents)).endsWith(")) System.out.println(text);
}
```

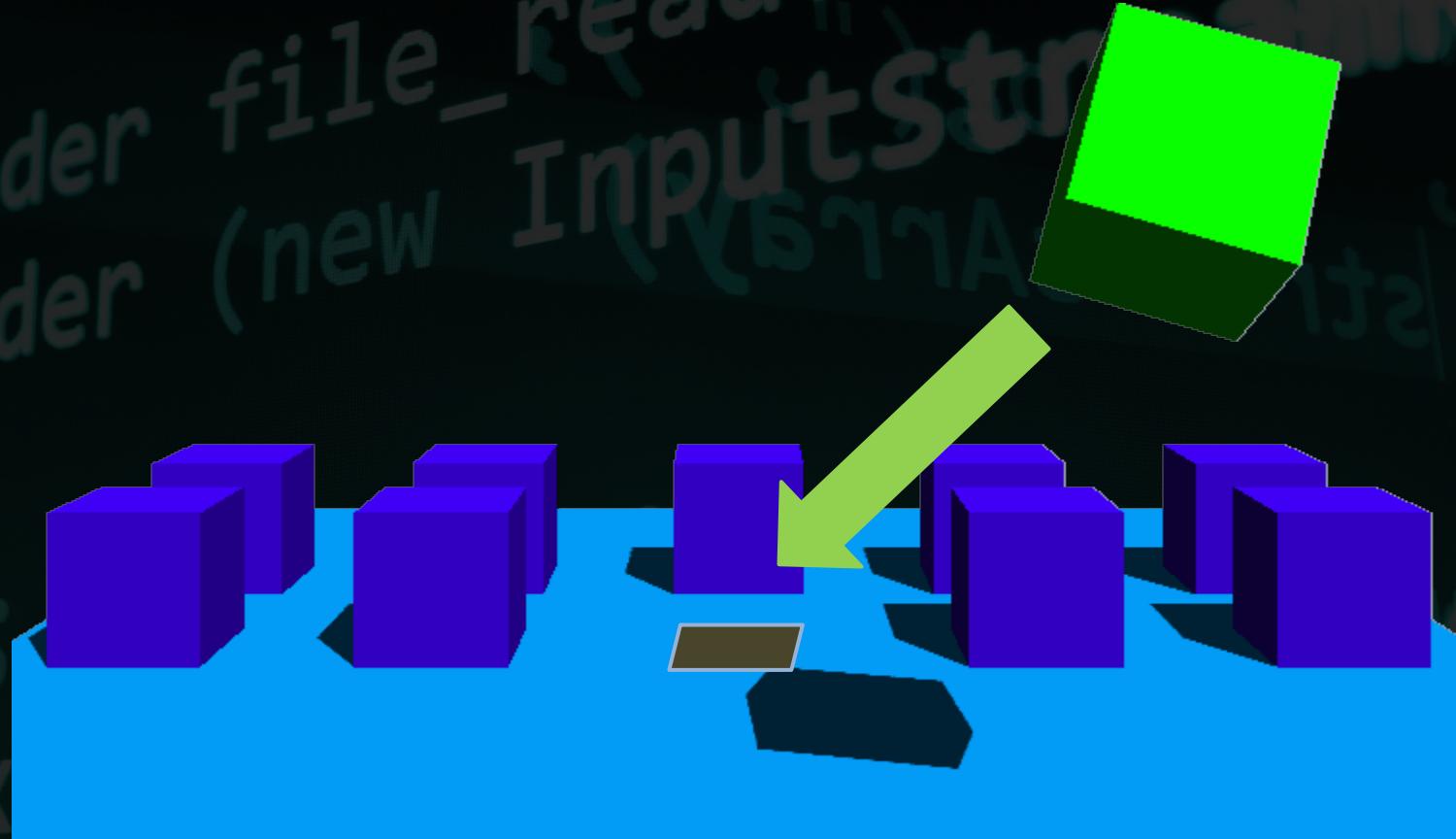
Ne pas toucher les cubes bleus



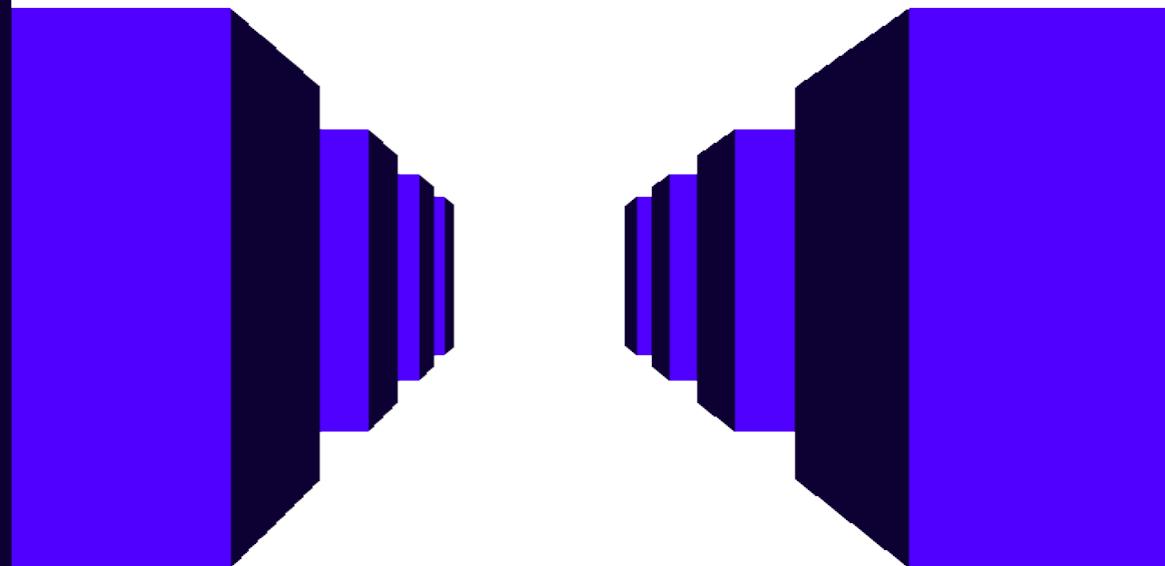
Sélection ?



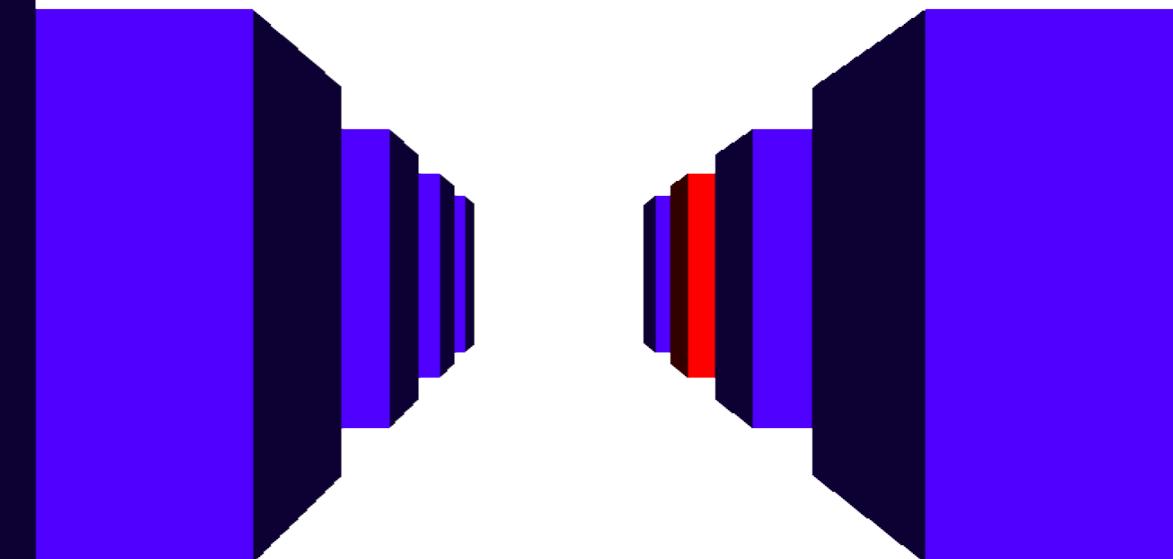
Manipulation ?



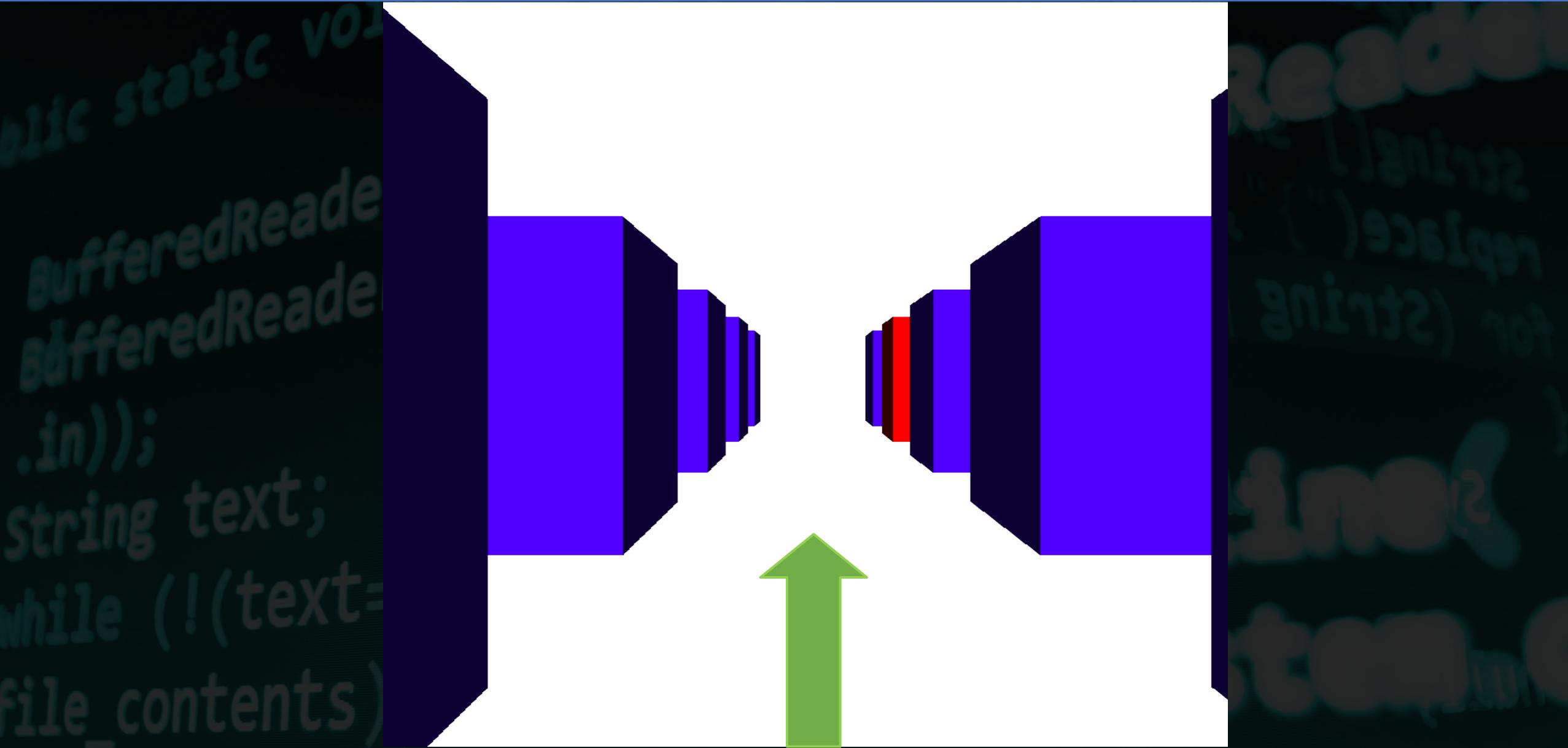
Visualisation de l'environnement



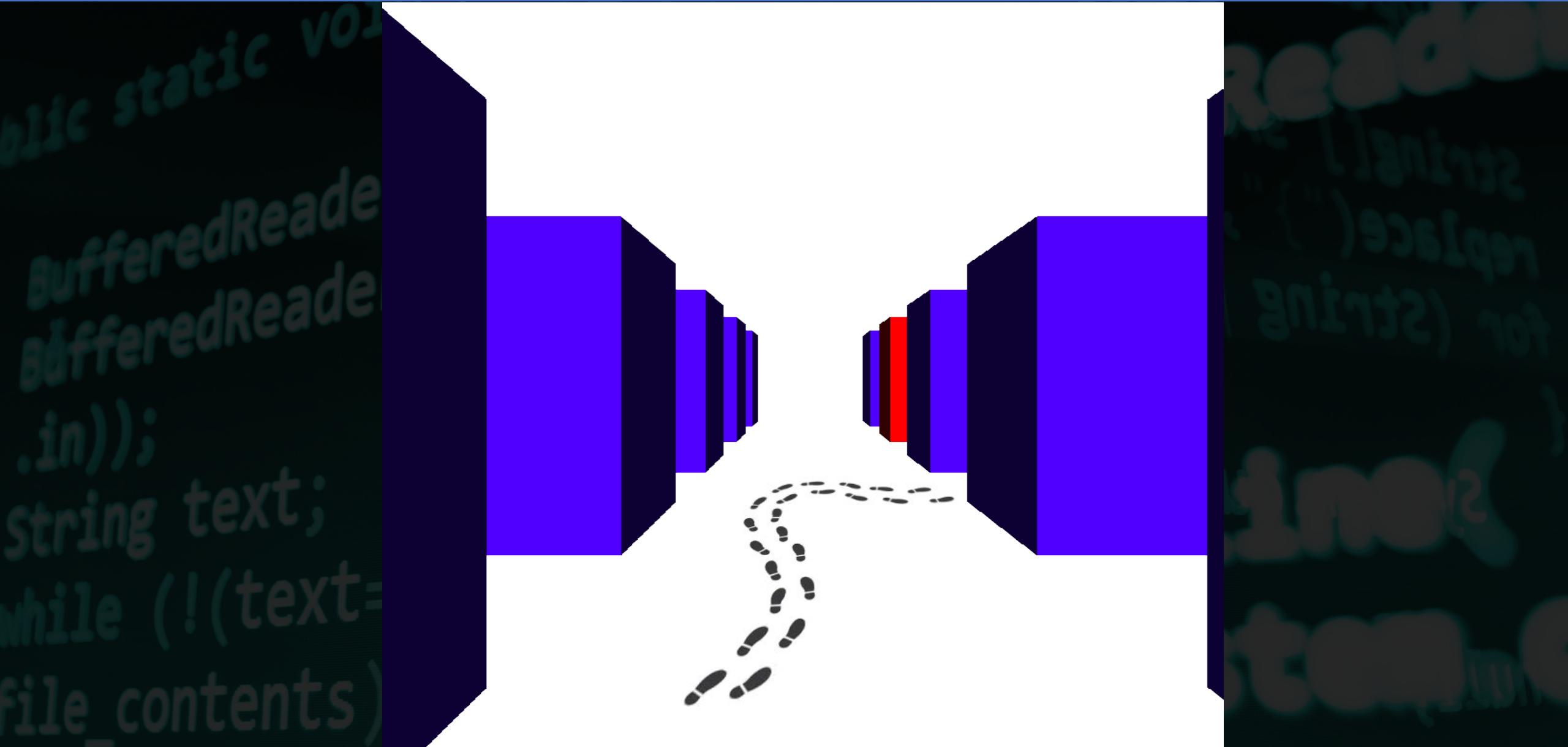
Highlight des éléments importants



Navigation : exemple 1



Navigation : exemple 2



you think that's a pasture you're
grazing?



Affordance et feedback

Sujets couverts dans ce chapitre

- Définitions
- L'affordance dans les jeux
- Les feedbacks

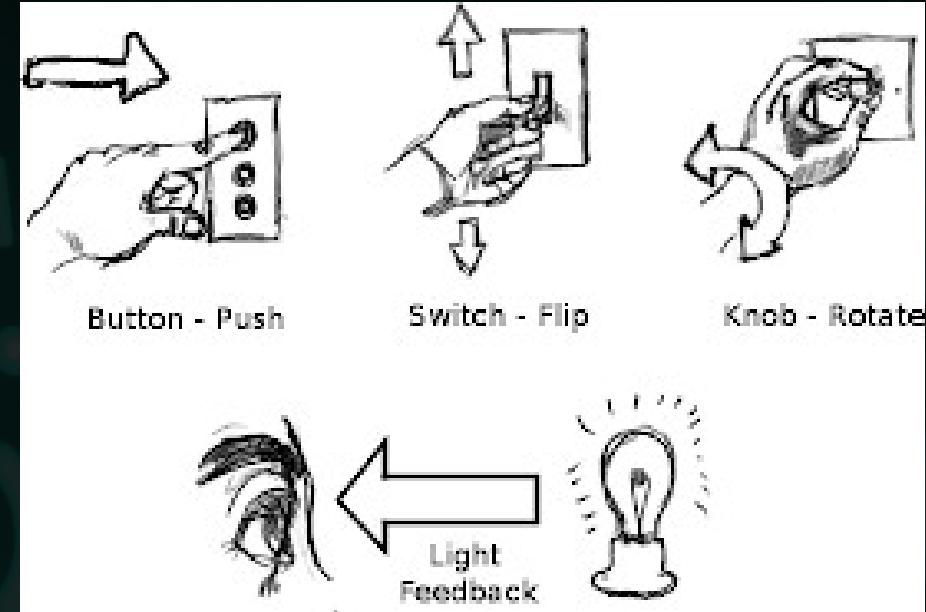
Discoverability

- Besoin de déterminer ce que fait le système, comment il fonctionne, quelles actions sont possibles, l'état actuel du dispositif...
- Doit fournir des informations pour construire un modèle conceptuel de l'environnement
- Lié à des concepts psychologiques tels que
 - Feedback
 - Affordances
 - Contraintes
 - Sentiment de contrôle



Affordances (Gibson 1986)

