



TECHNOLOGIES DE LA CONNAISSANCE :  
usage et sens de l'usage

---

Chapitre 3

Des technologies pour savoir, essayer et agir

---

Pour avoir compris ce l'on peut faire subir à du savoir, il s'agit maintenant de rentrer au cœur de la relation qui s'instaure entre un ordinateur et son utilisateur à la recherche ou producteur de savoir. Plus largement, indépendamment donc de l'usage que fait l'utilisateur de la machine, c'est la nature même de la relation entre l'un et l'autre qui constitue l'objet du présent chapitre. Quelle est-elle cette **interaction de l'utilisateur avec un système technologique** devenu capable, non seulement de représenter la réalité, mais d'en simuler le comportement avant de la transformer ? Une question à laquelle tente de répondre ce chapitre pour comprendre comment la technologie permet d'accéder aux représentations de la réalité avant d'intervenir sur la réalité elle-même ; une réalité à connaître avant de la comprendre et à transformer après l'avoir comprise ; une réalité sur laquelle la machine assiste dorénavant l'utilisateur pour **savoir, essayer ou agir**.

Une bonne façon d'identifier la nature d'une interaction consiste au préalable à écouter le discours des physiciens sur l'**action**. Sont ainsi identifiées les **trois composantes dynamique, spatiale et temporelle des interactions** entre la machine et son utilisateur. Est alors examiné comment, dans le temps et dans l'espace, chacun accède au **formel** pour **savoir**, au **virtuel** pour **essayer** et au **réel** pour **agir**. En d'autres termes, comment, pour savoir (connaître et comprendre la réalité), sont recherchés, classés et reliés des contenus pertinents ou sont rédigées, composées et proposées des représentations évolutives de la réalité ? Comment, pour essayer (simuler le comportement de la réalité), sont calculés, conçus et développés des modèles prédictifs ? Et comment, pour agir (observer et transformer la réalité), sont commandées, pilotés et asservis des systèmes physiques ? Après avoir construit la matrice spatio-temporelle des interactions, après l'avoir testée aux situations de télé-présence, il s'agit d'aller plus loin encore dans le rôle et la place de l'utilisateur devant sa machine. Pour ce faire, il faut aller plus profond encore au cœur de l'interaction entre cet utilisateur et son poste de travail, aller plus loin non plus seulement dans ce que recouvre une interaction, mais dans ce qu'en sont les différents modes.

Pour avoir identifié et caractérisé ces différents modes d'interaction de l'homme avec la machine, il devient possible de comprendre comment la subjectivité de chacun contribue à donner du sens aux objets observés ou aux informations recueillies. Cet effort de compréhension commence par une relecture de la définition de l'information donnée par Shannon, puis se poursuit par une tentative de modélisation du processus de génération du sens : comment le regard que porte chacun sur le réel est connoté par sa culture ; comment, passant du statut de **sujet observant** à celui de **sujet interprétant**, chacun parvient à comprendre la réalité ou point d'en prédire le comportement.

Ce travail sur les liens entre le **réel**, le **formel**, le **virtuel** et aussi l'utilisateur d'un système aboutit à la proposition d'un modèle d'architecture multimodale du système technologique. Un modèle qui généralise la notion d'interface ; un modèle qui, de la sorte, relativise l'**interface Homme-Machine** pour restaurer deux autres interfaces, l'**interface Machine-Réel** et l'**interface Machine-Formel**. Pour en évaluer la pertinence, le modèle fait l'objet d'un exemple d'application dans chacun des quatre domaines suivants : le médical, l'aérien, le culturel et le commercial. Dans chacun des quatre exemples sont énoncées et décrites les principales fonctionnalités assurées au sein de la même architecture multimodale. Enfin, s'agissant en particulier d'un système destiné à traiter des connaissances, le modèle est appliqué dans l'implémentation d'une architecture cognitive ; une architecture qui met bien en évidence cette généralisation des interfaces réparties sur l'ensemble du système.

## Utilisation des technologies de la Connaissance

### Table des matières du chapitre 3

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1. Situations et modes d'utilisation.....                  | 5  |
| 1.1. Situations d'interaction .....                        | 5  |
| 1.1.1. La notion d'action .....                            | 5  |
| 1.1.2. Caractérisation des interactions .....              | 6  |
| 1.1.3. Application à la seule télé-présence (rappel) ..... | 9  |
| 1.2. Interactions multimodales.....                        | 10 |
| 1.2.1. La notion de mode .....                             | 10 |
| 1.2.2. Caractérisation des modes d'interaction .....       | 11 |
| 2. Rôle et place de l'utilisateur .....                    | 12 |
| 2.1. Le cadre théorique .....                              | 12 |
| 2.1.1. Shannon à Pile ou Face .....                        | 12 |
| 2.1.2. La génération du sens .....                         | 14 |
| 2.1.3. Les fruits de la subjectivité .....                 | 15 |
| 2.2. Un modèle conceptuel .....                            | 17 |
| 2.2.1. L'utilisateur au centre .....                       | 17 |
| 2.2.2. La machine au centre .....                          | 18 |
| 2.2.3. Une architecture multimodale.....                   | 20 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. Pertinence du modèle.....                                              | 24 |
| 3.1. Quatre exemples d'application .....                                  | 24 |
| 3.1.1. Neurochirurgie assistée.....                                       | 24 |
| 3.1.2. Entraînement sur simulateur .....                                  | 26 |
| 3.1.3. A la découverte d'une œuvre .....                                  | 29 |
| 3.1.4. Vente à distance et assistée d'un mobilier de cuisine .....        | 32 |
| 3.2. Implémentation d'une architecture cognitive .....                    | 35 |
| 3.2.1. Interface Homme-Machine (IHM).....                                 | 37 |
| 3.2.2. Interface Machine-Formel (IMF).....                                | 38 |
| 4. Conclusion : de l'usage vers le sens de l'usage des technologies ..... | 39 |

---

# 1. Situations et modes d'utilisation

Dans un premier temps, il s'agit moins ici d'inventorier les **situations d'utilisation** d'un ordinateur que de les caractériser avant de les appliquer, à titre d'exemple, à la télé-présence. Puis, dans un second temps, il s'agit d'aller plus profond par l'**identification des modes** selon lesquels se déroulent ces interactions ; les modes d'interaction renvoyant ici à la nature de ce qui passe entre les **canaux sensoriels** de l'utilisateur et les **media technologiques** de l'**interface Homme-Machine** du système. Une fois effectué, ce repérage des modes d'interaction trouvera son application au poste individuel, aussi bien de travail personnel que d'échange relationnel ; un double modèle déjà utilisé au chapitre 1 pour illustrer l'intégration des technologies<sup>1</sup>.

## 1.1. Situations d'interaction

Pour caractériser les situations d'interaction, il convient d'abord de comprendre ce qu'est une interaction et, pour ce faire, de s'interroger en amont sur ce qu'est une action au travers de la définition qu'en donnent les physiciens ; une définition basée sur les trois **dimensions dynamique, spatiale et temporelle de l'action** ; trois dimensions selon lesquelles sera construite une grille de caractérisation des interactions appliquée à nouveau aux multiples situations de la télé-présence.

### 1.1.1. La notion d'action

Une interaction, c'est d'abord et avant tout une **ACTION**. C'est une action qui a lieu entre deux ou plusieurs « protagonistes ». Et pour comprendre ce qu'est une action, quoi de mieux que de se mettre à l'écoute de ce qu'en dit, par exemple, la physique des particules.

Soit E, l'énergie d'une particule ; par exemple, l'énergie d'un électron sur son orbite autour du noyau d'un atome. L'énergie de l'électron est celle du niveau quantique correspondant à son orbite et à la radiation lumineuse associée de longueur d'onde  $\lambda$ . Et soit  $\nu$ , le nombre d'onde de la radiation, on a :

$$\boxed{E = h \cdot \nu} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Donnée par la formule précédente, cette énergie est proportionnelle à  $c$ , la vitesse de la lumière, et inversement proportionnelle à  $\lambda$ , la longueur d'onde de la radiation lumineuse associée à l'électron sur « son orbite ». Cette radiation est à la fois celle reçue par l'électron pour atteindre son niveau quantique autour du noyau et celle émise par ce même électron s'il « retombe » de son niveau quantique vers un niveau inférieur. Mais qu'est-ce que le terme  $h$  ; s'agit-il d'une simple constante de proportionnalité ou de plus que cela.

$$\Rightarrow h = \frac{E \cdot \lambda}{c}$$

Pour le savoir, il « suffit » de rechercher l'équation aux dimensions de la constante  $h$ , dite constante de Planck, et de réécrire sous cette forme la formule précédente qui en donne la valeur. Ce qui donne la formule de la page suivante dans laquelle les quatre termes  $h$ ,  $E$ ,  $\lambda$  et  $c$  sont remplacés par leurs dimensions.

<sup>1</sup> Cf. : Chapitre 1 - *Choses, signes et êtres : une coévolution* - § 1.2.1 : *Trois grands types de technologies*

$$[h] = \frac{[E] \cdot [\lambda]}{[c]} = \frac{[F \cdot x] \cdot [x]}{[x] \cdot [t]^{-1}}$$

Car l'énergie [E] est égale au produit d'une force [F] par une longueur [x]. La longueur d'onde [ $\lambda$ ] est bien sûr égale à une longueur [x]. Et la vitesse de la lumière [c] est égale au quotient d'une longueur [x] par un temps [t].

On en déduit l'équation aux dimensions de la constante de Planck h :

$$\Rightarrow \boxed{[h] = [F] \cdot [x] \cdot [t]}$$

Cette constante **h désigne une action**; plus précisément une quantité finie et constante d'action encore appelée quantum d'action. Pour mémoire et par comparaison, il faut ici se souvenir de ce qu'on nous a appris au collège :

- le produit d'une force par une longueur ou de l'espace donne de l'énergie ;
- le produit d'une force par du temps donne de la quantité de mouvement.

Mais ce qui est démontré ici à l'échelle microscopique de la physique des particules, on ne l'a pas appris au collège : **le produit d'une force, par une longueur et par un temps donne de l'action** ; ou encore, toute action peut se réduire au déploiement de forces durant un certain temps à l'intérieur d'un certain espace.

On devine déjà qu'à l'échelle macroscopique, c'est-à-dire à l'échelle humaine, ces trois notions de force, d'espace et de temps pourraient bien être fondamentales ; singulièrement pour caractériser ces actions particulières que sont les innombrables interactions entre des utilisateurs de technologies pour **savoir, essayer et agir**.

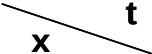
### 1.1.2. Caractérisation des interactions

Comprises comme autant d'actions exécutées entre protagonistes, ces interactions demandent pour être caractérisées qu'en soient au moins déterminées leurs trois dimensions dynamique, spatiale et temporelle.

Ainsi le schéma ci-dessous repose-t-il d'abord et avant tout sur une matrice spatio-temporelle qui croise l'espace localisé ou délocalisé avec le temps synchronisé ou désynchronisé. Elle distingue donc *a priori* quatre grandes familles d'interactions respectivement repérées par les symboles suivants :

- **[t . x]** pour les **interactions synchronisées et localisées**, c'est-à-dire se déroulant au même instant et dans le même lieu ;
- **[Δt . x]** pour les **interactions désynchronisées et localisées**, c'est-à-dire se déroulant à des instants différents mais toujours dans le même lieu ;
- **[t . Δx]** pour les interactions **synchronisées et délocalisées**, c'est-à-dire se déroulant au même instant mais dans des lieux différents ;
- **[Δt . Δx]** pour les interactions **désynchronisées et délocalisées**, c'est-à-dire se déroulant à des instants différents et dans des lieux différents.

Mais, dans l'effort entrepris de caractérisation, le schéma qui suit va plus loin que la seule répartition des interactions dans les quatre cases d'une matrice spatio-temporelle.

| Typologie des interactions | Enoncé                                                 | 1 / n             | $\rightarrow / \leftarrow$                                                        | Enoncé                                                           | 1 / n             | $\rightarrow / \leftarrow$                                                          |                                                                                     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                        | 1 . 1<br>i . j    |  |                                                                  | 1 . 1<br>i . j    |  |                                                                                     |
| Savoir<br>Essayer<br>Agir  | • ...<br>• ...<br>• ...                                | ...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...                                                                 | • ...<br>• ...<br>• ...                                          | ...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...                                                                   | <b>Synchronisation dans le temps</b><br>(en temps réel)                             |
|                            |                                                        |                   | <b>t . x</b>                                                                      | <b>t . Δx</b>                                                    |                   |                                                                                     |                                                                                     |
| Savoir<br>Essayer<br>Agir  | • ...<br>• ...<br>• ...                                | ...<br>...<br>... | <b>Δt . x</b>                                                                     | <b>Δt . Δx</b>                                                   | ...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...                                                                   | <b>Désynchronisation dans le temps</b><br>(en temps différé)                        |
|                            |                                                        |                   |                                                                                   |                                                                  |                   |                                                                                     |                                                                                     |
|                            | <b>Localisation dans l'espace</b><br>(en un même lieu) |                   |                                                                                   | <b>Délocalisation dans l'espace</b><br>(en des lieux différents) |                   |                                                                                     |  |

En effet, sous la forme d'un tableau à entrées multiples, ce schéma détermine tout d'abord la **nature** de l'interaction selon qu'elle vise à savoir, essayer ou agir.