- Une propriété d'un objet ou d'un environnement qui communique un moyen de l'utiliser.
 - Hyperlien, poignée de tiroir...
- "La forme suit la fonction"
- Pas facile à mesurer



Affordances (Norman 2013)

➤ Affordance = la relation entre

- un objet et ses propriétés
- une personne et ses capacités

➤ Les interactions possibles entre les personnes et l'environnement

- Anti-affordance = prévention de l'interaction.

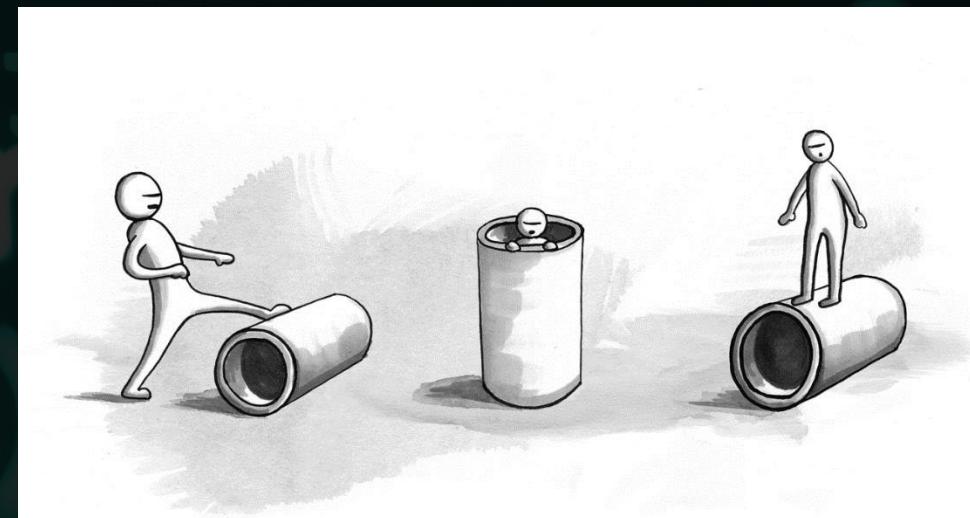
➤ Ex :

- La chaise permet de (afford, is for) s'appuyer, s'asseoir et se lever.
- Le verre permet la transparence mais empêche le passage

Submit

Submit

Submit



Signifiers (Norman 2013)

➤ Les composants de signalisation des affordances

- Indicateur perceptible pour communiquer le but, la structure et le fonctionnement de l'appareil aux personnes qui l'utilisent.

➤ Délibérée ou involontaire

- Ex : localisation de l'action



Fausses affordances



Affordances & Signifiers dans les jeux

- En game design, utilisé pour indiquer aux joueurs comment interagir avec l'environnement, les objets ou pendant le combat.