- Sous le terme de **savoir** est désignée toute interaction dans laquelle sont **traitées, stockées et transportées des données, des informations ou des connaissances**. Ce sont donc des interactions de nature à permettre à des personnes de s'informer ou de se former, de communiquer entre elles, d'échanger des informations ou des documents sous quelque format que ce soit ; des interactions permettant à des institutions de communiquer sur elles-mêmes ou de diffuser des contenus informationnels ou culturels vers ceux qui en dépendent : leurs usagers, leurs clients, leurs prospects, etc. ;
- Sous le terme d'**essayer** sont regroupées les interactions dans lesquelles **le comportement de la réalité est simulé** à partir d'un modèle la représentant. Ce sont donc des interactions visant à saisir et enregistrer des données, vérifier un état, une hypothèse, un résultat, etc. ; à concevoir, à diagnostiquer un système ; à tester, à simuler son fonctionnement, etc. ;
- Sous le terme d'**agir** sont désignées des interactions dans lesquelles **une réalité est modifiée**, passe d'un état physique à un autre. Ce sont par conséquent des interactions visant à commander ou télécommander des actionneurs physiques, à contrôler ou piloter un système quel qu'il soit, en local ou à distance, etc.

Puis il propose, pour chaque interaction, un énoncé qui la désigne : une réunion d'information, un affichage ou un courrier électronique, un télédiagnostic ou une télé-intervention programmée, le transfert de documents, etc.

Puis ce même schéma définit ensuite le caractère bilatéral ou multilatéral de chaque interaction :

- de **type [ 1/1 ] entre deux interlocuteurs particuliers considérés isolément** ; par exemple, un entretien en face à face, téléphonique ou visiophonique ;
- de **type [ i/j ou 1/i ] entre deux interlocuteurs d’une même communauté d’appartenance ou pas** ; par exemple, un échange de courriels entre deux correspondants ou le suivi par un groupe d’un enseignement à distance ;
- de **type [ 1/n ] d’un annonceur ou émetteur particulier vers un collectif donné** ; par exemple, la réception sur un territoire donné d’émissions de radiodiffusion ou de télévision.

Enfin, il détermine pour chaque interaction son **caractère unidirectionnel ou bidirectionnel** [  $\rightarrow$  /  $\rightleftarrows$  ], dans un sens ou dans l'autre et parfois appliqué à soi-même [  ] comme, par exemple, l'utilisation d'un didacticiel d'auto formation.

Plus qu'un inventaire évidemment non-exhaustif, le tableau qui suit applique cette manière de caractériser toute interaction quelle qu'elle soit ; une manière jugée pour le moins pertinente.

|                | Enoncé de l'interaction                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | i ↔ j                                                                | Enoncé de l'interaction                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | i ↔ j                                                                                           |                                                              |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <i>Savoir</i>  | <b>Information/formation en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entretien en face à face</li> <li>• Réunion en salle</li> <li>• Formation en salle</li> <li>• Projection d'informations</li> <li>• Remise de documents</li> </ul> <b>Formation en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pédagogie assistée</li> </ul>                                                                                                                                                                                                            | 1 ↔ 1<br>i ↔ j<br>1 → n<br>1 → n<br>1 → n<br>1 → n<br>1 → n          | <b>Communication à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entretien télé/visiophonique</li> <li>• Télé/visioc conférence</li> <li>• Affichage de documents</li> </ul> <b>Diffusion à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiophonie/télévision</li> </ul> <b>Auto-formation à distance (OnLine)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation d'un didacticiel en ligne</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1 ↔ 1<br>i ↔ j<br>1 → n<br>1 → n<br>1 → n<br>1 → n                                              | <b>Synchronisation dans le temps</b><br>(en temps réel)      |
| <i>Essayer</i> | <b>Vérification en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Test de contrôle sur place</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1 ← i                                                                | <b>Vérification à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Télédagnostic</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 ← i                                                                                           |                                                              |
| <i>Agir</i>    | <b>Action en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conduite sur place</li> <li>• Intervention curative sur site</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1 ↔ 1<br>1 → 1                                                       | <b>Action à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Télécommande</li> <li>• Télé-intervention instantanée</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1 ↔ 1<br>1 → 1                                                                                  |                                                              |
| <i>Savoir</i>  | <b>Mise à disposition d'informations en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Boîte postale</li> <li>• Affichage-papier</li> <li>• Affichage électronique</li> <li>• Borne interactive</li> </ul> <b>Accès à des informations en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche en centre de documentation</li> <li>• Consultation sur place</li> <li>• Emprunt de documents</li> </ul> <b>Auto-formation en local (OnSite)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation d'un didacticiel en libre-service</li> </ul> | n → 1<br>1 → n<br>1 → n<br>i ↔ j<br>i → 1<br>i → 1<br>i → 1<br>1 → 1 | <b>Mise à disposition/à jour d'informations à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Boîte vocale</li> <li>• Courrier-papier</li> <li>• Courrier électronique/Chat au sein d'un site</li> <li>• Conférence électronique/Blog au sein d'un forum</li> <li>• Transfert de documents/contenus</li> <li>• Fax/télécopie</li> </ul> <b>Accès/réaction à des informations à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moteur de recherche/ Interface intelligente/gestion de profils</li> <li>• Navigation dans des sites/consultation de pages Web</li> <li>• Téléchargement de contenus (documents/logiciels)</li> </ul> <b>Formation à domicile</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enseignement par correspondance</li> </ul> | n ↔ 1<br>1 ↔ i<br>1 ↔ i<br>i ↔ j<br>1 → i<br>1 → i<br>1 → i<br>i → 1<br>i → 1<br>i → 1<br>1 → i | <b>Désynchronisation dans le temps</b><br>(en temps différé) |
| <i>Essayer</i> | <b>Vérification en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevé d'enregistrements sur place</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1 ← i                                                                | <b>Vérification à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux de conception, de simulation</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1 → 1                                                                                           |                                                              |
| <i>Agir</i>    | <b>Action en local</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenance préventive sur site</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1 → 1                                                                | <b>Action à distance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Télé-intervention programmée</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1 → 1                                                                                           |                                                              |
|                | <b>Localisation dans l'espace (un même lieu)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                      | <b>Délocalisation dans l'espace (des lieux différents)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                 | <b>x / t</b>                                                 |

### 1.1.3. Application à la seule télé-présence (rappel)

Conçue comme une typologie, cette manière de caractériser toute interaction permet aisément de repérer celles de la télé-présence. Toutes les interactions de **télé-présence** ou de **télé-activité** se situent nécessairement dans la colonne de droite de la matrice spatio-temporelle : la colonne de la délocalisation où figurent les interactions se déroulant dans des lieux différents ou dont le résultat s'observe dans un autre lieu que celui où elles ont été effectuées.

|                                        | Exemples de situations de présence locale                                                                                                        | Exemples de situations de présence à distance                                                                                                    |                                                              |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Exemples de situations synchronisées   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réunion d'information</li> <li>• Test de contrôle en local</li> <li>• Intervention sur place</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visioconférence</li> <li>• Télédagnostic</li> <li>• Action à distance instantanée</li> </ul>            | <b>Synchronisation dans le temps</b><br>(en temps réel)      |
|                                        | $t . x$                                                                                                                                          | $t . \Delta x$                                                                                                                                   |                                                              |
|                                        | $\Delta t . x$                                                                                                                                   | $\Delta t . \Delta x$                                                                                                                            |                                                              |
| Exemples de situations désynchronisées | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Affichage électronique</li> <li>• Relevé d'enregistrements</li> <li>• Maintenance préventive</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Courrier électronique</li> <li>• Travaux de conception</li> <li>• Action à distance retardée</li> </ul> | <b>Désynchronisation dans le temps</b><br>(en temps différé) |
|                                        | <b>Localisation dans l'espace</b><br>(en un même lieu)                                                                                           | <b>Délocalisation dans l'espace</b><br>(en des lieux différents)                                                                                 | $\begin{matrix} t \\ \diagdown \\ x \end{matrix}$            |
| <b>LES SITUATIONS DE TELE-PRESENCE</b> |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                  |                                                              |

Le schéma ci-dessus reproduit la matrice spatio-temporelle précédente. Dans chacune de ses quatre cases y figurent trois interactions qui sont autant d'exemples des trois types suivants :

- les interactions visant à **savoir** telles que, par exemple, une visioconférence qui réunit au même moment des participants restant dans des lieux différents ;
- les interactions visant à **essayer** telles que, par exemple encore, un télédagnostic consistant à l'identifier à distance ce qui dysfonctionne dans un système ;
- les interactions visant à **agir** ; telles que, toujours par exemple, une action à distance retardée ; c'est-à-dire la télécommande d'une action déclenchée au bout d'un certain temps et depuis un lieu différent de celui où s'observe son effet.

La zone grisée regroupe donc six exemples d'**interactions relevant de la télé-présence**, qu'il s'agisse d'interactions se déroulant en temps réel ou en temps différé. Premier exemple déjà cité, la visioconférence qui met simultanément en présence des personnes suffisamment éloignées les unes des autres pour qu'il soit pertinent de les faire dialoguer sans les réunir physiquement. Second exemple de télé-présence, le très populaire courrier électronique dont le destinataire lit son message à un moment différent de celui auquel l'expéditeur lui a envoyé.

Au travers des exemples de la télé-présence mis à profit ici pour en illustrer la pertinence, on voit bien l'intérêt d'une typologie permettant d'y voir clair dans le foisonnement des interactions possibles entre des technologies et leurs utilisateurs. Mais pour aller plus loin encore dans l'effort de caractérisation de ces interactions, il convient maintenant s'interroger sur ce qui se passe entre, par exemple, les yeux ou les doigts de l'utilisateur et l'écran ou le clavier de la machine.

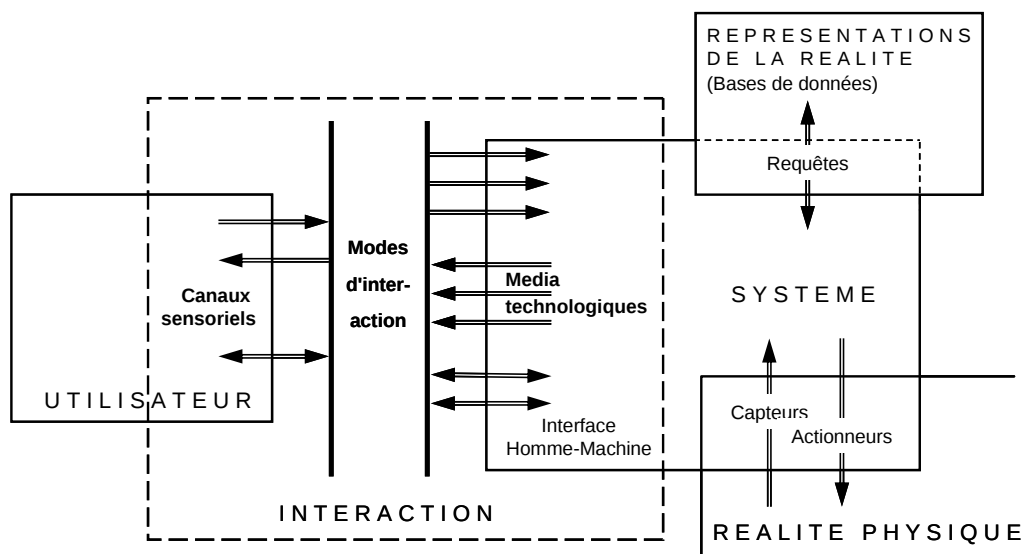
## 1.2. Interactions multimodales

Les interactions dont vient d'être précédemment proposée une typologie ont une propriété déterminante sur les conditions d'utilisation des technologies de la Connaissance : elles sont **multimodales** ; ce sont des interactions entre un système et son utilisateur qui s'effectuent généralement selon plusieurs modes. Par exemple, une interaction aussi banale que le courrier électronique met en jeu, chez l'utilisateur, le toucher par le recours à un clavier pour la saisie d'un texte ou à une souris pour naviguer dans une arborescence. Mais le courrier électronique met également en jeu la vue par la visualisation d'un contenu sur un écran, qu'il s'agisse de texte seul ou de texte associé à des images.

Mais qu'est-ce donc qu'un mode ? En quoi cette notion de mode est-elle utile à la compréhension de ce qui se passe entre, toujours par exemple, les yeux ou les doigts de l'utilisateur et l'écran ou le clavier de la machine ?

### 1.2.1. La notion de mode

Aller plus loin encore dans l'effort de caractérisation des interactions entre les technologies et leurs utilisateurs consiste à rentrer dans l'intimité de la relation en l'homme et la machine. Le schéma ci-dessous est précisément centré sur ce qu'est une interaction entre un système technologique et son utilisateur. Celle-ci y est représentée par le rectangle en pointillé au sein duquel sont regroupés les éléments qui la constitue ; aussi bien ceux relevant de l'utilisateur que ceux relevant du système.



Figurent ainsi dans ce rectangle en pointillé trois types d'éléments.

- Du côté de l'utilisateur, ses **canaux sensoriels** : la vue, l'ouïe, la voix, le toucher et pas encore ... l'odorat.
- Du côté du système, les **media technologiques** de l'interface homme-machine : écran tactile ou non, casque audio ou haut-parleur, clavier, souris, etc.
- Et, entre les canaux sensoriels de l'un et les media technologiques de l'autre, les **modes d'interaction** selon lesquels s'établit la relation entre un canal particulier et le média correspondant ; par exemple, un signal sonore, de la voix ou de la musique comme modes d'audition.