Zones d'escalade et de
balancement de la corde
d'Uncharted 4



Sonic 3 : déplacement d'un obstacle



Affordances & Signifiers en RV

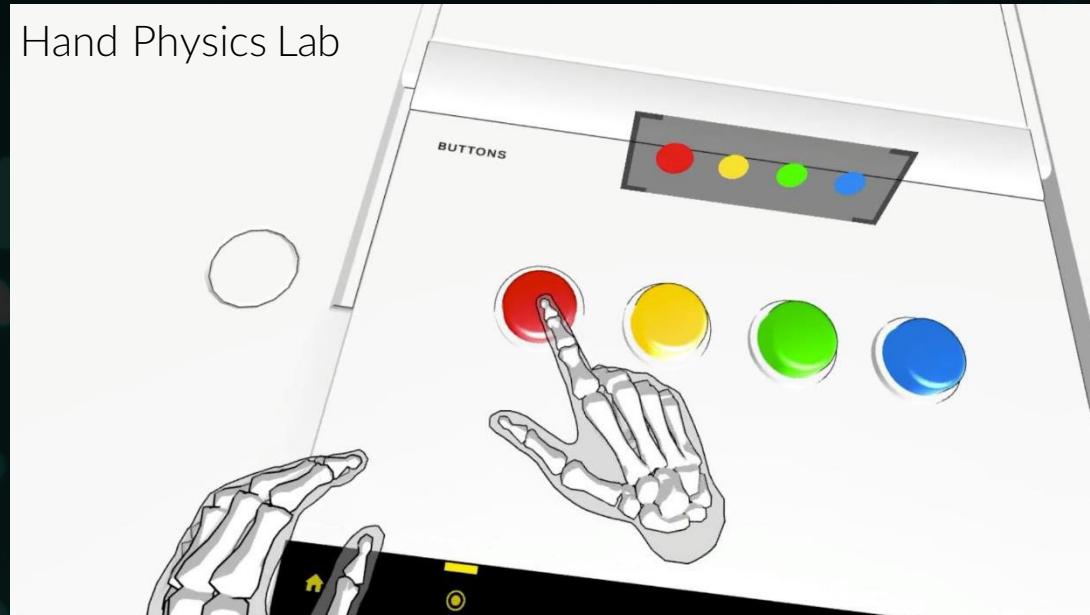
- Utilisation d'affordances and signifiers du monde réel

Zenith: The Last City

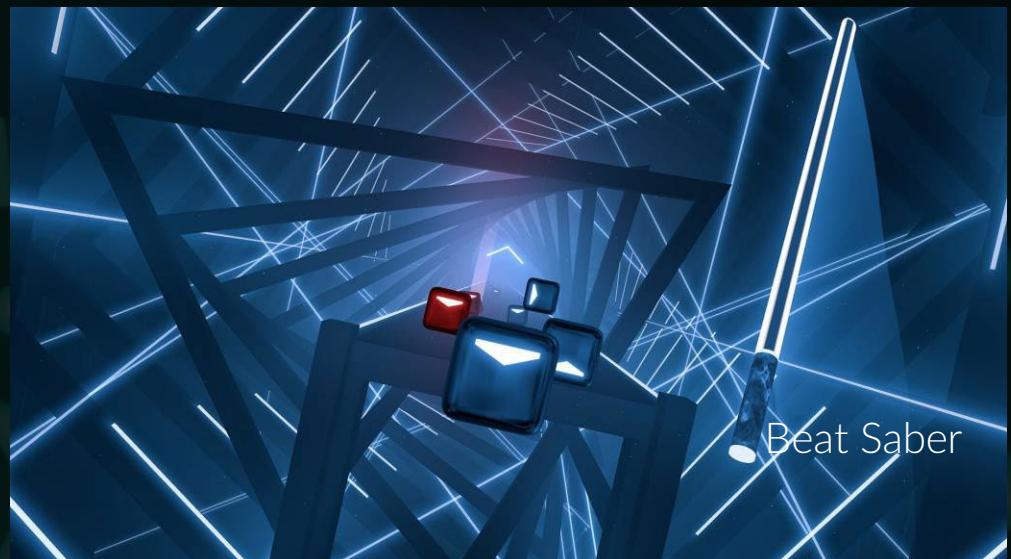
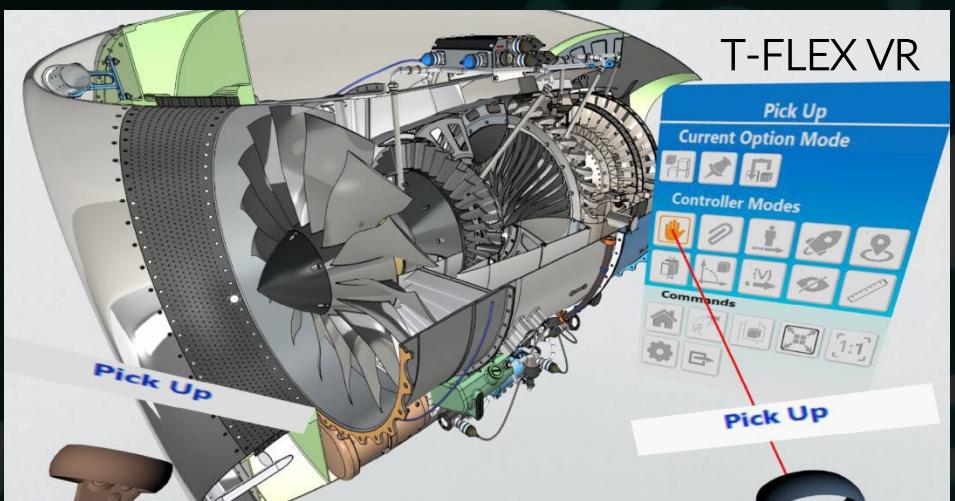


The Climb

Hand Physics Lab

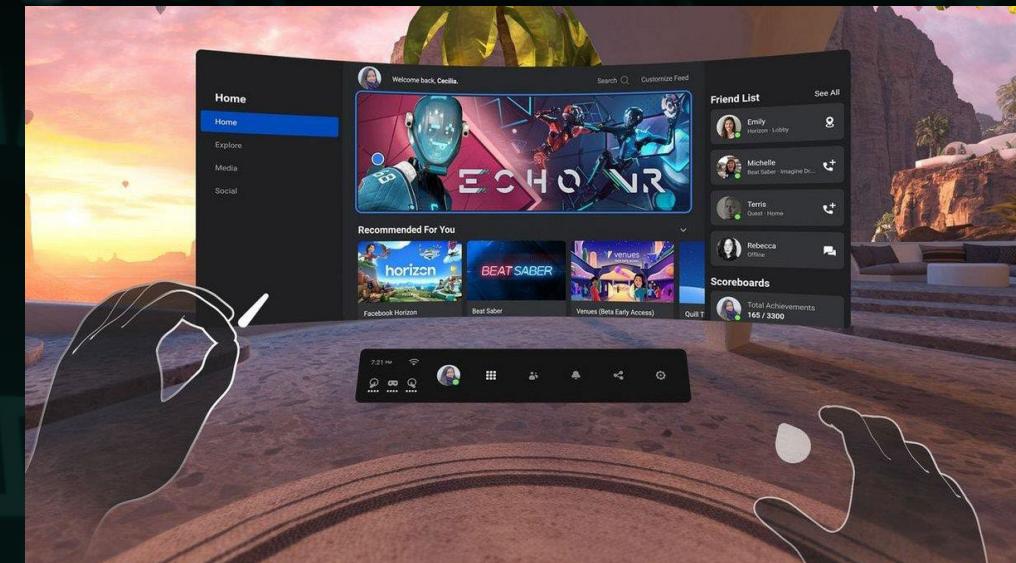


Affordances & Signifiers en RV



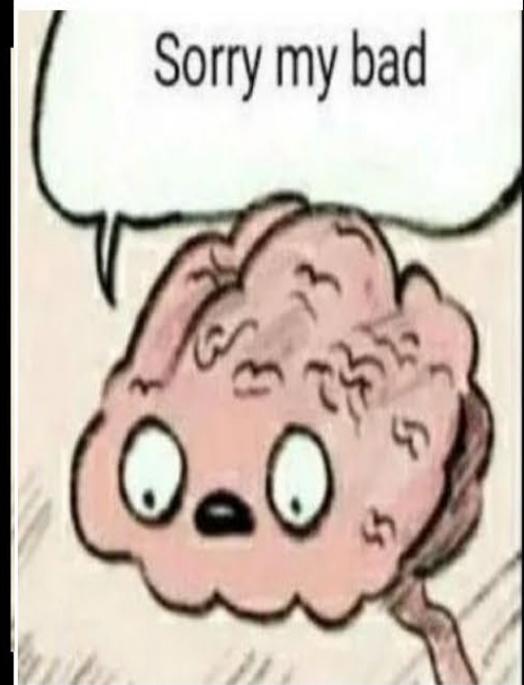
Feedback

- “Rétroaction”, “retours sensorimoteurs”
- Consiste à communiquer à l'utilisateur les résultats de ses actions grâce à des informations explicites (Norman 2013)
 - Permet de savoir que ses actions ont été prises en compte, ce que ses actions ont eu comme conséquences
 - Ex : le bouton est appuyé, l'objet est déplacé...
- Permet de savoir que le système est en train de faire quelque chose
 - Ex: icone de chargement
 - Cf 1ère heuristique Nielsen (visibility of system status) plus loin dans les slides
- Peut être positif/négatif
 - Conforter dans son action vs. indiquer une erreur ou une impossibilité



Feedback

- Toute action est associée à une attente, que le feedback vont confirmer ou non
- (“knowledge of result”)
 - Le feedback rassure, même si le résultat est négatif
 - Il est essentiel à l'apprentissage
 - Le manque de feedback crée un sentiment de manque de contrôle
- Doit être fait de manière appropriée
 - Immédiat
 - Informatif
 - Un mauvais feedback peut être pire qu'aucun, et provoquer distraction, anxiété ou énervement
 - Planifié et priorisé
 - Informations importantes doivent capter l'attention, les autres ne doivent pas être intrusives
 - Trop de feedback peut être pire que pas assez



Conception sensorielle

Sujets couverts dans ce chapitre

- Les ACV visuelles
- Leur importance
- La localisation spatiale
- Les interfaces
 - Haptiques
 - UI
 - Audio

Liste des ACV usuelles et exemples d'I² cognitives et sensorimotrices associées.

➤ ACV Observation:

- visuelle,
- auditive,
- tactile,
- olfactive.

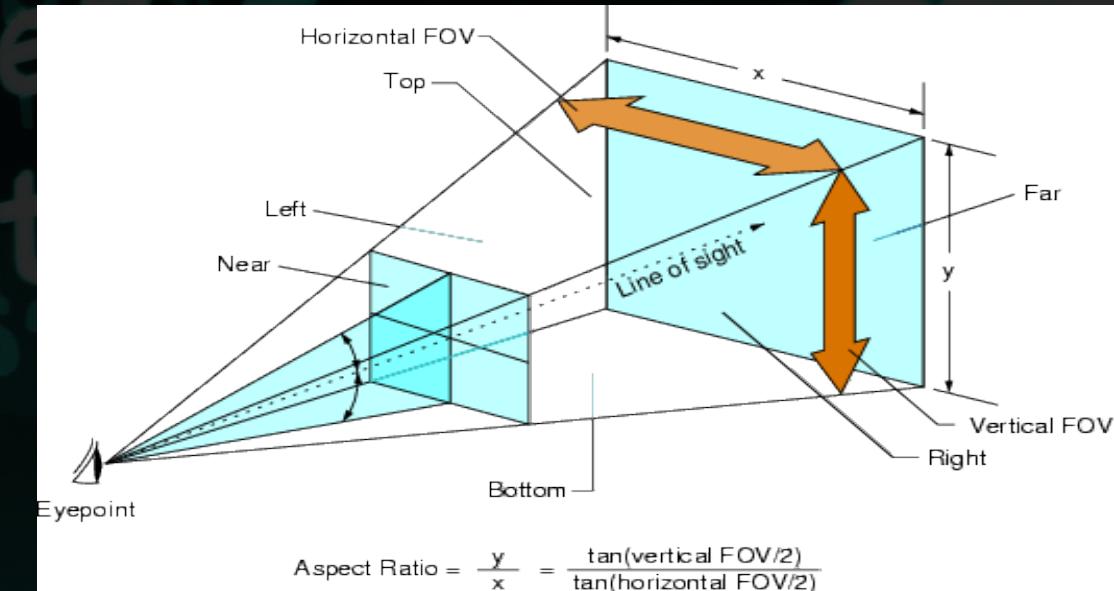
➤ Servent dans le cadre des I2 fonctionnelles à:

- Comprendre l'environnement virtuel
- Chercher quelque chose ou quelqu'un dans cet environnement
- S'orienter dans l'espace

Outils visuels

➤ Types d'outils

- Caméra(s)
- Objets 3D : métier, interactions, décors...
- GUI : texte, menus...
- Indications diverses : symboles...
- Avatars
- Lumières



➤ Effets modificateurs

- Géométrie : mesh, transformations, niveau de détail
- Matériaux : couleur, transparence, texture, shader
- FX : particules, animations, éclairage...
- Propriétés physiques ou comportementales : collisions, gravité, destruction, déplacement...

[SGI]

Importance de l'outil visuel

- L'observation visuelle est indispensable, souvent couplée à la restitution acoustique dans les applications de RV.
- Champ de vision et choix de l'interfaçage visuel (immersion proprioceptive ou extéroceptive) sont les conditions principales de cette ACV:
 - Si l'immersion proprioceptive est indispensable:
 - visiocasque RV ou CAVE (visualisation du corps immergé)
 - Si l'immersion extéroceptive est suffisante:
 - Point de vue fixe, avec champ de vision limité à une zone conique assez étroite:
 - un écran d'ordinateur peut suffire si l'espace est petit en dimension (ex: jeu vidéo, formation en chirurgie),
 - mais si l'espace doit être vu à l'échelle 1,
 - un grand écran avec vidéoprojection est nécessaire.
 - Mouvements de la tête horizontalement limités à moins de 180° et verticalement à moins de 90° (ex: simulateur de conduite): visiocasque, CAVE à 2 ou 3 faces, salle de projection composée de 2 ou 3 vidéoprojecteurs.
 - Mouvements amples de la tête horizontalement et verticalement, jusqu'à 360°: visiocasque, ou CAVE à 5, voire 6 faces. Pour les enfants, une tablette numérique avec traqueur d'orientation.

Remarques

- ➊ Dans bien des cas, le visiocasque est exploitable, mais ses faibles performances (faible résolution en pixels, champ de vision étroit) ou les désagréments sanitaires qu'il occasionne le rendent parfois inexploitables pour certaines I² ou populations d'utilisateurs.
- ➋ Observation acoustique: essentielle pour une observation omnidirectionnelle. Assez simple à analyser à partir de I² fonctionnelles.
 - Pour chaque son de l'environnement virtuel il faut préciser s'il est monophonique, stéréophonique ou spatial.
- ➌ Observation tactile: peu utilisée, rarement indispensable, nécessite un appareillage spécifique.
 - Le gant à retour tactile permet par exemple de déterminer les caractéristiques d'un contact: état de surface, vibrations, pression et température.
 - L'observation tactile peut souvent être remplacée par une métaphore avec substitution sensorielle.

Localisation spatiale

➤ Contraintes physiologiques et technologiques

- Champ de vision, acuité, ergonomie...
- Résolution, champ de vision, eye tracking...

➤ Zone optimale entre 1,25 et 5m

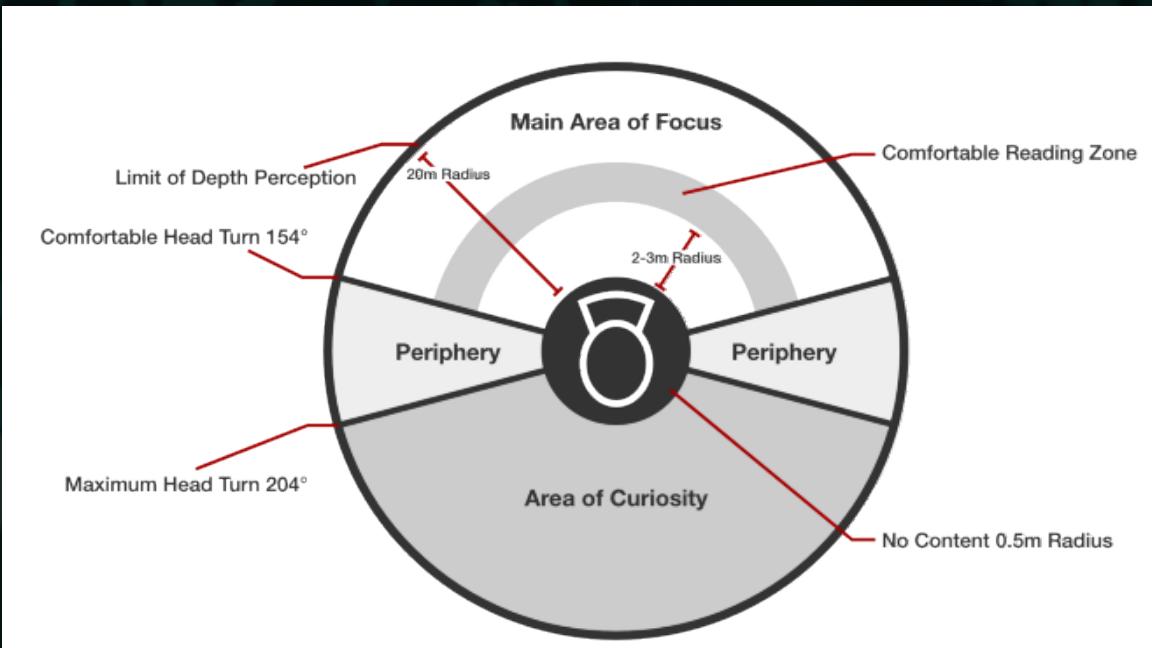
- Interactions directes < 1m

➤ Textes

- Courts
- S'inspirer des affichages réels
 - panneaux, posters...
- Distance entre 1,2 et 3m

➤ [Plus d'info. ici](#)

Source: Aleatha Singleton (CC BY 4.0)



ACV déplacement et navigation

➤ Recherche d'itinéraire

- Composante sensorimotrice: permet le déplacement effectif d'un point à un autre
- Composante cognitive: recherche d'itinéraire (repérage et choix de trajectoire)
- La recherche d'itinéraire est moins facile en XR car le champ de vision est souvent limité et il n'y a pas de contraintes physiques
 - les capteurs proprioceptifs sont moins sollicités
- Des ALC peuvent être proposées pour minimiser la désorientation de l'utilisateur et aider celui à s'orienter et rechercher son itinéraire (cartes et plans de situation).

➤ Les caractéristiques d'une ACV de déplacement sont nombreuses, les principales étant:

- Nombre de degrés de liberté du déplacement,
- La précision du déplacement,
- La distance à parcourir,
- La vitesse du déplacement

Trois modes de contrôle du déplacement

➤ contrôle continu:

- Le plus proche du schème sensorimoteur naturel
- L'utilisateur se déplace dans le monde (scaleroom, CAVE, grand espace etc)
 - Marche et simulation de la marche
 - Marche dans un grand espace:
 - Espace suffisamment large pour marcher
 - Nécessite un système de tracking de la position de l'usager
 - Stimulation des sens proprioceptifs
 - Marche sur place et analyse des mouvements:
 - Tapis roulants
 - Postes de conduite:
 - Utilisation d'un poste de conduite automobile, d'avion, de bicyclette, etc, pour simuler le mouvement dans le monde virtuel (approche métaphorique)
 - Contrôle gestuel
 - Les mains: on pointe du doigt la direction de déplacement, la vitesse est contrôlée en simultanée par une manette,
 - La tête: les mouvements de la tête le déplacement
 - Plus rarement les pieds (3DRudder)
- ou bien le monde se déplace par rapport à l'utilisateur
 - Le monde est agrippé pour être manipulé/ déplacé comme un objet. Adapté à la manipulation d'un seul objet.

➤ contrôle par pointage (rapprochement plus ou moins instantané vers des positions clés ... il s'agit de la téléportation),

- Le but est important, la manière de l'atteindre secondaire

➤ contrôle planifié (continu, mais contrôlé, voire imposé en temps réel).

ACV Manipulation

- Principalement orienter et positionner,
 - Parfois attraper,
 - Plus rarement maintenir en équilibre, déformer, etc.
- Orienter est difficile à réaliser en XR:
 - Utiliser au maximum le schème sensorimoteur naturel de manipulation.
 - Les gants numériques ou dispositifs de tracking des doigts permettent “aisément” d’exploiter ce schème.
 - A défaut une manette de contrôle peut être utilisée, mais l’interface s’avère moins transparente.
- En XR la manipulation est facilitée par le fait que l’objet virtuel n’a pas besoin d’être maintenu en main, il peut flotter dans l’espace virtuel pendant la manipulation.
- La téléopération est également possible en réalité virtuelle, alors qu’elle est impossible dans le monde réel.

Les ACV d'interface

- Les mains et les doigts peuvent être visibles ou non via le visiocasque:
 - la visualisation des doigts rend l'activité virtuelle de manipulation plus réaliste, mais n'est pas indispensable,
 - un pointeur ou la visualisation d'une manette colocalisée peuvent suffire (solution très plébiscitée).
 - En cas de visualisation des mains mais sans tracking des doigts, une animation contextuelle de la main (prise d'un objet par exemple) est suffisante.
- La manipulation via les manettes (type Oculus,Vive) est très populaire, d'apprentissage aisé, au point de devenir chez beaucoup d'utilisateurs un schème sensorimoteur artificiel.
 - Les manettes deviennent des extensions des mains.
- En RA (visiocasque) ou RM, l'usager voit ses propres mains/doigts, les manipulations sont plus faciles si les doigts sont traqués par le casque.
 - Contrainte tout de même: les mains doivent être maintenues assez hautes, dans le champ de vision du visiocasque.
- Remarques:
 - Les gants tactiles ajoutent du réalisme à la manipulation, mais l'expérience s'avère tout de même peu convaincante à l'heure actuelle.
 - Les interfaces à retour d'effort (haptique) apportent par contre une vraie valeur ajoutée immersive.

Outils haptiques

➤ Forces & couples

- Direction, intensité, profil, durée...

➤ Vibrations

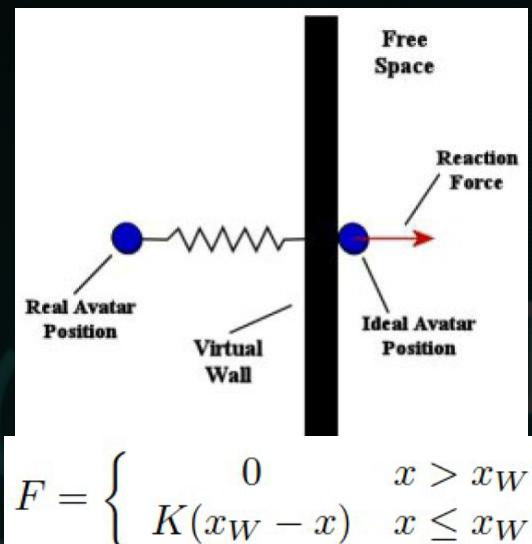
- Intensité, fréquence, durée, localisation spatiale...
- (Similaire au signal audio)

Ex.: Interaction haptique directe

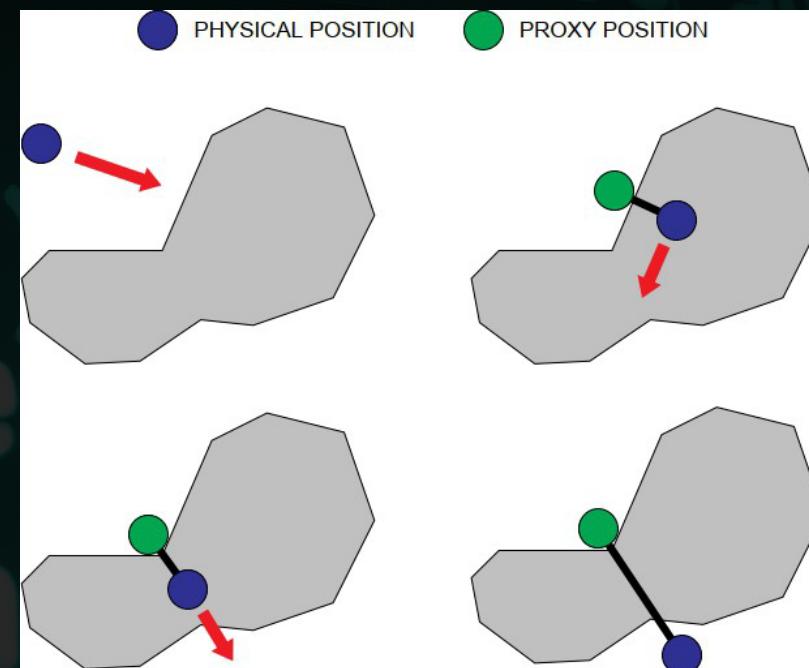
① Transmettre les forces liées

- aux efforts physiques des objets entre eux (collisions, frottements, déformations...)
- à leurs propriétés (poids, inertie, texture...)
- en fonction de la position de l'effecteur

② = Détection de collisions + Calcul de forces/couples



Virtual wall (source Salisbury 2004)



Virtual proxy (source Rusini 1997)

UI

- Théorie de la diégèse/4ème mur
- Non-diégétique
 - Eléments 2D, viseur, notifications...
- Diégétique
 - Éléments 3D intégrés dans l'espace et cohérents avec l'expérience
 - Améliorent l'immersion
- Spatial
 - Éléments 3D intégrés dans l'espace, mais non réalistes
 - Moins immersifs mais plus compréhensibles
- Méta
 - Effets : secousses, flou, changement de couleur...



Source: Siddarth Kengadaran

UI



"Exit Burrito", Job Simulator



Doom VR



FREEDIVER: Triton Down



Outils audios

- Sources sonores dans la scène

- Son simple ou complexe

- Propriétés

- Volume, durée, fréquence, timbre

- Spatialisation

- Position, orientation, vitesse, effets environnementaux...

Types de sons

- Sons ou motifs musicaux
- Connus, enregistrés et utilisés pour accompagner des événements
- Correspondance avec l'information à transmettre
 - Causale
 - Ex : son de frottement pour déplacement d'un objet
 - Métaphorique
 - Ex : bruit de porte qui se ferme pour la fermeture d'une application
 - Arbitraire
 - Ne peut être compris que par expérience ou apprentissage
 - Ex : 'bip' simple lorsque l'utilisateur a réussi à atteindre une cible

Types de sons

► Earcons

- Motifs musicaux
- Abstraits et arbitraires : reconnaissables par apprentissage de leur rythme, de leur hauteur et de leur volume

► Message vocal

- Soit diffusion d'enregistrements vocaux, soit génération informatique
- Utile pour communiquer des informations linguistiques et/ou sémantiquement complexes à représenter via un autre rendu

► Musique, sons d'ambiance

ACV Communication avec autrui

➤ Communiquer avec d'autres usagers en immersion

- Le visiocasque RV nous coupe naturellement d'éventuels co-usagers évoluant dans le même espace physique.