Mais pour bien illustrer l'interaction entre un système et son utilisateur, ce schéma ne se limite pas à représenter ce qui s'y passe. Il illustre également ce que peut recouvrir, au-delà de l'utilisateur, l'environnement du système : des représentations de la réalité auxquelles accède l'utilisateur autant que la réalité elle-même que perçoit et transforme

l'utilisateur. Et c'est bien sûr le même système qui permet à l'utilisateur d'accéder autant à la réalité elle-même qu'à ses représentations. Aussi, sur sa partie droite le schéma se prolonge-t-il à par l'interfaçage du système<sup>2</sup> :

- avec une base de données ou autres moyens de stockage de **représentations de la réalité** auxquels il adresse à tout moment différentes requêtes,
- avec la **réalité physique** qu'il peut « percevoir » grâce à des capteurs et transformer grâce à des actionneurs.

### 1.2.2. Caractérisation des modes d'interaction

Sans chercher à être exhaustif, le tableau ci-dessous détaille ce dont dispose l'utilisateur final sur son poste individuel à la fois de travail personnel et d'échange relationnel.

| CANAUX SENSORIELS                                                                                         | MODES D'INTERACTION                                                                       | MEDIA TECHNOLOGIQUES                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Visualisation</b><br> | Textes / Tracés<br>Graphes / Schémas<br>Dessins 2D / 3D<br>Images fixes<br>Images animées | Voyants, indicateurs<br>Ecran (CRT, LCD, OLED, PLED, ...)<br><i>e-Ink, e-Paper, e-Book</i><br>Caméra-vidéo<br>Suiveur de regard |
| <b>Audition</b><br>      | Sons<br>Voix<br>Musique                                                                   | Bip sonore<br>Synthèse vocale<br>Chaîne-son (←)                                                                                 |
| <b>Locution</b><br>     | Sons<br>Voix<br>Parole                                                                    | Microphone<br>Reconnaissance vocale<br>Chaîne-son (→)                                                                           |
| <b>Geste</b><br>       | Pointage, Commande, Défilement<br>Ecrit, Dessin<br>Acte physique et <i>Stimulus</i>       | Souris, Ecran tactile, Multipoint<br>Clavier, Crayon électronique<br>Gant tactile à retour d'effort                             |
| <b>Odorat</b><br>      | ... / ...                                                                                 | ... / ...                                                                                                                       |

A un même **canal sensoriel** dans la première colonne correspond plusieurs **media technologiques** dans la troisième colonne. Et à chaque medium technologique dans la troisième colonne correspond un **mode** particulier de mise à profit du canal sensoriel. Par conséquent, un mode d'interaction ne doit être confondu ni avec le caractère bidirectionnel ou non du canal sensoriel, ni avec la nature du contenu transmis ou traité dans l'interaction.

Par exemple, l'utilisation d'un gant tactile à retour d'effort s'effectue selon deux modes différents entre le même canal sensoriel et le même medium technologique : exercer une action physique dans un sens et percevoir un stimulus également physique dans l'autre sens. Autre exemple, la visualisation d'un contenu textuel, iconographique, ... sur un écran renvoie certes à des modes différents d'utilisation du regard. Et, de la même manière, l'utilisation d'une caméra vidéo ou d'un dispositif de suivi du regard correspondent, pour l'utilisateur, à deux modes totalement différents d'observation du système.

Dans le premier exemple, il s'agit de deux modes d'utilisation d'un même medium technologique : le gant tactile à retour d'effort<sup>3</sup>. Et dans le second exemple, il s'agit de deux modes différents de mise à profit de la même fonction d'observation du système par deux media différents : une caméra et un dispositif de suivi du regard.

<sup>2</sup> Ce schéma préfigure le modèle conceptuel présenté au paragraphe 2.2.2 qui place la machine au centre d'un dispositif grâce auquel l'homme accède aussi bien à des représentations de réalité qu'à la réalité elle-même.

<sup>3</sup> Encore que rien n'interdirait de considérer le gant tactile à retour d'effort, non pas comme un mais comme deux media différents : le gant au travers duquel l'utilisateur exerce une action sur un objet et les actionneurs dont est doté le gant qui exerce des pressions sur la main de l'utilisateur.

## 2. Rôle et place de l'utilisateur

Dans ce qui précède, ont été caractérisées plus qu'inventoriées les situations d'utilisation d'un système informatique. Ont ainsi été caractérisées les interactions possibles entre un système technologique et son utilisateur. Et pour ce faire, un schéma<sup>4</sup> a été proposé ; un schéma qui en explicitait le caractère multimodal.

Ce schéma n'a pas eu pour seul mérite de contribuer à définir la notion de mode d'interaction. Il a également montré que, si le système le lui permet, **l'utilisateur accède aussi bien aux représentations de la réalité qu'à la réalité elle-même**. L'utilisateur accède aux représentations de la réalité au travers des bases de données qui les contiennent ; et il accède à la réalité physique elle-même au travers de capteurs qui la « perçoivent » et d'actionneurs qui la transforment ou, pour le moins, la modifient.

Ainsi ce schéma annonçait-il le modèle élaboré dans ce qui suit et qui ne porte pas sur le seul système informatique, voire automatique. Car il s'agit d'un modèle d'architecture intégrant, outre le **système technologique**, son **utilisateur** et la **réalité physique** que ce dernier a su représenter en vue de la transformer. En d'autres termes, il s'agit d'un modèle intégrant, outre l'utilisateur lui-même, trois concepts qu'il va falloir définir : le **réel**, le **formel** et le **virtuel**. Cette architecture est proposée comme modèle parce que capable de représenter un système indépendamment de l'application qui en est faite. Et elle est réputée invariante parce qu'indépendante des évolutions prévisibles ou non du système utilisé.

### 2.1. Le cadre théorique

Pour concevoir un tel modèle d'architecture, il faut au préalable avoir compris ce que sont les relations qui s'instaurent entre trois protagonistes : un **sujet**, un **objet** et des **représentations** de cet objet. Il faut avoir compris comment la subjectivité de chacun contribue à donner du sens aux objets observés ou aux informations recueillies ; comment le regard que porte chacun sur le réel est connoté par sa culture ; comment se distingue un sujet observant d'un sujet interprétant, un objet observé d'un objet représenté ; comment, passant du statut de sujet observant à celui de sujet interprétant, chacun parvient à comprendre la réalité ou point d'en prédire le comportement. Et le système dans tout ça ? Quel peut bien être son rôle ? Quel peut bien être le rôle d'un système technologique dans l'instauration des relations entre sujet et objet ?

Au fond, ce dont il s'agit ici, c'est d'avoir compris comment on se fait une image de la réalité, comment apparaît de la signification, comment se génère le sens. Telle est l'ambition de la réflexion théorique qui va suivre ; une réflexion qui commence par une relecture de la définition de l'information donnée par Shannon et se poursuit par une tentative de modélisation du **processus de génération du sens**.

#### 2.1.1. Shannon à Pile ou Face

Une réponse à la question de la genèse du sens est à rechercher dans la définition que donne Shannon de l'information : le logarithme à base 2 de  $1/P$ ,  $[P]$  étant la probabilité d'apparition du phénomène physique qui sert de support à cette information.

$$I = \log_2 \frac{1}{P}$$

<sup>4</sup> Cf. § 1.2.1 **La notion de mode** du présent chapitre

En réalité, ce que Shannon définit comme une information n'est en fait qu'une donnée. En effet, à la probabilité d'apparition dans le réel du phénomène physique, il convient d'ajouter la probabilité de perception par l'observateur dans le formel de ce même phénomène physique. Alors **la donnée [D] générée par le phénomène physique indépendamment de tout observateur devient une information [I] née du regard de l'observateur sur ce même phénomène**. Voyons cela plus précisément.

$$I = \log_2 \frac{1}{P}$$

$$D = \log_2 \frac{1}{P} \Rightarrow \boxed{I = \log_2 \frac{P_L}{P_E}}$$

Soit  $[P_E]$ , la probabilité d'écriture du phénomène physique et  $[P_L]$ , la probabilité de lecture du résultat de ce même phénomène constaté par un observateur. L'information  $[I]$  est le logarithme à base 2 de  $P_L$  sur  $P_E$ , formule qui tient compte autant de **l'écriture de l'action dans le réel** que de la **lecture du résultat de cette action dans le formel**.

Le jeu de Pile ou face est un bon exemple d'illustration de cette définition revisitée de l'information. Que sont, dans cet exemple, la probabilité d'écriture  $[P_E]$  du phénomène physique et la probabilité de lecture  $[P_L]$  du résultat de ce même phénomène ?

- $[P_E]$  est la probabilité que la pièce de monnaie tombe sur l'une ou l'autre de ses deux faces ; égale à  $\frac{1}{2}$ , cette probabilité se manifeste dans le réel, indépendamment de la volonté de l'observateur : c'est le domaine de l'objectivité.
- $[P_L]$  est la probabilité que l'observateur choisisse la face visible (du dessus) plutôt que celle cachée (du dessous) de la pièce après immobilisation de celle-ci pour décider du résultat du jeu ; égale aussi à  $\frac{1}{2}$ , cette probabilité s'exprime dans le formel selon la volonté de l'observateur : c'est le domaine de la subjectivité.

Il suffit d'imaginer que l'observateur se tient nonchalamment allongé sur la moquette du salon et que le dessous de la table ... en verre lui révèle la face « cachée » de la pièce pour concevoir que puisse se poser la question de la face à retenir comme gagnante ; bref, se poser la question de la détermination préalable de la règle du jeu.

En d'autres termes, à la probabilité d'écriture du phénomène physique dans le réel :

$$P_E = \frac{1}{2} \text{ (l'une ou l'autre des deux faces de la pièce),}$$

s'ajoute la probabilité de lecture du résultat dans le formel :

$$P_L = \frac{1}{2} \text{ (la face visible ou la face cachée de la pièce à retenir comme règle du jeu).}$$

Tant que l'observateur ne s'est pas déterminé sur la règle du jeu, le tirage au sort reste indécidable et l'absence de résultat se traduit par une quantité d'information égale à zéro.

$$I = \log_2 \frac{P_L}{P_E} = \log_2 \frac{1/2}{1/2} = \log_2 1 = 0$$

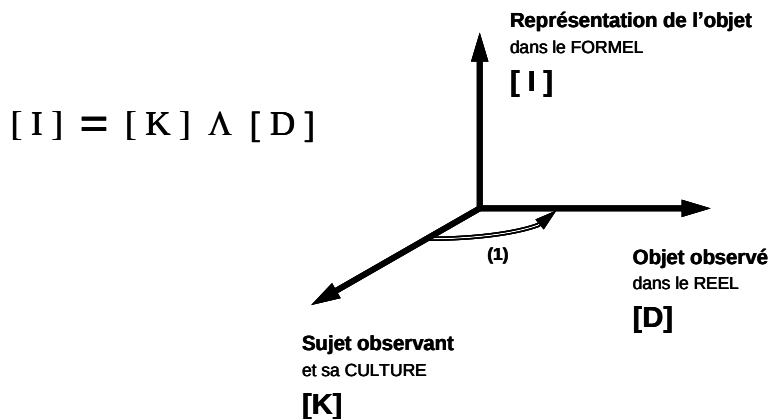
En revanche, dès que l'observateur se détermine sur la règle du jeu, choisit entre la face visible et la face cachée de la pièce, le tirage au sort devient décidable car  $P_L$  est alors égale à 1. Donnée par le calcul suivant, la production d'un résultat se traduit par une quantité d'information égale à 1.

$$I = \log_2 \frac{P_L}{P_E} = \log_2 \frac{1}{1/2} = \log_2 2 = 1$$

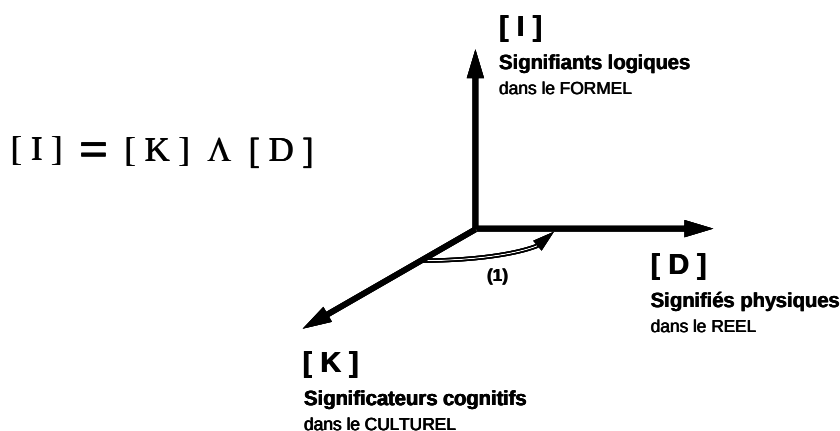
Au total, **une information est donc le résultat de l'application du regard subjectif d'un observateur sur une réalité objective**. C'est l'image<sup>5</sup> dont se dote l'observateur de la réalité observée.

### 2.1.2. La génération du sens

Cette différence entre les concepts de **donnée** et d'**information** est à la base de la façon dont se construit chez un observateur une représentation de la réalité, c'est-à-dire de la façon dont un sujet observant fort de sa culture se fait une représentation d'un objet observé ; c'est-à-dire encore de la façon dont se génère le sens.



Une représentation [I] dans le formel d'un objet observé [D] dans le réel par un sujet observant [K] et sa culture est le résultat de l'application (1) du regard de ce sujet sur l'objet. Elle peut se symboliser par un vecteur [I], produit vectoriel des vecteurs [K] et [D]. Il est en effet commode d'utiliser le symbolisme du produit vectoriel pour rendre compte de ce processus de production d'une information, donc de génération de sens. Détenteur d'une culture ou de connaissances, le sujet observant est le siège de **significateurs cognitifs** qui vont s'appliquer sur l'objet observé. Ce dernier a, pour sa part, des caractéristiques physiques qui, sous le regard de l'observateur, deviennent des **signifiés physiques**. Quant à la représentation, elle est constituée de **signifiants logiques** générés par l'application des signifiants cognitifs du sujet observant sur les signifiés physiques de l'objet observé. D'où le schéma ci-dessous qui ne fait que reprendre le précédent en d'autres termes.