 - Le CAVE n'a pas cet effet négatif.
- Visualisation d'un avatar
 - L'avatar retranscrit plus ou moins fidèlement les actions et expressions de l'usager
- Ou visualisation des seuls casques et manettes
- Utilisation de la communication orale

➤ Communiquer avec des humains virtuels

- Si l'humain virtuel doit se comporter comme un véritable être humain, l'interaction peut être
- sensorimotrice (regards échangés) et/ou cognitive & fonctionnelle (tâche réaliser, dialogue). Une interface à retour d'effort, pour ressentir les actions de l'humain virtuel, peut être envisagée dans le cadre d'une manipulation physique commune d'un objet.

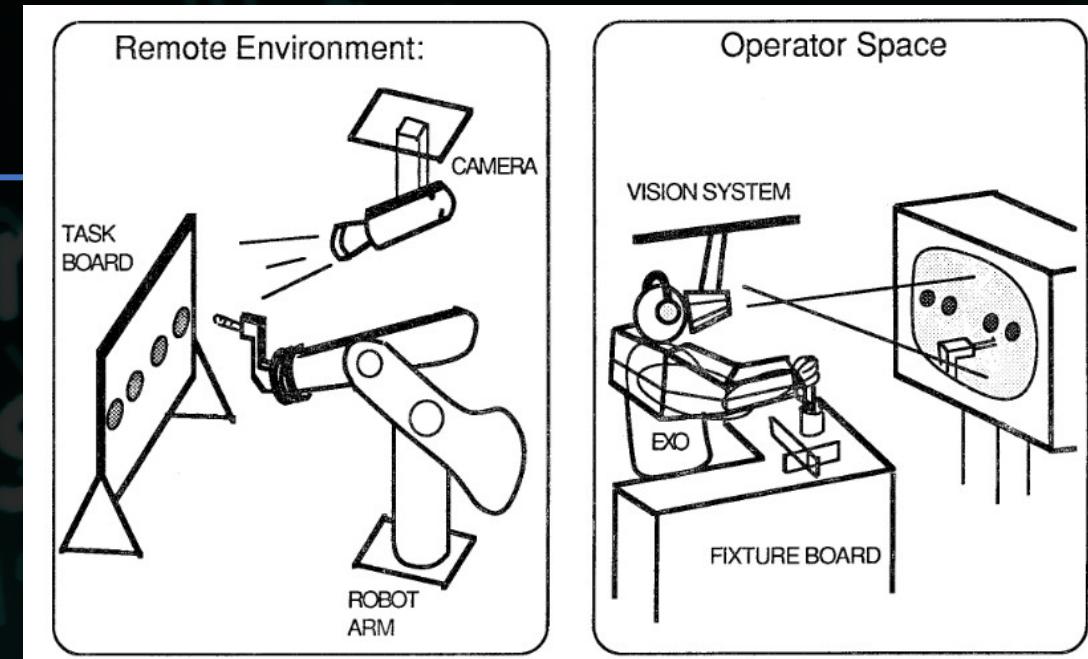
➤ Vraiment intéressant dans le contexte d'un dialogue (explication, apprentissage, entretien, etc)

➤ Les progrès à venir de l'IA vont venir renforcer le réalisme de ces humains virtuels

Guides virtuels

- Tous types d'indices, de feedbacks ou d'interactions permettant l'assistance à atteindre un objectif ou respecter des contraintes
 - Visuels, audio ou haptiques
 - Ex. : trajectoire optimale, coloration ou masquage des zones 3d à éviter, modèle physique (détection de collision)...

- En particulier exploitation des correspondances/gains entre commande réelle et effet virtuel
 - Ex : attraction/répulsion de l'effecteur virtuel, blocage contextuel des ddl



Virtual fixtures (source Rosenberg 1993)



(source Essabbah 2010)

Degrés d'assistance

Assistance
sensorielle

Informer

Guider

Contraindre

Assistance/Contrainte
motrice



Afficher les objets, Informer d'une donnée, de l'existence d'une contrainte...

Informer d'un état binaire ponctuel, du non-respect d'une contrainte...

Modifier les interactions, Informer d'une donnée précise, de la relation d'un état courant avec un autre état...

Empêcher totalement une interaction, le non respect d'une contrainte

Guides virtuels audio (Auralisation)

- Cf. visualisation
- Transmission directe d'une donnée numérique en tant que son
 - ex : diffusion d'événements sismiques enregistrés
- Projection des attributs des données sur une ou plusieurs dimensions du son :
 - volume, durée, fréquence, timbre, localisation...
- Autres techniques de traitement sonore qui accentuent ou atténuent un son :
 - distorsion, assourdissement...
- Synthèse sonore ou vocale
 - génération informatique de signaux sonores par des fonctions et des combinaisons mathématiques (ex : synthèse physique)

Guides virtuels haptiques (Haptisation)

➤ Cf. auralisation

➤ Transmission directe d'une donnée en tant que force/couple

- Ex : champ de vecteurs

➤ Projection des attributs des données sur des dimensions

- de la force ou du couple (intensité, direction, fonction)
- de la vibration (intensité, disposition, fréquence, profil)

Liste d'activités possibles transposables en XR

➤ Assistance au montage d'un kit

- Maquette de modèle réduit
- Construction en légo
- Meuble IKEA
- PC de gamer

➤ Assistance à des travaux divers:

- Peindre un mur (grattage, enduit, peinture, séchage ...)
- Pose de carrelage
- Raccords électriques au niveau d'une armoire électrique
- Jardinage: rempotage, binage, semage, plantation, greffe,etc
- À la recherche d'un court-circuit suite à la mise hors-tension d'un disjoncteur électrique différentiel.

➤ Expérience artistique: film VR interactif, autre

Liste d'activités possibles transposables en XR

➤ Conception

- D'un meuble en bois à partir d'éléments standards
- Des plans d'une maison, élévation des murs, visualisation et navigation 3D
- D'un jardin: disposition des massifs et parterres de fleurs, arbres, allées,etc

➤ Procédure de test d'une console d'interface d'un appareil ou engin donné, • par exemple un tableau de bord d'une voiture.

➤ Découverte

- De la faune, de la flore
- Du fonctionnement (dynamique) d'un écosystème
- Découverte muséographique

Liste d'activités possibles transposables en XR

➤ Simulateur

- de plongée sous-marine & chasse au harpon
- de montgolfière, d'ULM, de deltaplane, de parapente
- de skydiving / formation en chute libre (multi-utilisateurs)
- de réparation de voiture, avec "chariot de visite mécanicien"
- de conduite d'un véhicule, d'un avion, d'un moyen de transport

➤ Cours d'oenologie virtuel

➤ Apprentissage

- culinaire,
 - réalisation d'une recette de cuisine (pâtisserie) nécessitant des gestes techniques particuliers et variés
- du toilettage d'un chien
- de concepts géométrico-mathématiques en réalité virtuelle
- de la conduite d'un engin utilitaire: grue, chariot élévateur
- d'un instrument de musique

Liste d'activités possibles transposables en XR

➤ Expérience virtuelle

- des techniques de construction médiévale (château de Guédelon)
- de techniques artisanales ancestrales:
 - Soufflage du verre
 - Ferronnerie
 - Poterie
 - Tannage et travail du cuir (maroquinerie ?)
 - Fabrication de vitraux ? ...

➤ Expérience ludique: un jeu quoi !

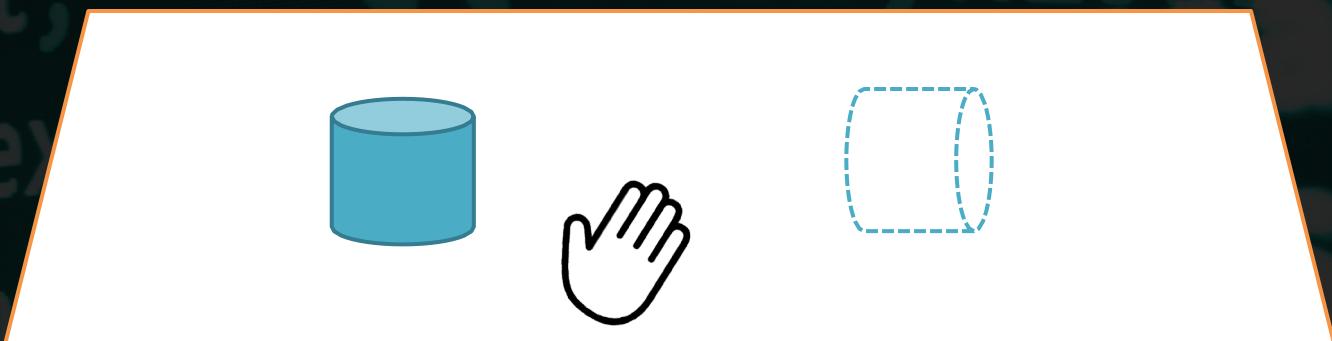
- Rubik'sCube virtuel en 3D.
- Autres casse-têtes ?
- Autres jeux ...

Exercice : Assistance au tir dans un FPS immersif

- Déterminez les besoins du joueur et les entités en jeu.
- En suivant l'ordre des actions du joueur, proposez des éléments, des guides et des feedbacks visuels, audio et haptiques à mettre en place.

Exercice : Techniques de manipulation et guides virtuels

- On cherche à déplacer un objet virtuel dans une position/orientation précise
 - Ex: pour l'apprentissage d'une procédure ou d'un geste technique).
- On suppose une commande type main virtuelle à 6 ddl.