<sup>5</sup> Il serait logique de parler d'une « idéalité » générée par le regard de l'observateur sur la réalité observée. Mais le terme n'existe pas avec ce sens là ; aussi convient-il de ne point en abuser.

Mais ce processus de génération du sens ne s'arrête pas là. Il reste en effet très intéressant d'exploiter le même symbolisme du produit vectoriel pour rendre compte de ce qui se passe quand le sujet observant [K] n'a pas accès à la réalité de l'objet observé [D], mais seulement à sa représentation [I].

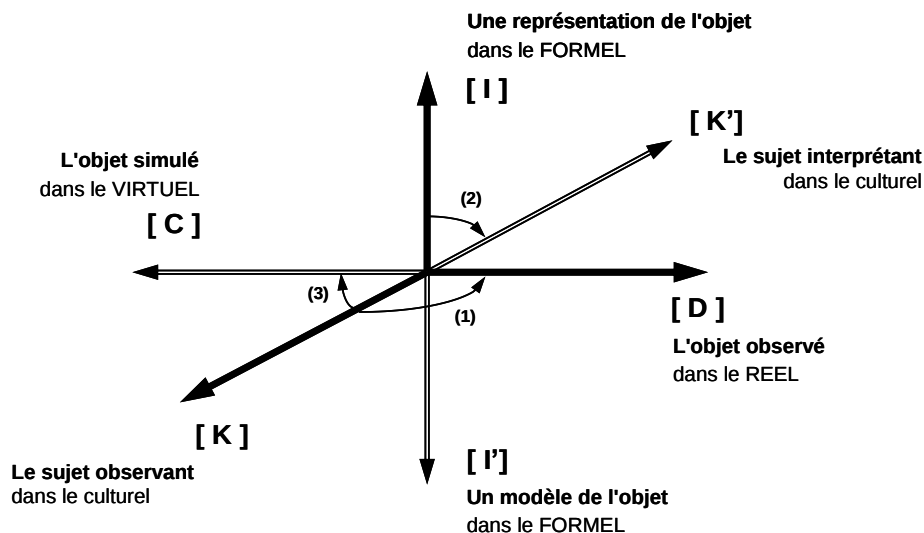
### 2.1.3. Les fruits de la subjectivité

On assiste à un premier changement de statut qui porte sur l'observateur : de **sujet observant** [K], il devient, toujours dans le culturel, **sujet interprétant** [K'] sur lequel s'applique (2) la représentation de l'objet [I]. Cette nouvelle application (2) de la représentation de l'objet [I] sur le sujet interprétant [K'] dans le culturel génère l'objet simulé [C] dans le virtuel.

On assiste à un second changement de statut qui porte sur l'objet : d'**objet observé** [D] dans le réel, il devient **objet simulé** [C] dans le virtuel sur lequel s'applique de nouveau (3) le regard du sujet observant [K]. Cette dernière application (3) du sujet observant [K] sur l'objet simulé [C] dans le virtuel génère une nouvelle représentation [I'] ; une représentation qui a pris le statut de modèle : c'est, dans le formel, l'**objet modélisé**.

On assiste en effet à un troisième changement de statut qui porte sur la représentation : de **représentation de l'objet** [I], elle devient, toujours dans le formel, **modèle de l'objet** [I']. Ce statut de modèle est celui « le plus élevé » que puisse prendre une représentation parce que devenue capable de simuler dans le virtuel et donc de prédire le comportement et l'évolution de l'objet tel qu'il se manifeste dans le réel. En synthèse, le schéma qui suit rend compte d'abord et avant tout des trois générations précédemment décrites :

- résultat du produit vectoriel (1), la **génération, dans le formel, de la représentation [I] de l'objet observé**,
- résultat du produit vectoriel (2), la **génération, dans le virtuel, de la représentation [C] de l'objet simulé**,
- résultat du produit vectoriel (3), la **génération, dans le formel, de la représentation [I'] de l'objet modélisé**.



Mais il rend également compte des trois changements de statut qui se sont opérés :

- celui du **sujet observant** [K] devenu **sujet interprétant** [K'] dans le culturel ;
- celui de la **représentation de l'objet** [I] devenue **modèle de l'objet** [I'] dans le formel ;
- celui de l'**objet observé** [D] dans le réel devenu **objet simulé** [C] dans le virtuel.

Les deux premiers changements de statut se sont opérés à l'intérieur du domaine de l'immatériel : le domaine du formel pour la représentation et le domaine du culturel pour le sujet. Le troisième changement de statut s'accompagne en revanche d'un changement de domaine du matériel à l'immatériel : on passe, en effet, de la réalité de l'objet à « l'idéalité » de son modèle, **du réel où évolue l'objet au virtuel<sup>6</sup> où est simulé l'objet**. C'est en effet dans le virtuel qu'est observé le modèle de l'objet, c'est-à-dire la forme la plus aboutie de sa représentation parce que prédictive de son comportement. On est donc bien là dans l'immatériel, mais plus précisément dans un domaine très particulier désigné ici sous le terme de virtuel. On est dans **la virtualité ; un domaine qui se veut entre réalité et « idéalité »**, entre réel et formel parce qu'à la fois l'un et l'autre de ces deux domaines ... augmentés.

---

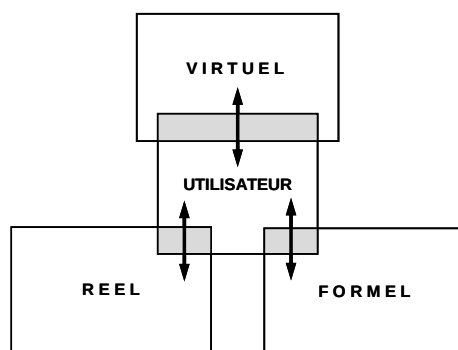
<sup>6</sup> Le domaine du virtuel est certes immatériel, mais il est plus qu'informationnel. C'est en effet le domaine dans lequel la représentation a pris le statut de modèle ; un domaine dans lequel est simulé le réel ; un domaine où est observé son comportement et prédite son évolution. C'est probablement une erreur de confondre le virtuel avec l'immatériel, de considérer comme virtuel tout ce qui n'est ... qu'immatériel.

## 2.2. Un modèle conceptuel

La question qui se pose maintenant est la suivante : que deviennent ces relations entre un sujet, un objet et des représentations de cet objet quand le premier de ces trois protagonistes utilise un système technologique pour interagir avec les deux autres ? Et ce, sans perdre de vue l'objectif énoncé en 2.1 qui est d'imaginer un modèle d'architecture du système intégrant, outre l'utilisateur lui-même, trois concepts maintenant bien définis : le **réel**, le **formel** et le **virtuel**.

### 2.2.1. L'utilisateur au centre

Pour construire ce modèle d'architecture, une première idée consiste à placer l'utilisateur du système technologique<sup>7</sup> au centre d'un dispositif qui le met simultanément en relation avec le réel, le formel et le virtuel ; c'est-à-dire, bien sûr, avec la réalité, avec les représentations de la réalité et aussi avec ces représentations particulières que sont des modèles de la réalité. Et ces relations qu'entretient l'utilisateur du système technologique avec ce qui pourrait être les trois composantes de son architecture sont bien sûr des relations à double sens puisqu'il s'agit d'interactions au cours desquelles il interroge ces trois composantes et reçoit en retour des réponses à ses requêtes. Le schéma ci-dessous illustre très bien cette idée mais pose deux problèmes qu'il ne résout pas.



Le premier problème réside dans la séparation des contenus du formel et du virtuel. En effet, dans ce schéma, le formel se définit comme l'ensemble des représentations du réel et le virtuel comme un sous-ensemble du précédent puisque composé des représentations de la réalité ayant le statut de modèle parce que prédictives de son comportement. Il n'est donc pas possible de représenter de la même façon deux éléments constitutifs du schéma, le formel et le virtuel, dont le second est un sous-ensemble du premier.

Le second problème est de savoir où est, dans ce schéma, le système technologique lui-même. Sans doute, faut-il voir dans le formel une base de données ou de connaissances où sont en bon ordre stockées les représentations de la réalité. Mais si le formel est représentatif des technologies de support, il reste à savoir où sont les technologies de traitement et celles de transport de données telles que définies une première fois au chapitre 1<sup>8</sup>.

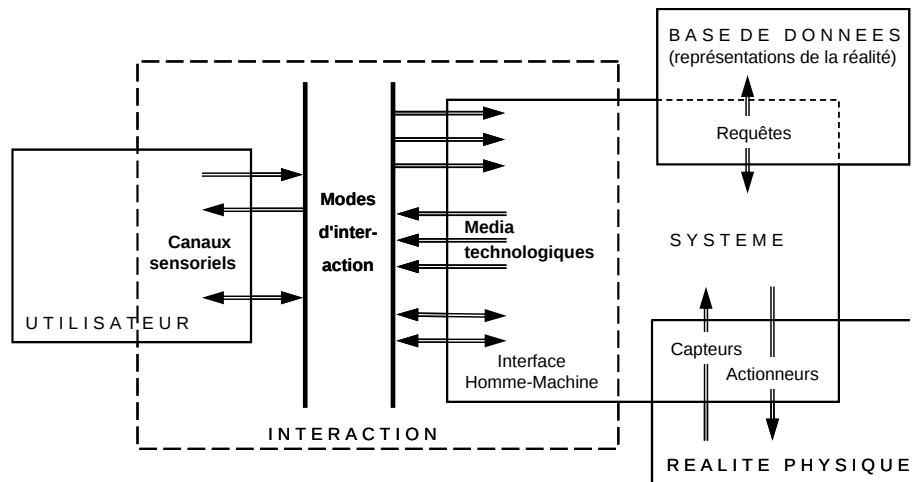
<sup>7</sup> Qu'il s'agisse d'un système informatique et/ou automatique.

<sup>8</sup> Cf. § 1.2.1 **Trois grands types de technologies** - Chapitre 1 - **Choses, signes et êtres : une coévolution**. Dans ce paragraphe sont identifiées et articulés entre eux les trois types de technologies de tout poste de travail personnel ou d'échange relationnel : technologies de traitement, de support et de transport de données.

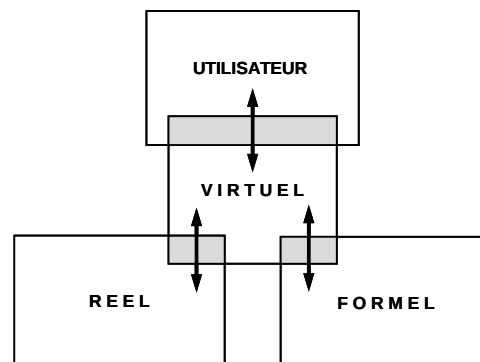
### 2.2.2. La machine au centre

Face à ces deux problèmes que pose le précédent schéma, force est d'abandonner l'idée de maintenir l'utilisateur au centre d'un dispositif visant, ne l'oublions pas, à imaginer un modèle d'architecture du système intégrant, outre l'utilisateur lui-même, trois concepts maintenant bien définis : le *réel*, le *formel* et le *virtuel*.

Une autre idée non pas vient, mais revient à l'esprit parce qu'elle était déjà présente au paragraphe 1.2.1 du présent chapitre dans le schéma utilisé pour illustrer la notion de mode et repris ci-dessous.



Dans ce schéma, l'utilisateur n'accède à la réalité et aux représentations de la réalité qu'au travers du système technologique. Etait donc déjà là l'intuition consistant à placer cette fois au centre du dispositif, non plus l'utilisateur du système, mais le système lui-même. Mettant à profit cette petite « révolution copernicienne », le schéma qui suit se substitue à celui du paragraphe précédent qui voulait absolument maintenir l'utilisateur au centre du dispositif.

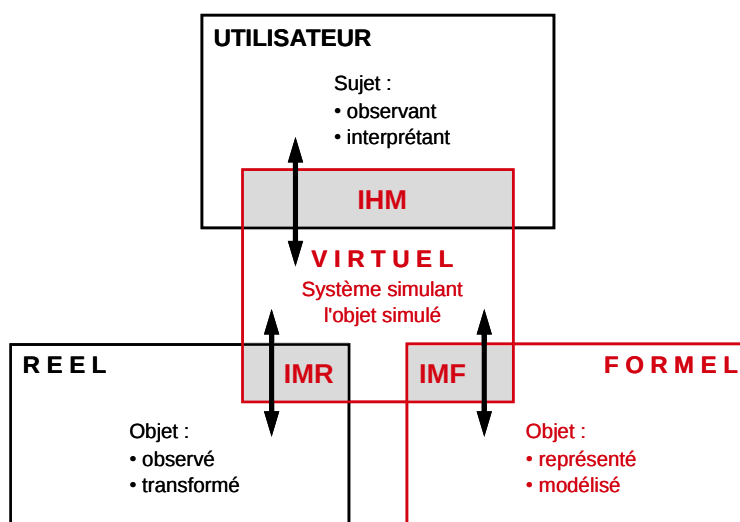


Ce nouveau schéma résout le premier problème de la séparation des contenus du formel et du virtuel.

- Le **formel** y reste représentatif de l'ensemble des représentations de la réalité, de toutes les représentations y compris de celles ayant le statut de modèle.
- Le **virtuel** devient le moyen d'accès autant au réel et au formel, autant à la réalité qu'à ses représentations ; il n'est plus le sous-ensemble des représentations ayant le statut de modèle, mais le « lieu » où « tournent » les modèles, là où est simulé le comportement d'une réalité modélisée.
- Quant au **réel**, il reste ce qu'il était dans le précédent schéma, c'est-à-dire représentatif de la réalité.

Le premier problème est donc bien résolu par ce changement dans la définition du virtuel : celui-ci n'est plus un sous-ensemble du formel, mais ce par quoi l'utilisateur accède au formel. Il n'y a donc plus de difficulté à ce que le virtuel se distingue du formel.

Reste le second problème : où est, dans ce nouveau schéma, le système technologique lui-même ? Pour répondre à cette question, il faut tout d'abord rester totalement fidèle à ce nouveau schéma qui ne met plus l'utilisateur, mais la machine au centre. Puis il suffit de commencer à le compléter en reprenant les résultats du paragraphe § 2.1.3 sur **les fruits de la subjectivité**.



Apparaissent en couleur grenat les premiers éléments constitutifs du système technologique dont bénéficie l'utilisateur :

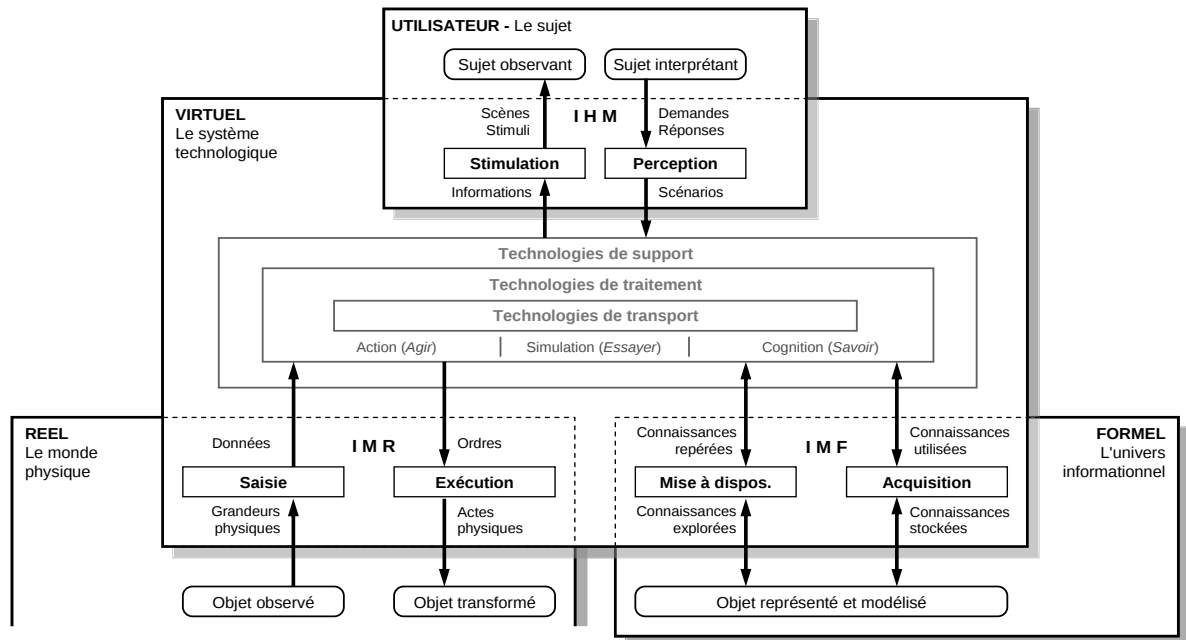
- le **virtuel** emblématique du système technologique lui-même et de sa puissance de traitement,
- le **formel** emblématique de la base de données à laquelle accède le système localement ou à distance,
- les trois interfaces du système :
  - **Homme-Machine** (IHM) avec l'utilisateur,
  - **Machine-Formel** (IMF) avec la base de données où sont stockées les représentations de la réalité,
  - **Machine-Réel** (IMR) avec la réalité sur laquelle l'utilisateur prétend intervenir *via* le système.

Mais à ce stade, on ne voit pas encore très précisément où se situent respectivement, dans le dispositif, les technologies de traitement, de support et de transport de données telles que définies une première fois au chapitre 1<sup>9</sup>. Il faut pour y parvenir continuer de compléter le schéma en allant plus loin encore. Le seul « risque » encouru à poursuivre est celui de prétendre avoir construit un modèle d'architecture intégrant, outre l'utilisateur lui-même, les trois concepts maintenant bien définis de réel, de formel et de virtuel. C'est l'objet du paragraphe suivant qui propose **une architecture multimodale** dont il présente la structure et décline les constituants.

<sup>9</sup> Cf. § 1.2.1 **Trois grands types de technologies** - Chapitre 1 - **Choses, signes et êtres : une coévolution**. Dans ce paragraphe sont identifiées et articulés entre eux les trois types de technologies de tout poste de travail personnel ou d'échange relationnel : technologies de traitement, de support et de transport de données.

### 2.2.3. Une architecture multimodale

Le schéma qui suit est une déclinaison de cette architecture. Ce n'est jamais que le schéma précédent dans lequel est poursuivi le travail consistant à le compléter en en détaillant le contenu.

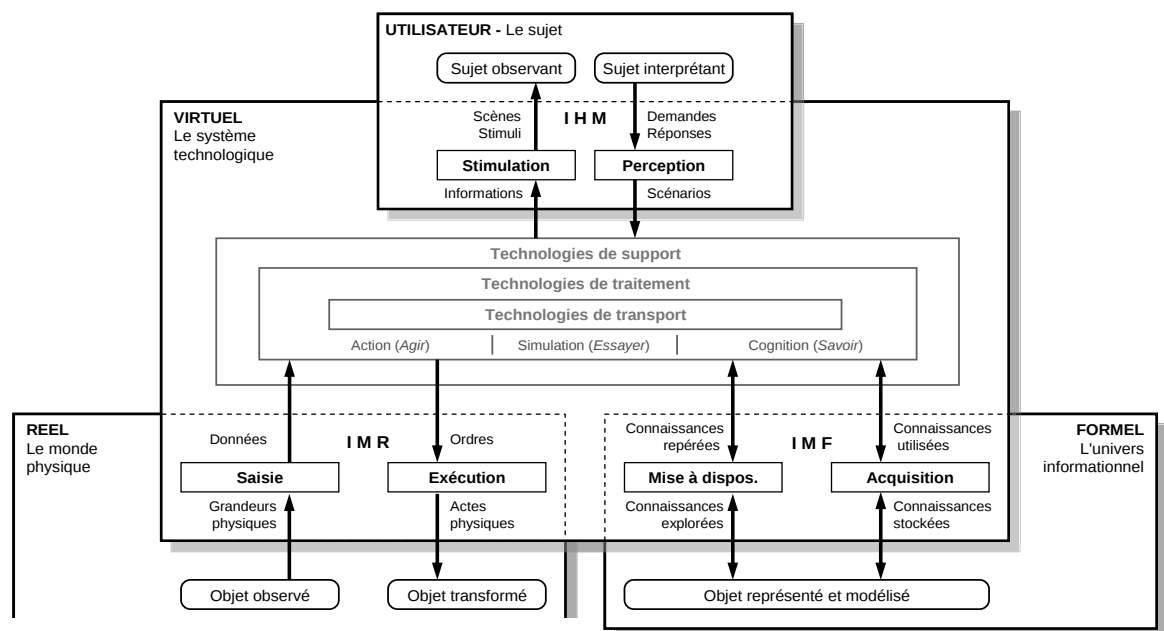


Pour complexe qu'il soit, ce schéma n'en est pas pour autant compliqué. Il ne se contente bien sûr pas d'être cohérent avec ce qui précède dans le présent chapitre. Mais il intègre également et tout naturellement plusieurs résultats atteints dans les deux chapitres précédents.

- Issus des schémas précédents, les trois concepts de **réel**, **formel** et **virtuel** demeurent les trois composantes essentielles de l'architecture proposée. Ces trois concepts servent ici à définir les trois compartiments d'une même structure auxquels s'ajoute pour la compléter celui de l'**utilisateur**. Les compartiments de l'*utilisateur* (ou sujet), du virtuel (ou système technologique) et du formel (ou univers informationnel des contenus culturels) sont représentés avec un contour fermé alors que le réel présente lui un contour évidemment ouvert.
- Ces différents compartiments présentent entre eux des zones de recouvrement qui sont autant d'interfaces où figurent des fonctionnalités distinctes les unes des autres sous des vocables tels que **stimulation** et **perception**, saisie et **exécution**, **mise à disposition** et **acquisition** ; mais aussi, au cœur du système, les méta-fonctionnalités de **cognition**, de **simulation** et d'**action** proposées par les technologies de traitement. En amont et en aval de chacune de ces fonctionnalités apparaît ce qui y entre et ce qui en sort : par exemple, des **grandeurs physiques** devenues **données** saisies par des capteurs, ou encore des **informations** générées par le système devenues **scènes** ou **stimuli** sur un écran, etc.
- Bien sûr, les trois types de technologies de **traitement**, de **support** et de **transport** trouvent leur place comme éléments constitutifs du système technologique englobé dans sa totalité sous le terme de virtuel. Co-présents au sein du système, ces trois types de technologies sont représentés d'une manière gigogne ; une représentation symbolisant la puissance de traitement qui profite de la capacité de stockage des technologies de support et de la vitesse de transfert des technologies de transport. La puissance de traitement du système repose, redisons-le, sur trois méta-fonctionnalités offertes à l'utilisateur pour **savoir** (cognition), **essayer** (simulation) ou **agir** (action).
- Enfin, à la périphérie du schéma, apparaissent les éléments constitutifs de l'environnement avec lesquels l'architecture interagit : le **sujet observant** ou **interprétant** pour l'utilisateur, l'**objet observé** ou **transformé** dans le réel, l'**objet représenté** et **modélisé** dans le formel qui s'ajoute l'**objet simulé** dans le virtuel.

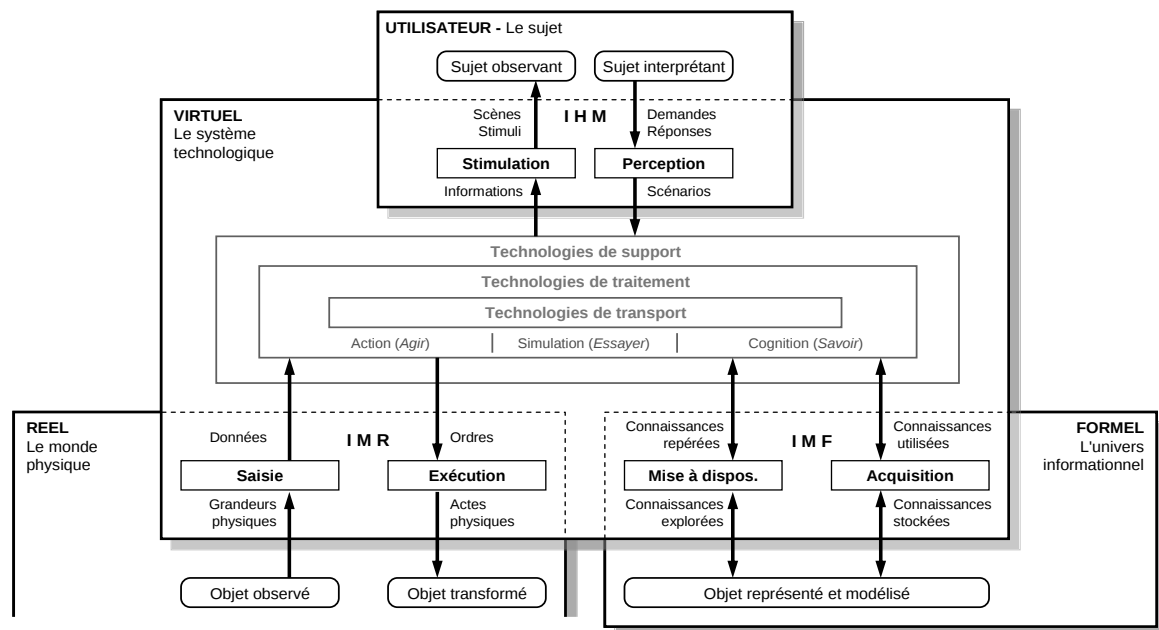
Avant d'en vérifier la pertinence sur quatre exemples très différents d'application, il faut aller plus loin dans la compréhension du fonctionnement de cette architecture. Il faut en particulier regarder ce qui se passe de part et d'autre de chacune des trois interfaces qui mettent en relation le système technologique avec le monde physique, avec l'univers informationnel et avec son utilisateur. Et pour décrire les conversions que font subir ces interfaces aux signes qui les traversent, est ici imaginé l'exemple de la commande à distance d'un réseau d'irrigation et sa régulation par un système à la fois informatisé et automatisé. Dans le schéma repris ci-dessous.

- L'objet observé, c'est d'abord le débit de l'eau dans les canalisations du réseau, mais ça peut-être d'autres caractéristiques telles que le niveau ou la température de l'eau mesuré dans différentes zones du domaine irrigué. Quant à l'objet transformé, c'est aussi bien chacune que l'ensemble des vannes télécommandées, plus ou moins ouvertes ou fermées et grâce auxquelles sont irriguées certaines zones plus que d'autres.
- L'objet représenté, c'est d'abord le synoptique du réseau d'irrigation : ses entrées et sorties, ses canalisations et vannes de régulation. L'objet représenté, c'est ensuite l'ensemble des données, des informations et des connaissances sur les besoins en eau des cultures irriguées, sur les ressources en eau disponibles localement et selon la période. L'objet représenté, c'est plus encore l'objet modélisé, c'est-à-dire une intégration de tous les éléments précédents dans une même représentation dynamique capable de rendre compte du fonctionnement du réseau et d'en prévoir le comportement au différentes périodes de l'année.
- L'objet simulé, c'est la précédente représentation de l'objet dont le modèle, en tournant sur le système technologique, fournit à l'utilisateur de précieuses indications pour une optimisation des conditions d'irrigation à tout moment dans l'année.
- Le sujet observant, c'est bien sur l'utilisateur que le système renseigne sur l'état et le fonctionnement du réseau. Et le sujet interprétant, c'est le même utilisateur qui observe le comportement du réseau d'irrigation simulé par le système et qui décide d'intervenir et d'en modifier le fonctionnement.