- Déterminez les besoins de l'utilisateur pour cette manipulation
 - Proposez des **techniques d'interaction, des guides et des feedbacks visuels, audio et haptiques** permettant d'assister l'opérateur dans cette tâche de manipulation
 - Détaillez leur fonctionnement
 - Identifiez les informations communiquées et le niveau d'assistance fourni
 - Discutez les avantages/inconvénients



Nature Walk - 1970



Nature Walk - 2018



Réalisme

Sujets couverts dans ce chapitre

- Les entrées sorties
- Les illusions et le réalisme
- La VR et le contrôle
 - Du temps (époque)
 - Du lieu
- Différents types d'interactions

Multimodalité : Entrée/Sortie

➤ Utilisation simultanée de plusieurs canaux de commandes ou de rendus

➤ Multimodalité en entrée

- Naturel
 - Ex. fusion commande gestuelle + vocale ("[put that here](#)" 1980)

➤ Multimodalité en sortie

- Combinaison d'outils (sur 1 ou plusieurs canaux) peut être plus efficace qu'un outil unique
- Redondance
 - Plusieurs outils équivalents utilisés pour une tâche, chacun étant suffisant
- Complémentarité
 - Plusieurs outils pour plusieurs aspects complémentaires d'une même tâche ou d'une même information

Multimodalité : Substitution sensori-motrice

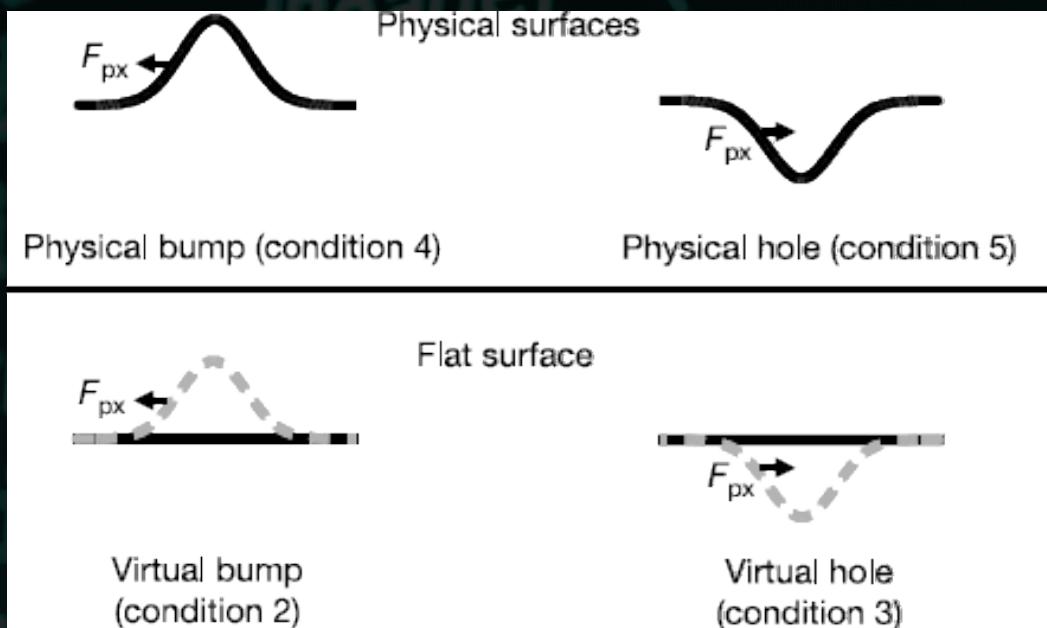
- Remplacement du canal sensori-moteur naturellement utilisé pour communiquer une perception ou une action

- Ex :
 - Radar de recul : Visuel -> Audio
 - Bip émis par un objet lors d'une collision avec un obstacle : Haptique -> Audio

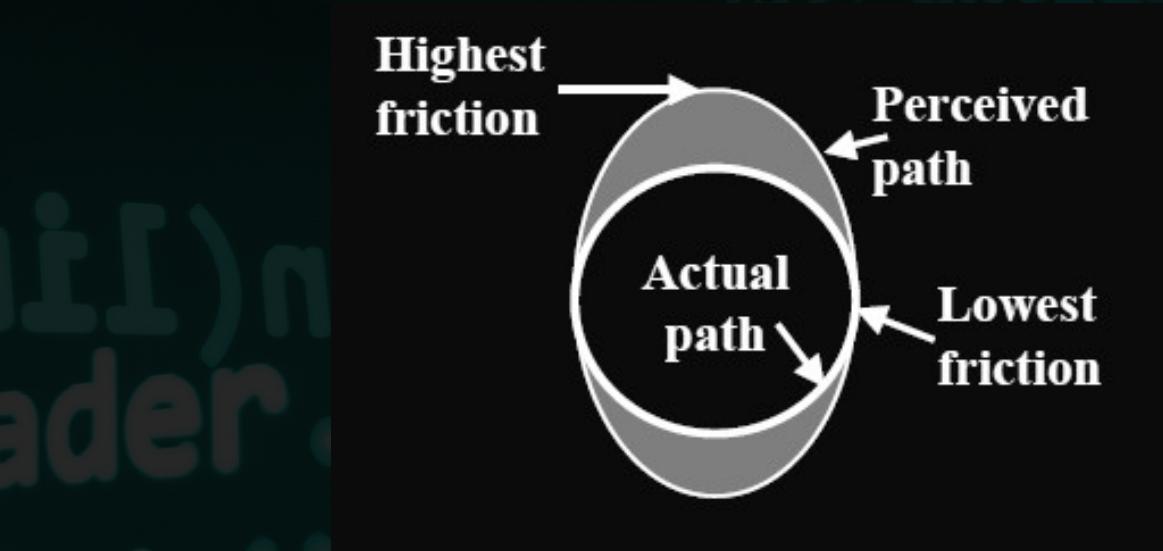
- Distribution sur plusieurs canaux peut permettre de
 - Percevoir plusieurs informations simultanément
 - Diminuer la charge cognitive

Illusions visuo-haptiques

- Illusion de trous et bosses par forces de freinage et de propulsion [Robles- De-La-Torre]



- Illusions haptiques de courbure en mélangeant des indices de force et des indices géométriques [Gosline]



https://www.researchgate.net/publication/2479523_Haptic_Illusions_What_You_Feel_Isn't_Always_What_You_Get#pf3

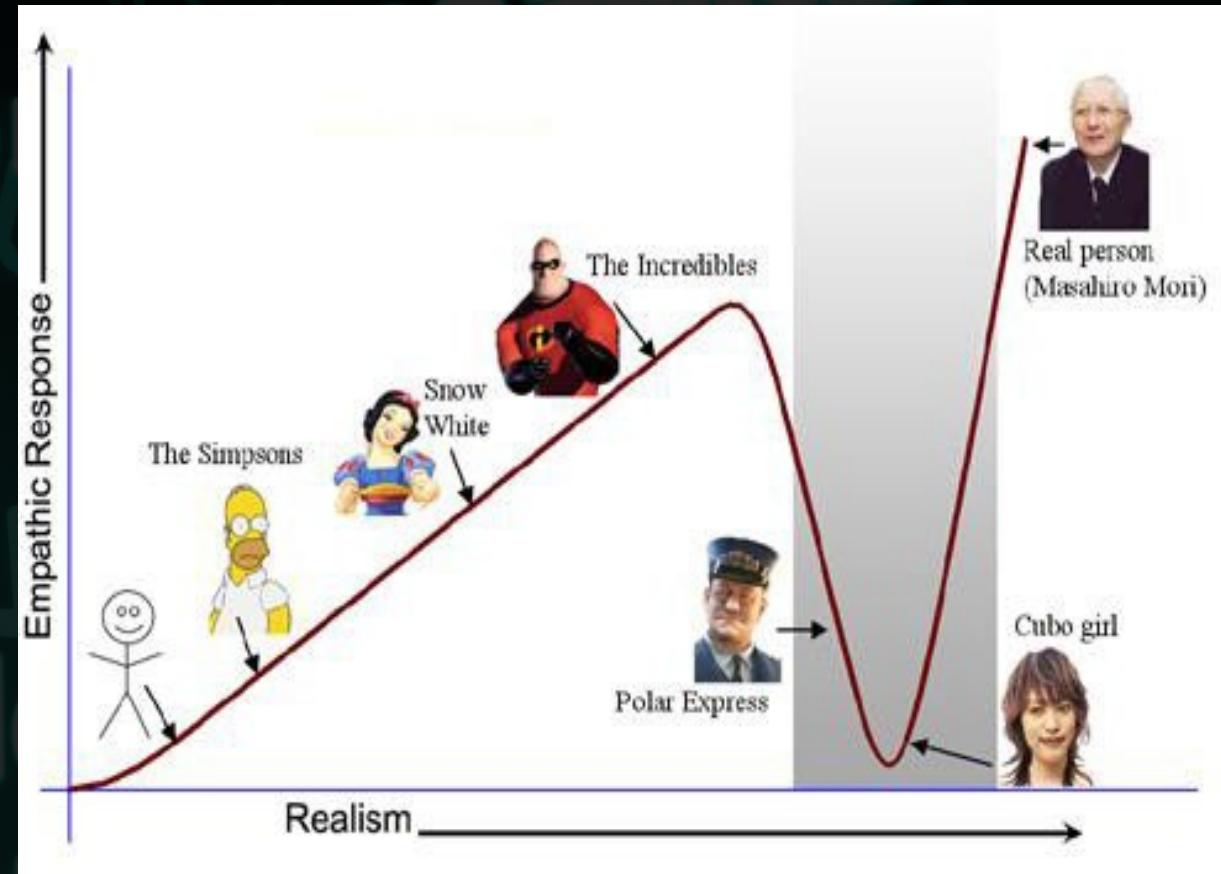
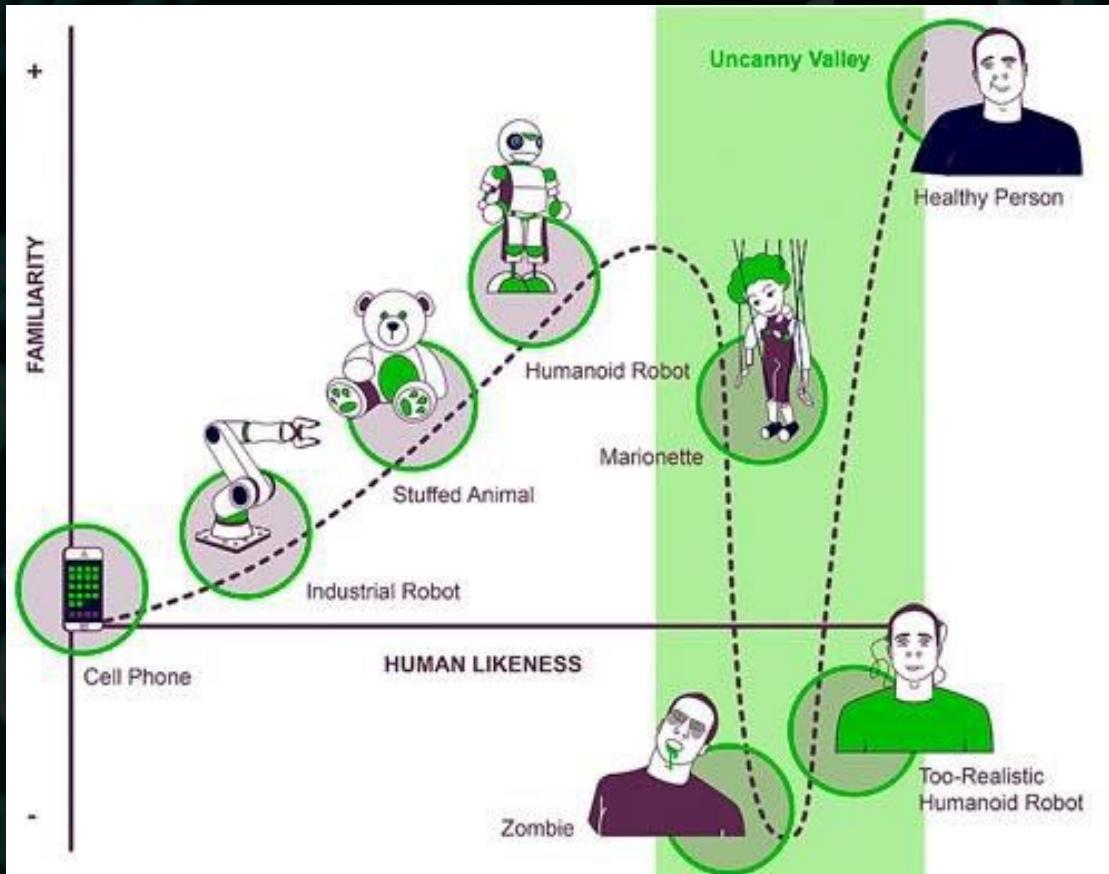
Réalisme idéal ?

- Proposer à l'utilisateur une expérience en EV identique au monde réel
 - Réalisme visuel : images HD, stéréoscopie, moteur graphique...
 - Réalisme auditif : sons HD, spatialisation, moteur sonore...
 - Réalisme comportemental de l'EV : moteur physique...
 - Interactions naturelles : schèmes comportementaux, déplacement réel, poids et efforts des objets...