Pour rendre compte plus précisément du fonctionnement de cette architecture, il faut parcourir chacun de ses compartiments, y compris celui de l'utilisateur qui en fait intégralement partie. Il faut donc décliner un processus qui conduit à décrire ce qui se passe quand est franchie, dans un sens et dans l'autre, chacune des trois interfaces du système technologique avec son environnement : l'interface Machine-Réel (IMR) avec la réalité du monde

physique, l'interface Homme-Machine (IHM) avec l'utilisateur et l'interface Machine-Formel (IMF) avec « l'idéalité » de l'univers informationnel.



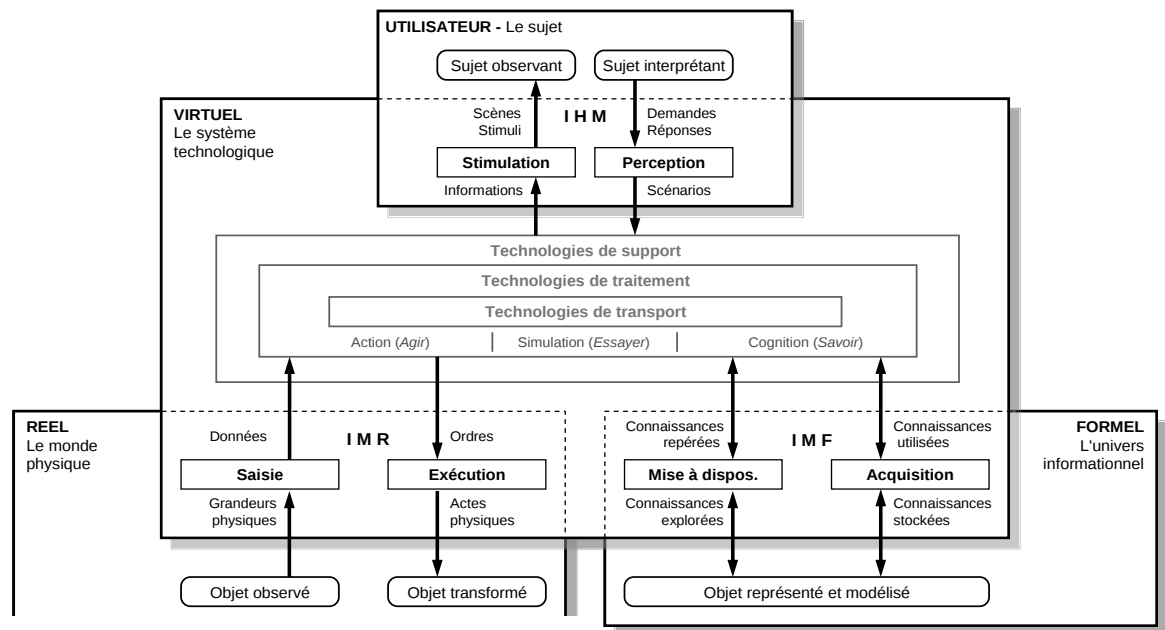
Dans l'interface Machine-Réel, de la réalité du monde physique vers le système technologique, des capteurs saisissent des grandeurs physiques et les transforment en données transmises au système via les technologies de transport. A la fois informatisé et automatisé, le système technologique traite ces données et les transforme en informations qui alimentent une représentation de l'état du réseau d'irrigation.

Dans l'interface Homme-Machine, du système vers l'utilisateur, les informations générées par le système sont agrégées dans des scènes ou déclenchent des stimuli visualisés à l'écran par l'utilisateur. Les scènes correspondent à des états différents d'une même représentation du réseau ou à des représentations différentes de ce même réseau. Quant aux stimuli, il s'agit de valeurs particulières prises par des grandeurs physiques ou d'indications significatives affichées sur l'écran qui alertent l'utilisateur avant de l'inciter à agir. Soumises au regard de l'utilisateur, ces valeurs et indications sont autant de stimulations de celui encore considéré ici comme sujet observant ce qui s'affiche à l'écran de son poste de travail.

Toujours dans l'interface Homme-Machine mais, cette fois, de l'utilisateur vers le système, le sujet quitte son statut de sujet observant et adopte celui de sujet interprétant. Incité à agir ou réagir, l'utilisateur du système technologique transforme mentalement des scènes ou des stimuli en des réponses ou demandes que le système est capable de percevoir et « comprendre ». Fort de sa capacité d'interprétation, l'utilisateur a transformé des valeurs ou indications affichées par le système à l'écran en requêtes, qu'il s'agisse de réponses ou de demandes formulées en direction de ce même système.

Informatisé et automatisé, le système technologique dispose, dans son interface Homme-Machine, de capacités de perception des demandes de l'utilisateur ou des réponses que formule ce dernier à son endroit. En réponse aux demandes de l'utilisateur ou selon les réponses de ce dernier à ses requêtes, le système élabore des scénarios différents. Un scénario est ici un enchaînement d'opérations élémentaires telles que la saisie d'un niveau d'eau dans une zone ou d'un débit dans des canalisations, le calcul d'un niveau d'eau à atteindre dans une zone donnée, etc.

Pour élaborer un tel scénario, le système ne dispose pas que de la puissance de calcul que lui donnent ses technologies de traitement. Il dispose aussi des données, informations ou connaissances accessibles dans ce qui a jusque-là été désigné par l'expression d'« univers informationnel ». Il s'agit de données élémentaires sur le fonctionnement du réseau ou d'informations plus élaborées comme les éphémérides des configurations du réseau ou des bulletins météorologiques. Mais il s'agit aussi et surtout d'une base de connaissances contenant les représentations du réseau, mieux le modèle capable d'en simuler le fonctionnement et donc d'en prévoir le comportement.



C'est via l'interface Machine-Formel que se font dans les deux sens les échanges entre le système et ces bases de données ou de connaissances. Deux méta-fonctionnalités sont présentes dans cette interface : la mise à disposition et l'acquisition de données, d'informations ou de connaissances. La mise à disposition transforme des éléments repérés en éléments explorés : à l'aide du système, l'utilisateur consulte dans un sens des informations préalablement identifiées dans l'autre sens. L'acquisition transforme des éléments stockés en éléments utilisés : l'utilisateur met à profit dans un sens des informations préalablement enregistrées dans l'autre sens.

Répondant aux demandes de l'utilisateur et bénéficiant des résultats de l'application du modèle, le système génère les ordres de nature à modifier la configuration du réseau d'irrigation. Dans l'interface Machine-Réel, du système technologique vers la réalité du monde physique, c'est-à-dire vers le réseau d'irrigation, des actionneurs reçoivent ces ordres et les transforment en actes physiques : l'ouverture ou la fermeture d'une vanne, le réglage d'une autre, etc. ; et ce, de façon à obtenir, pour le réseau, la configuration et le comportement souhaités.

### 3. Pertinence du modèle

L'architecture dont le fonctionnement vient d'être décrit a ici été proposée comme modèle ; un statut auquel elle ne peut prétendre que si se vérifie son applicabilité aux innombrables utilisations de tout système technologique informatisé, voire automatisé. Pour atteindre ce niveau d'applicabilité et donc ce statut de modèle, il lui a fallu intégrer, outre l'**utilisateur** lui-même, les trois compartiments constitutifs de l'environnement d'un tel système ; trois compartiments auxquels ont été donnés les noms de **réel**, de **formel** et de **virtuel**. Et c'est tout le mérite de ce qui précède d'avoir longuement définies et articulées entre elles ces quatre composantes du modèle. C'est à ce prix que cette architecture peut ici prétendre au statut de modèle universel, un statut à la mesure de son niveau d'applicabilité.

#### 3.1. Quatre exemples d'application

Pour vérifier sa pertinence, la précédente architecture est ici appliquée dans quatre domaines totalement différents les uns des autres. Lancés dès la fin des années 90, ces quatre exemples sont aujourd'hui totalement opératoires et bénéficient des développements technologiques les plus récents. Dans chacun d'eux sont mis en jeu les quatre composantes de l'architecture telles qu'elles ont été précédemment définies et qu'en a été décrite l'articulation : bien sûr le **virtuel**, le **réel** et le **formel**, mais aussi l'**utilisateur** comme partie intégrante de cette même architecture. Et tout le mérite de ces quatre exemples réside précisément dans la place qu'y occupe et le rôle que tient chacune de ces quatre composantes au sein de la même architecture.

##### 3.1.1. Neurochirurgie assistée

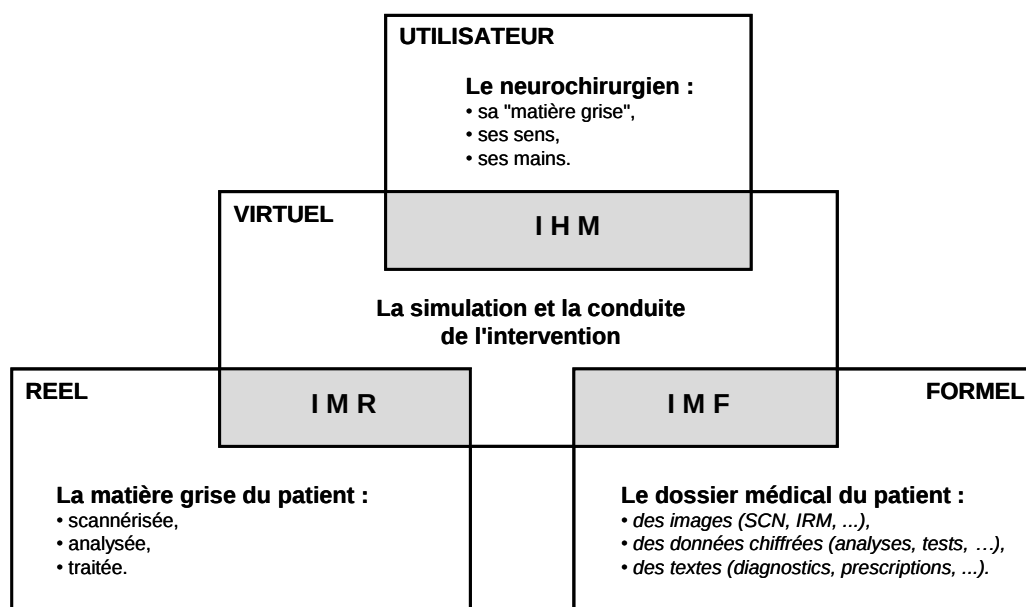
La chirurgie et plus encore la neurochirurgie exigent une précision la plus grande possible dans l'accomplissement des gestes du praticien et de ses assistants. C'est encore plus vrai lors d'une intervention sur le cerveau après trépanation. Un tel acte de « réparation » de la matière grise est inévitablement, en partie du moins, destructeur. Par exemple, pour atteindre dans le cerveau du patient le nodule cancéreux à éliminer, l'aiguille utilisée va nécessairement porter atteinte aux neurones présents sur son parcours ; pire, elle risque en chemin de blesser, voire de sectionner l'artère qu'elle n'aura pu éviter. Quel qu'en soit le niveau, le talent du neurochirurgien ne suffit pas à réduire significativement les risques inhérents à un tel geste. D'où l'idée d'assister le praticien d'un robot qui « mécanise » les gestes accomplis avec une précision autrement plus élevée qu'« à main nue ». Le schéma qui suit illustre l'application à la neurochirurgie assistée du modèle précédent d'architecture.

Soit donc un patient dont le cerveau présente une tumeur d'un volume et à une profondeur tels qu'elle reste encore accessible à un geste chirurgical assisté d'un robot. Il s'agit donc de procéder à une exérèse complète de cette tumeur, c'est-à-dire à son ablation. Pour ce faire, le neurochirurgien dispose des images d'un scanner ou d'un IRM et l'assistance d'un robot. Le neurochirurgien a en effet deux problèmes à résoudre. Il doit d'abord déterminer un chemin à emprunter pour atteindre la tumeur avec le minimum d'effets collatéraux : détérioration inévitable de neurones ou section interdite de vaisseaux sanguins. Il doit ensuite faire parcourir ce chemin à une aiguille avec une précision millimétrique. Pour résoudre le premier problème du chemin à emprunter, il dispose des images en trois dimensions du scanner ou des coupes d'un IRM. Et pour résoudre le second problème du parcours, il dispose d'un robot qui guide l'aiguille dès l'approche du cerveau et jusqu'au cœur de la tumeur à éliminer.

Que ce soit pour la détermination du chemin ou le parcours de l'aiguille, le neurochirurgien dispose de points fixes sur un cadre rigide solidaire du crâne du patient. Ces points constituent un référentiel selon lequel est déterminée en imagerie la position de la cible et sont suivis en chirurgie les mouvements de l'aiguille : c'est la *stéréotaxie*.

Les coordonnées sphériques<sup>10</sup> du cœur de la tumeur sont fournies au système. Symbolisé sur le schéma par le virtuel, ce dernier, fort de sa capacité de traitement, calcule la direction à donner à l'aiguille et la distance à lui faire parcourir. A ce moment-là, la partie-commande du robot, sous le contrôle du neurochirurgien qui conserve la main, pré-positionne l'aiguille, l'oriente et la conduit, millimètre par millimètre, jusqu'au cœur de la tumeur.

Il s'agit maintenant de voir dans le schéma ci-dessous à quoi correspond chacune des quatre composantes de l'architecture précédemment proposée comme modèle et appliquée ici à la neurochirurgie.



Le **réel**, c'est la matière grise du patient. C'est, très précisément, une tumeur qui a été trop longtemps ignorée, puis suspectée et détectée et dont sont dorénavant connues la nature, le volume ainsi que les coordonnées à l'intérieur de la boîte crânienne du patient.

- Plus précisément, c'est dans l'interface Machine-Réel que se situe la partie opérative du système à laquelle appartient le cadre rigide solidaire du crâne du patient. Ce cadre sert de référentiel aussi bien pour relever les coordonnées de la tumeur et déterminer la trajectoire de l'aiguille que pour guider celle-ci lors de sa progression vers sa cible.
- Car c'est toujours dans cette même interface, dans le sens de la machine vers le patient, que se situe la partie-opérative du robot qui conduit l'aiguille utilisée lors d'un prélèvement sur la tumeur et de son ablation.
- C'est enfin, encore dans l'interface Machine-Réel mais dans le sens du patient vers la machine, que se situe la partie opérative du scanner utilisé pour saisir des images de la matière grise à traverser, des vaisseaux sanguins à éviter et de la tumeur à atteindre.

Le **formel**, c'est le dossier médical du patient où se trouvent l'ensemble des informations accumulées et dont la mise en cohérence a produit la détection de la tumeur, la décision et le protocole de son ablation. Y sont consignées les données chiffrées relevées sur le patient telles que les résultats des analyses et des tests qui ont alimenté la réflexion des praticiens et contribué à l'élaboration du diagnostic et à la prise de décision d'intervenir. Y figurent également aussi bien une vieille ordonnance où est prescrit un antalgique contre des céphalées que le rapport de synthèse

<sup>10</sup> Par différence avec des coordonnées cartésiennes ou cylindriques, il s'agit de coordonnées désignant, dans un espace supposé sphérique, un point précis par trois variables : les angles  $\theta$  d'azimut et  $\varphi$  de hauteur de la direction à suivre et la distance  $\rho$  à parcourir dans cette direction pour atteindre le point.

diagnostiquant l'existence d'une tumeur, pronostiquant son évolution et concluant à la nécessité de son ablation. Y sont convenablement stockées les images en 3D produites *in fine* par un scanner dans les mêmes conditions physiques que l'intervention. De ces images sont tirées les données stéréotaxiques de son ablation, c'est-à-dire les données nécessaires à la détermination de la trajectoire de l'aiguille et à son pilotage par le robot.

Le **virtuel**, c'est le système informatique lui-même. Un système qui accède aussi bien à l'ensemble des données, informations et connaissances stockées dans le formel qu'au patient dans le réel pour y recueillir ces éléments et y conduire, le moment venu, l'intervention précédemment simulée. Le système a en effet la triple capacité :

- de transformer les données stéréotaxiques relevées sur le patient en une trajectoire pour l'aiguille,
- de simuler le parcours de cette trajectoire et l'aspiration de la tumeur par l'aiguille,
- puis de piloter le mouvement de l'aiguille jusqu'à la tumeur et de déclencher l'ablation de cette dernière.

Reste l'**utilisateur**. C'est bien sûr le neurochirurgien lui-même entouré de ses assistants. Tel que figurant sur le schéma, l'utilisateur est présent au moins par ses sens, « sa matière grise » et ses mains. A tout instant, il lui faut percevoir ce qui se passe, analyser et comprendre la situation, prendre les bonnes décisions et accomplir les gestes requis. Qu'il s'agisse pour lui de **savoir**, d'**essayer** ou d'**agir**, le neurochirurgien bénéficie d'un accès à une base de données et de connaissances. Il bénéficie ensuite de la puissance de calcul du système informatique qui simule l'intervention avant de la conduire. Il bénéficie enfin de l'assistance d'un robot qui exécute, sous son contrôle, le geste chirurgical salvateur pour le patient.

### 3.1.2. Entraînement sur simulateur

De multiples raisons ont justifié la création de simulateurs de vol visant à placer le pilote dans des conditions aussi proches que possibles de celles existant en vraie grandeur dans un aéronef survolant un territoire donné. C'est d'abord les risques inhérents au manque d'expérience du pilote ; risques de détérioration de l'aéronef et bien plus encore mise en danger de la vie même du pilote. C'est ensuite le coût qui devient vite exorbitant des heures de vol nécessaires à l'apprentissage du pilote et, singulièrement, à sa qualification sur un aéronef particulier.

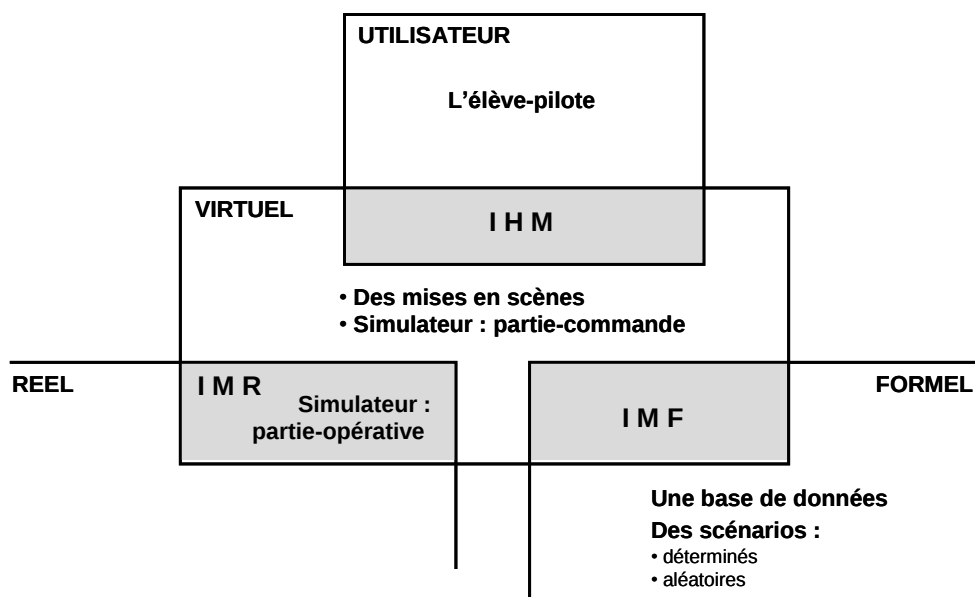
Plus récemment, deux autres raisons sont venues s'ajouter aux précédentes. La première est l'accompagnement du développement et de la mise au point du prototype d'un avion : par exemple, pour choisir l'architecture de la voilure, pour mettre au point les calculateurs de bord, pour simuler les vols d'essai, pour prévoir le comportement des pilotes lors de l'exploitation du nouvel avion, etc. La seconde est la reconstitution à la fois des conditions et de l'enchaînement des faits ayant pu conduire à un accident. Il a fallu pour cela attendre que la simulation ait atteint le niveau de performance requis pour recréer des situations auxquelles les équipages n'ont pu faire face ; des situations dorénavant envisagées comme autant de scénarios dans lesquelles il s'agit :

- de « faire tourner », selon les équations de l'aérodynamique, un modèle numérique de l'aéronef : sa voilure et ses gouvernes, ses moteurs et sa masse selon ce qu'il transporte, sa position, son orientation et ses mouvements dans l'espace et par rapport au sol ;
- d'élaborer en temps réel une vue la plus réaliste possible de son environnement : le ciel et ses conditions météorologiques, le sol et sa géographie, les villes et leurs plates-formes aéroportuaires ;
- de mettre le pilote dans des conditions physiques, sonores et visuelles, intellectuelles et même psychiques aussi proches que possible de celles rencontrées en situation critique : sensations corporelles, alertes sonores ou visuelles, émission de fumée, diversité et multiplicité des sollicitations, injonctions paradoxales, etc.

Un tel niveau de performance dans la simulation d'un vol est totalement corrélé à celui atteint en informatique, en imagerie et en reproduction sonore.

- D'abord en informatique, il s'agit :
  - du développement de modèles numériques à la mesure des calculateurs travaillant en temps réel,
  - des performances en capacité et temps d'accès des bases de données contenant la masse des images nécessaires aux mises en scènes et les multiples scénarios auxquels soumettre le commandant de bord et son équipage.
- Ensuite en imagerie et reproduction sonore, il s'agit :
  - du traitement d'images de synthèse en 3D<sup>11</sup> autant du territoire survolé que de l'environnement aérien,
  - de la vision du sol et de l'environnement aérien asservie, par simulation, aux conditions de vol<sup>12</sup>,
  - des instruments de bord rigoureusement identiques à ceux de l'aéronef « utilisé »,
  - de l'audition aussi bien des bruits ambiants et alertes sonores générés dans le cockpit que des messages ou discussions entendus dans un casque audio.
- Enfin en automatique, il s'agit :
  - de la cabine de pilotage à six degrés de liberté montée sur ses vérins hydrauliques,
  - des actionneurs physiques<sup>13</sup> et des asservissements soumettant le pilote à des contraintes corporelles et le renseignant sur l'assiette et les accélérations positives ou négatives de l'aéronef<sup>14</sup>,
  - de l'utilisation de commandes à retour d'effort<sup>15</sup> renseignant le pilote sur l'effet des gestes qu'il exécute.

Comme dans le précédent exemple de la neurochirurgie, il s'agit maintenant de voir dans le schéma ci-dessous à quoi corresponde chacune des quatre composantes de l'architecture précédemment proposée comme modèle et appliquée ici à l'entraînement sur simulateur.



<sup>11</sup> Singulièrement lors d'un vol à basse altitude qui exige un bien plus grand niveau de détail qu'à haute altitude.

<sup>12</sup> Simulation de la diminution des facultés visuelles en vol de nuit, éblouir par le soleil selon l'orientation de l'aéronef, dans des intempéries, sous l'effet de la multiplication de la pesanteur due aux accélérations appliquées à l'aéronef.

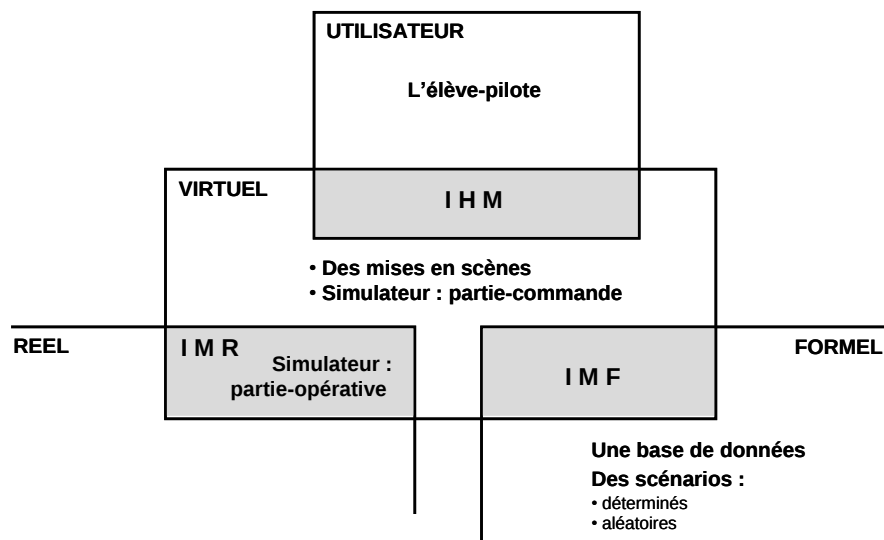
<sup>13</sup> Que se soient les vérins hydrauliques qui provoquent les mouvements de la plateforme mobile ou les coussins gonflables qui provoquent des sensations d'écrasement sur le corps du pilote.

<sup>14</sup> La plateforme mobile ne sert pas à simuler l'attitude de l'aéronef, mais à créer artificiellement des sensations dues à la pesanteur auxquelles est soumis le pilote. D'où la notion de facteur d'échelle car l'accélération restituée n'est qu'un pourcentage de l'accélération effective en situation réelle.

<sup>15</sup> Qui renseigne le pilote sur les réactions de l'aéronef aux gestes qu'il exécute.

Le **réel**, c'est la partie opérative du simulateur ; c'est l'ensemble des composants physiques créant des conditions physiques, sonores et visuelles aussi proches que possible de celles de la réalité : la cabine de pilotage et les vérins qui l'orientent, les commandes à retour d'effort et les instruments de bord, les coussins gonflables qui exercent des contraintes sur le corps du pilote, les émetteurs de fumée dans l'habitacle, etc. Cette partie opérative n'est rien de moins que l'interface Machine-Réel du système. On y trouve par conséquent :

- les actionneurs physiques agissant dans le sens du simulateur vers le corps du pilote : par exemple, les vérins hydrauliques qui orientent la plate-forme mobile et la cabine de pilotage en même temps que le corps du pilote ;
- les capteurs de saisissant des données dans le sens des membres du pilote vers le simulateur : par exemple, les boutons ou poussoirs par lesquels le pilote transmet des consignes ou des ordres au système ;
- des capteurs et des actionneurs fonctionnant dans les deux sens : par exemple les commandes à retour d'effort utilisées par le système comme capteurs des ordres du pilote et comme actionneurs sur les mains du pilote.



Le **formel**, c'est la mémoire de masse du système qui contient toutes les données nécessaires à la simulation d'un vol de l'aéronef et à la mise en situation du pilote ou de l'équipage durant ce vol.