- Stimuler tous les canaux sensori-moteurs
- Occultation totale du monde réel
- Interfaces identiques aux caractéristiques humaines

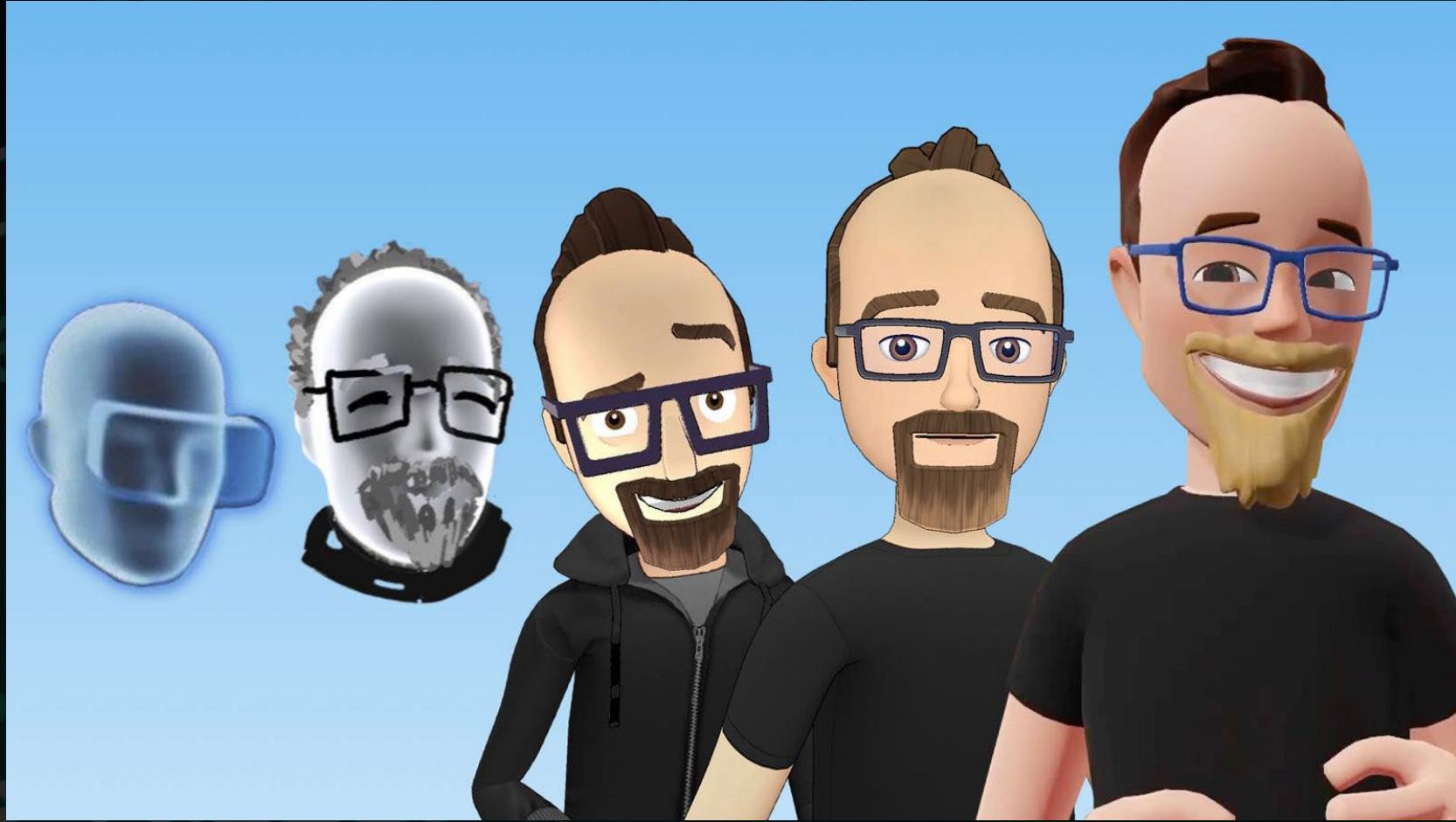
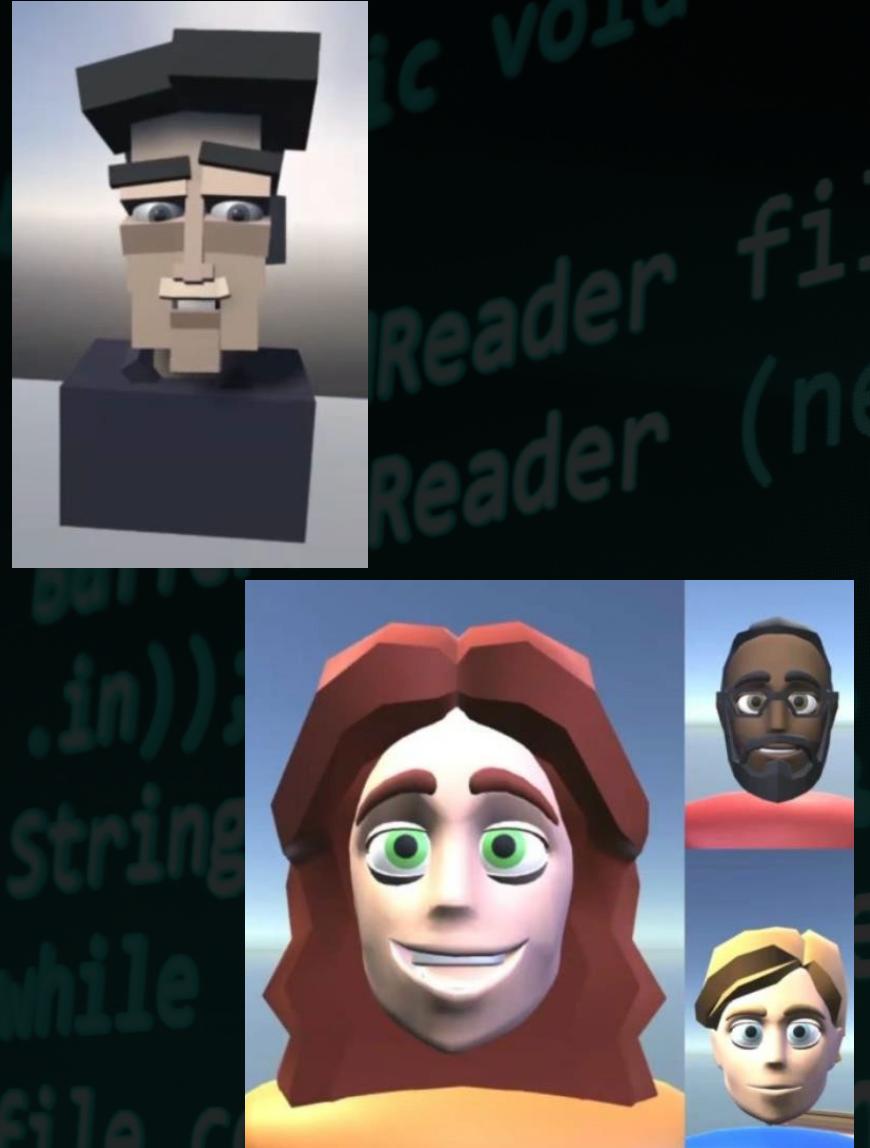
Limites

- Technologies limitées ou inadaptées par rapport aux caractéristiques humaines
- Transposition des schèmes comportementaux biaisée voire impossible
- EV/I3D non-réaliste > presque réaliste

Uncanny Valley [Masahiro Mori, 1970]



Ex. : Cas des Avatars



Facebook Spaces <https://www.youtube.com/watch?v=FULLg1yFya8>

Degré élevé de réalisme

- Réalisme + poussé de certains aspects ciblés
- Transposition de l'existant dans le virtuel
- Besoins et applications
 - Caractère critique : entraînement médical, simulateurs (conduite, vol)
 - Besoin économique :
 - Prototypage virtuel : produit virtuel "ressenti" comme le produit final
 - Formation : tâche réalisée comme les professionnels
 - Objectif ludique : jeux vidéo
- Difficultés et bénéfices
 - Technologiques : dispositifs visuels, périphériques d'interaction, calculateurs...
 - Logiciels : algorithmes, rendus...
 - Coûts économiques
 - Attractivité et diffusion

Au-delà du réalisme

- Applications, environnements et interactions nouveaux, efficaces et pertinents pour la tâche
- « La réalité virtuelle permet à un utilisateur humain de s'extraire de la réalité physique pour changer virtuellement de temps, de lieu et/ou de type d'interaction »
 - Définition fonctionnelle de la RV [Fuchs, 1996]
- Temps
 - passé, futur, perception irréelle
- Lieu
 - Télé-présence, travail collaboratif distant, perception irréelle
- Interactions
 - Non naturelles, impossibles, modèles physiques différents

Changer virtuellement de temps

- Autre temps : passé, futur
- Perception irréelle du temps : ralenti, accéléré, autres lois, sauts temporels...
- Ex. : Nantes en 1757, Laval en 1750, relativité virtuelle



Changer virtuellement de lieu

- Plusieurs utilisateurs dans un même lieu virtuel
 - travail collaboratif,
 - formation à distance,
 - télémédecine
 - ...
- Télé -présence (visite virtuelle d'un endroit, d'un site)
- Perception irréelle du lieu :
 - Changement de point de vue
 - repère non égocentré
 - Avatar du sujet
 - Point de vue d'une autre personne

Changer virtuellement de type d'interaction

- Navigation non naturelle :
 - Ex : vol 3D, accélération
- Interaction non naturelle, impossible
 - Ex : atteindre des objets lointains
- Modèles physiques différents
- Modification de l'EV par le sujet immergé

Fidélité d'interaction

- Degré objectif d'exactitude avec lequel les actions du monde réel sont reproduites dans un système interactif (McMahan et al., 2012)
 - Ex : balancer les bras vs. séquence de boutons pour frapper une balle de golf virtuelle
- Critères (McMahan, 2011)
 - Symétrie biomécanique
 - Symétrie de contrôle
 - Adéquation du système

Fidélité d'interaction : "Naturalisme"

- Vise à fournir le plus haut niveau de fidélité d'interaction possible
- Concevoir des techniques d'interaction pour qu'elles fonctionnent exactement ou du moins aussi près que possible du monde réel
- Utile pour l'entraînement au transfert ou à l'effort physique

Fidélité d'interaction : “Magie”

➤ Techniques magiques

- Visent à améliorer l'expérience de l'utilisateur en réduisant la fidélité et en contournant les limites du monde réel
- Essayent d'améliorer l'utilisabilité et les performances en donnant à l'utilisateur de nouvelles capacités et des méthodes non naturelles pour effectuer des tâches
 - Ex : voler comme un oiseau

➤ Techniques hypernaturelles

- Utilisent des mouvements naturels (c.-à-d. augmentent la fidélité) mais les rendent plus puissants en donnant à l'utilisateur de nouvelles capacités magiques ou un guidage intelligent (Bowman, McMahan, & Ragan, 2012)
- Ex. : technique du go-go (Poupyrev, 1996)

IF YOU COULD DO SOME QA TESTING
BEFORE RELEASING THE PROGRAM...

THAT WOULD BE GREAT

makeameme.org

Critère et évaluation

Sujets couverts dans ce chapitre

➤ Critères

- Utilisabilité
- Performance
- Par rapport à des tâches

➤ Recommandations

- Physiques
- Besoins
- Interactions
- ...

Critères/Mesures d'Utilisabilité Généraux

➤ Capacité d'apprentissage : facilité à accomplir des tâches de base dès la première fois ?

- Ex. de mesures : temps nécessaire à un novice pour atteindre un certain niveau de performance, gains de performance à mesure que le temps augmente, évaluations subjectives...

➤ Facilité d'utilisation : la simplicité d'une technique du point de vue de l'utilisateur

- Ex : mesures de la charge de travail mental induite par la technique avec les auto-évaluations subjectives de l'utilisateur

➤ Mémorisation

- Après une période de non-utilisation, avec quelle facilité peuvent-ils restaurer leurs compétences ?

Critères/Mesures d'Utilisabilité Généraux

➤ Confort

- Ex : mal du simulateur, fatigue oculaire, fatigue des mains... Généralement auto-déclarée

➤ Satisfaction ou plaisir

- La condition la plus importante pour le divertissement
- Ex : rapports subjectifs et questionnaires

➤ Engagement : implication de l'utilisateur avec un EV pendant une expérience

- Ex : questionnaires (Witmer & Singer, 1998) (McMahan et al., 2012)

Critères/Mesures de Performance

➤ Vitesse

- Quantificateur classique de l'efficacité
- Ex : temps de réalisation d'une tâche

➤ Précision/Erreurs

- Exactitude avec laquelle une tâche est exécutée.
- Degré de contrôle requis pour accomplir une tâche par rapport à la difficulté de la tâche.
- Compteur d'erreurs, distances de l'utilisateur ou de l'objet par rapport à la position ou à la trajectoire souhaitée...
- Une technique de sélection est précise si elle permet une sélection précise et constante de petits objets.
- Une technique de déplacement est précise si elle permet la navigation sur des chemins étroits sans collisions.

Critères spécifiques à des tâches

➤ Orientation spatiale

- Connaissance par l'utilisateur de la disposition d'un espace et de sa propre position à l'intérieur
- Peut constituer un critère de performance important dans les EV de grande taille, très occultés ou complexes
- Affectée par le déplacement dans l'espace mais aussi par d'autres tâches d'interaction

➤ Collecte d'informations

- Capacité de l'utilisateur à obtenir des informations sur l'environnement pendant qu'il s'y trouve
- Peut être affectée par la facilité d'utilisation des techniques d'interaction choisies

Recommandations Physiques

- S'inspirer d'outils et de pratiques du monde réel
- Réduire le poids et les câbles
- Fournir des barrières physiques et virtuelles pour assurer la sécurité
- Limiter l'interaction libre, prévoir un support pour les dispositifs
- Concevoir pour des postures confortables, des sessions relativement courtes et encourager les pauses
- Nettoyer les appareils
- Utiliser un retour multimodal avec une correspondance spatiale et temporelle, réduire la latence.
- Utiliser des contraintes, envisager des accessoires et un retour passif pour les tâches spécialisées

Recommandations Haut-Niveau

- Pratiquer la **conception centrée sur l'utilisateur** et l'analyse des tâches
- Suivre des **principes généraux** bien connus, ex :
 - The Design of Everyday Things (Norman, 1990)
 - Usability heuristics (Nielsen & Molich, 1992)
- S'assurer que les tâches et techniques s'intègrent bien, ex :
 - Transition harmonieuse entre sélection et manipulation
 - Possibilité de sélectionner ou de manipuler tout en se déplaçant
 - Éviter les interactions involontaires dues aux erreurs de mode et au changement de technique pendant le contrôle du système...

Exemple d'heuristiques

► 10 Usability Heuristics for User Interface Design

- (Jakob Nielsen 1994)

1: Visibility of system status

2: Match between system and the real world

3: User control and freedom

4: Consistency and standards

5: Error prevention

6: Recognition rather than recall

7: Flexibility and efficiency of use

8: Aesthetic and minimalist design

9: Help users recognize, diagnose, and recover from errors

10: Help and documentation

Recommandations Techniques d'Interaction 3D

- Il n'y a **pas une unique meilleure technique**
- Utiliser les **techniques existantes**, à moins que la conception d'une nouvelle ne présente d'énormes avantages pour une application spécifique
- **Adapter** les techniques aux dispositifs
- Les techniques **magiques** sont utiles et intuitives
- Envisagez **d'adapter l'environnement** plutôt que la technique d'interaction

Recommandations Techniques d'Interaction 3D

➤ Les **interactions égo-centrées** peuvent être précises et naturelles

- Exploiter la proprioception de l'utilisateur
- Ex une ceinture à outils virtuelle : peut choisir ses outils sans regarder

➤ Si la tâche est intrinsèquement 1D ou 2D, des métaphores d'interaction 2D bien connues peuvent être utilisées directement ou adaptées.

- Ex : menus déroulants ou pop-up, boutons 2D

➤ L'interaction à **deux mains** peut être plus précise

- La saisie à une main limite la flexibilité et l'expressivité
- Les deux mains permettent de spécifier des relations spatiales arbitraires
- Ex : distance entre les mains, torsion

➤ Fournir des techniques d'interaction **redondantes** pour une seule tâche

Recommandations Sélection

➤ Utilisabilité

- Main virtuelle simple si toute la sélection est à portée de main

➤ Performance

- Technique de pointage pour une sélection performante
- Augmentez la précision en augmentant le ratio Control-Display

➤ Naturalisme

- Main virtuelle simple pour une sélection plus naturelle

➤ Spécifique

- Concevoir l'environnement de manière à maximiser la taille perçue des objets.
- Envisager le snapping d'objets pour les EV où le nombre d'objets sélectionnables est limité

Recommandations Manipulation

➤ Général

- Utiliser des contraintes générales ou spécifiques à l'application

➤ Performance

- Augmenter la précision en réduisant les DOF
- Utiliser la manipulation indirecte si la précision est plus importante que la vitesse

➤ Naturalism

- main virtuelle pour une manipulation plus naturelle
- Augmenter la probabilité de transfert de la formation en utilisant un mapping direct

➤ Spécifique

- Envisager des mouvements non isomorphes pour réduire le clutching.

Recommandations Navigation

➤ Général

- Considérer des techniques magiques et naturelles
- Faire des transitions en douceur entre les zones
- Utiliser des mouvements physiques pour les tâches de manœuvre
- Choisir une technique qui peut être facilement combinée avec d'autres techniques d'interaction
- Plusieurs techniques pour différentes tâches de déplacement dans la même application
- Les tâches de déplacement les plus courantes doivent nécessiter un effort minimal

➤ Performances

- Technique basée sur le contrôle de direction plutôt que les mouvements physiques pour une exploration et une recherche performante
- Technique basée sur une sélection de cible pour les déplacements vers un **objectif**

Recommandations Navigation

➤ Naturalisme

- Technique de locomotion physique pour des déplacements plus naturels ou si l'utilisateur doit fournir un effort.
- Marche redirigée pour une exploration et une recherche plus naturelles

➤ Spécifique

- Utiliser des indices d'orientation pour aider l'utilisateur à décider où se déplacer
- Fournir un marqueur "vous êtes ici" sur une carte.
- Techniques de manipulation manuelle pour les déplacements axés sur la manipulation
- Formez les utilisateurs si des stratégies sophistiquées sont nécessaires pour acquérir des connaissances spatiales.
- N'utilisez pas la téléportation instantanée mais des transitions si les informations spatiales sont importantes.

Recommandations Contrôle

➤ Général

- Ne pas perturber le flot d'action d'une tâche d'interaction, en particulier en changeant de focus ou de contexte
- Fournir des indices ou une formation pour aider à découvrir ce qui est possible
- Éviter les erreurs de mode
- Utiliser un espace approprié dans un référentiel approprié
- Structurer les fonctions et guider l'utilisateur
- Envisager des techniques 2D
- Utiliser des séquences de tâches de contrôle du système "objet d'abord"

➤ Performance

- Méthode de sélection 2D ou 1D lorsque vous interagissez avec un menu graphique.
- Vérifier les commandes si la précision est plus importante que la vitesse

➤ Naturalisme

- Enoncés redondants et intuitifs si commandes vocales
- Gestes avec symétrie biomécanique élevée

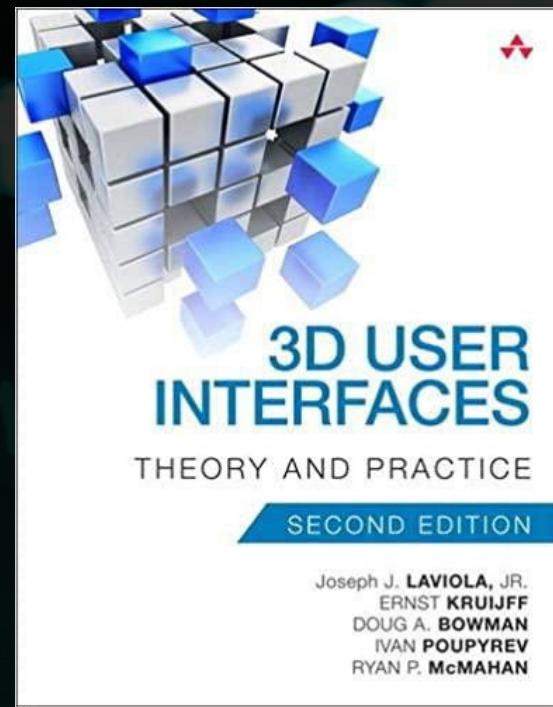
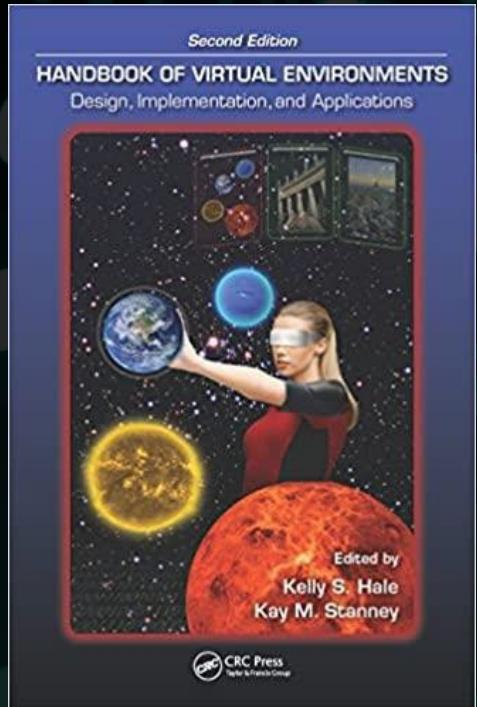
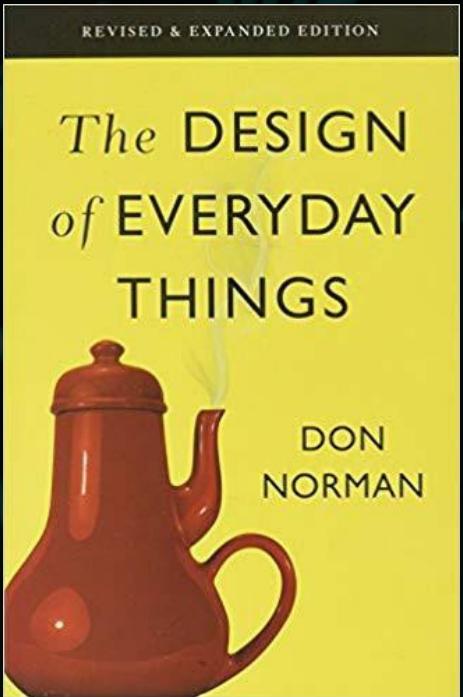
➤ Spécifique

- Utiliser des commandes multimodales
- Réduire le nombre de commandes si commandes vocales ou gestuelles.

Bilan

- En pratique, dans la plupart des cas :
 - Mélange aspects réalistes et non-réalistes
 - Transposition des usages pré-RV
 - Réutilisation de techniques d'interactions bien connues : main virtuelle, ray-cast...
 - Respecter les besoins, les usages et l'ergonomie des utilisateurs finaux
 - Commande 6 dof (main virtuelle ou ray casting) avec boutons
- Des interactions bien conçues pallient des interfaces limitées

Bibliographie



NN/g Nielsen Norman Group
World Leaders in Research-Based User Experience

<https://www.nngroup.com/articles/>

Chap. 12, « Principles for designing effective 3D interaction techniques », McMahan et al

Sources documentaires

Mathématiques et informatique



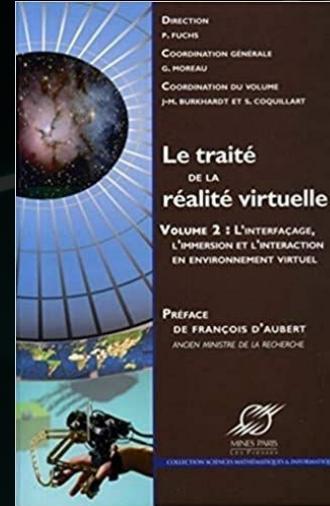
Philippe Fuchs

Théorie de la réalité virtuelle

Les véritables usages



Presses des Mines



Philippe Fuchs, chercheur et théoricien de la réalité virtuelle / Mines ParisTech