- Ce sont d'abord les données correspondant aux caractéristiques de l'aéronef ; qu'il s'agisse des éléments permanents du modèle numérique (la voilure, les gouvernes ou les moteurs) ou qu'il s'agisse des éléments déterminés à chaque vol (par exemple, la masse de l'aéronef en fonction de ce qui est transporté).
- C'est ensuite, en très grand nombre, les images de synthèse en 3D nécessaires à la visualisation du sol. Ce nombre dépend bien sûr de la surface du terrain survolé et de la présence ou non sur ce terrain d'un milieu urbain et d'infrastructures aéroportuaires à représenter. Mais il dépend surtout de l'altitude dont dépend le niveau de détail nécessaire : à très basse altitude, par exemple à l'approche d'un aérodrome, le niveau de détail nécessaire est considérablement plus important qu'en vol de croisière à haute altitude.
- C'est aussi mais en nombre bien moins important, les images nécessaires à la visualisation de ce qui est au dessus de l'horizon. Ce sont ces images qui rendent plus compte de conditions atmosphériques (nuages, brume, pluie, etc.) que de la présence d'objets (présence d'astres tels que le soleil, la lune ou des étoiles en vol de nuit).
- C'est enfin une collection de scénarios auxquels peut être soumis l'équipage. Pré-élaborés pour mettre l'équipage dans différentes situations, ces scénarios peuvent être mis en scène de façon déterminée ou aléatoire.

Le **virtuel**, c'est la puissance de traitement du système lui-même capable de « faire tourner » le modèle numérique de l'aéronef en mettant en scène l'un ou l'autre ou plusieurs des scénarios précédents.

- C'est donc d'abord la capacité du système à calculer en temps réel, comme il a été dit plus haut, la position, l'orientation et les mouvements dans l'espace et par rapport au sol de l'aéronef.
- C'est en même temps la capacité du système à calculer toujours en temps réel la vision qu'a l'équipage autant du sol que de l'environnement aérien selon l'orientation de l'aéronef.
- C'est ensuite la capacité du système à générer, toujours en temps réel, les conséquences sur le vol des gestes du pilote réagissant aux conditions que lui impose le scénario.
- C'est donc enfin, par différence avec sa partie opérative présente dans le réel, la partie commande du système qui pilote tous les actionneurs physiques de positionnement de la cabine, de contraintes sur le corps du pilote ou de retour d'effort des commandes.

Ce fonctionnement en temps réel du système correspond à une mise à jour, tous les dixièmes de seconde environ, de la situation de l'aéronef dans son environnement aérien et de celle de l'équipage aux postes de pilotage.

Quant à l'**utilisateur**, c'est bien sûr le pilote ou l'équipage de l'aéronef soumis à une réalité créée par le système.

- C'est en effet le système qui crée la réalité qu'il simule ; une réalité correspondant à l'un des scénarios et qui met l'aéronef dans une situation plus ou moins critique. Face à cette situation, le pilote est invité à réagir, lui aussi comme le système, en temps réel.
- Car c'est *via* le système que le pilote accède à cette réalité ; une réalité qui le plus souvent résulte d'une dégradation des conditions de vol ou du fonctionnement de l'aéronef. Après avoir diagnostiqué la situation, le pilote identifie la procédure à appliquer pour y faire face.
- Puis, toujours *via* système le pilote applique en temps réel la procédure. Il exécute les gestes physiques que prévoit la procédure ; il observe les réactions du système et vérifie au moins la stabilisation des conditions de vol, mieux le retour à un fonctionnement nominal de l'aéronef.

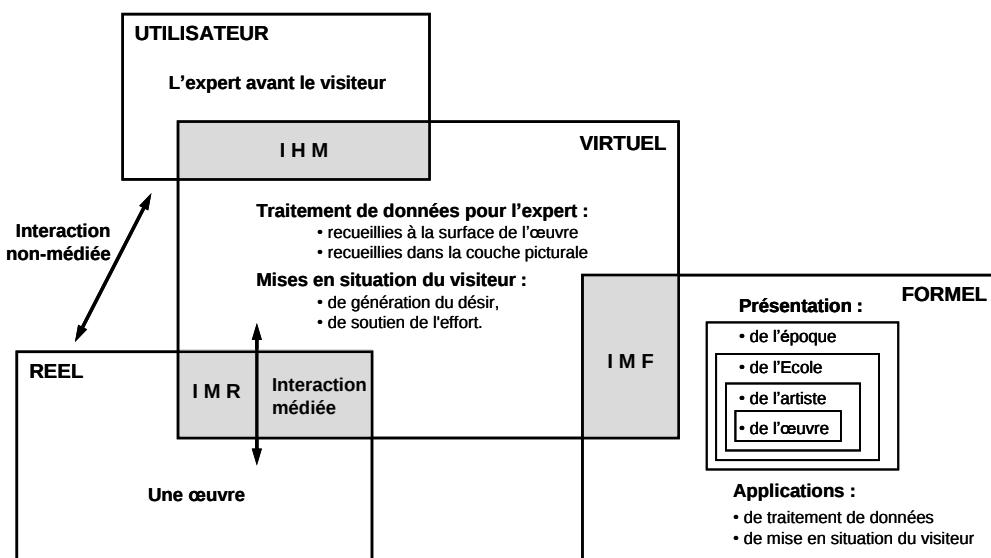
### 3.1.3. A la découverte d'une œuvre

Dans ce troisième exemple, le même modèle d'architecture est appliqué à l'analyse d'une œuvre picturale exposée dans un musée ou disponible dans ses réserves. Il s'agit ici de l'informatisation des technologies utilisées pour accéder autant à ce qui échappe à l'œil de l'expert qu'à tout ce qu'il faut savoir sur l'œuvre, sur l'auteur, son Ecole et la période d'appartenance de ce dernier. Il s'agit donc de technologies dont on ne se prive plus pour confirmer l'authenticité d'un tableau de maître, pour en découvrir la genèse, pour mieux en repérer et caractériser les outrages du temps, pour déterminer le procédé de restauration à retenir, etc. Il s'agit généralement d'un système intégré capable à la fois de guider des capteurs au dessus de la toile, d'analyser les données recueillies et de confronter ces données à ce que l'on sait déjà sur cette œuvre, son auteur et l'époque à laquelle elle a été créée. Ces capteurs diffèrent selon ce qu'on en attend et la nature du rayonnement mis à profit.

- Il y a d'abord les capteurs visant la surface de l'œuvre : bien sûr la photographie ou macrophotographie, la photographie directe ou en lumière rasante, la photographie en lumière visible, la fluorescence ultraviolette, ...
- Il y a ensuite les capteurs scrutant la couche picturale dans son épaisseur : la photographie en lumière transmise telle que la transmittographie infrarouge, la réflectographie dans l'infrarouge, la radiographie numérique, ...
- Il y a enfin les capteurs capables d'analyser les pigments et la matière constitutive de la couche picturale. C'est le cas, par exemple, de la microfluorescence aux rayons X pour analyser les pigments non organiques.

Pour aller plus loin dans l'analyse des matériaux constitutifs de l'œuvre (bois du cadre, fibres de la toile, colle, résine, pigments, etc.), il faut procéder à des prélèvements pour en analyser les échantillons. Contrairement aux nécessités de telles analyses, tous les capteurs cités plus haut sont au service de méthodes non invasives puisque ne recueillant sur l'œuvre que des données immatérielles ; la seule intervention physique sur l'œuvre étant son positionnement et son immobilisation lors du balayage de sa surface par un capteur qu'entraînent des actionneurs pilotés par le système.

Tous ces éléments, qu'ils soient physiques ou informationnels, trouvent leur place dans le schéma qui suit et qui applique le même modèle d'architecture à un système mis d'abord à la disposition de l'expert avant d'être proposé, dans une version pédagogique nécessairement réduite, au visiteur invité à jouer à l'expert.

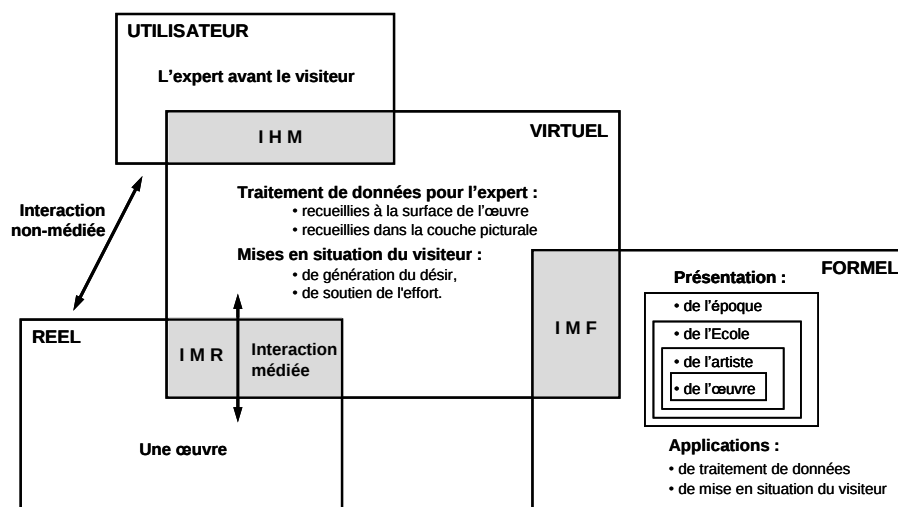


Il convient donc maintenant, comme pour les deux précédents exemples, d'examiner dans le schéma ci-dessus à quoi correspond chacune des quatre composantes du modèle d'architecture précédemment proposé ; un modèle qui conserve là encore sa pertinence pour assister l'expert dans son travail d'analyse ou plus modestement mettre en situation les visiteurs du musée.

Le **réel**, c'est d'abord et avant tout l'œuvre elle-même. C'est cet objet offert aussi bien au regard de l'expert qu'à celui du visiteur du musée. L'un comme l'autre désirent en avoir une vision directe. L'un et l'autre ne sauraient se priver de l'émotion que leur procure la rencontre avec l'œuvre. Même s'ils le font pour des raisons différentes, ils s'imposent l'un et l'autre d'être mis en présence de l'œuvre, d'être avec elle en interaction directe, en interaction non-médiée. Mais le réel, ce sont aussi les moyens technologiques mis à profit pour analyser le tableau, pour y recueillir des données et par conséquent pour assurer son positionnement lors de cette analyse. C'est donc d'abord un bâti sur lequel est positionné et immobilisé le tableau. Ce sont ensuite les actionneurs physiques qui, déplaçant des capteurs au dessus ou en face de l'œuvre, en balaient tout ou partie de sa surface. Ces actionneurs et ces capteurs sont les éléments constitutifs de l'interface Machine-Réel. Que ce soit l'expert dans le laboratoire du musée ou le visiteur dans une salle d'exposition, l'un et l'autre sont, cette fois, en interaction médiée avec l'œuvre ; ils n'y accèdent qu'au travers du système. L'expert y saisit des données qu'il recueille à la surface de la toile ou dans l'épaisseur de la couche picturale. Quant au visiteur, il découvre les méthodes dont dispose l'expert pour comprendre la genèse de l'œuvre, pour connaître les conditions de sa création et de sa production.

Le **formel** désigne, comme dans les exemples précédents, la mémoire de masse du système ; une mémoire contenant toutes les données nécessaires à l'expert dans son travail d'analyse ou celles nécessaires au visiteur pour accéder au moins à l'histoire de l'œuvre et de son auteur.

- Ce sont d'abord les données correspondant au tableau lui-même : sa description, sa genèse, les conditions de sa réalisation par le peintre, sa place dans l'ensemble de l'œuvre de l'artiste, etc.
- Ce sont ensuite les éléments relatifs à l'artiste lui-même : ce qu'il est ou ce qu'il fut ; l'Ecole à laquelle il a appartenu, l'époque dont il relève, etc.
- Ce sont enfin des applications de deux types très différents : celles qu'utilise l'expert pour traiter les données recueillies sur l'œuvre et celles mis à la disposition du visiteur pour l'accompagner dans sa découverte d'un tableau et de son auteur, d'un style et d'une période.



Le **virtuel**, c'est ici encore la puissance de traitement d'un système « calibré » pour recevoir des applications de l'un ou l'autre des deux types cités précédemment.

Ce sont d'une part, des logiciels de traitement des données saisies par un capteur à la surface ou dans l'épaisseur de la couche picturale ; des logiciels permettant, par exemple, de révéler des sous-couches et d'en comprendre la superposition, de révéler un tracé ou dessin sous-jacent, d'observer des retouches au dessus du vernis, de détecter la présence de pigments, d'identifier des éléments chimiques ; bref, des logiciels permettant de mettre en évidence des éléments non visibles à l'œil nu et pourtant constitutifs de l'œuvre et de sa genèse.

Et ce sont d'autre part, des didacticiels destinés à mettre en situation le visiteur parti à la découverte d'une œuvre et de son auteur, de l'Ecole et de l'époque dont ils relèvent l'un et l'autre ; un didacticiel conçu pour générer chez le visiteur un désir de savoir et soutenir son effort à connaître.

Mais il peut s'agir aussi d'une même application proposée au visiteur et relevant à la fois des deux types précédents. Il peut en effet s'agir d'un logiciel d'initiation du visiteur au travail de l'expert ; un logiciel pilotant un dispositif technologique grâce auquel le visiteur est invité à survoler la surface d'un tableau pour y détecter ce que son œil ne peut voir ; un dispositif qui, par ailleurs, donne à ce même visiteur des clés de compréhension de la genèse de l'œuvre et de la volonté de son auteur.

Reste l'**utilisateur**. C'est, selon le type de système et d'application, soit l'expert dans son laboratoire, soit le visiteur bénéficiant d'une borne interactive ou s'initiant à l'utilisation d'une technologie d'analyse picturale.

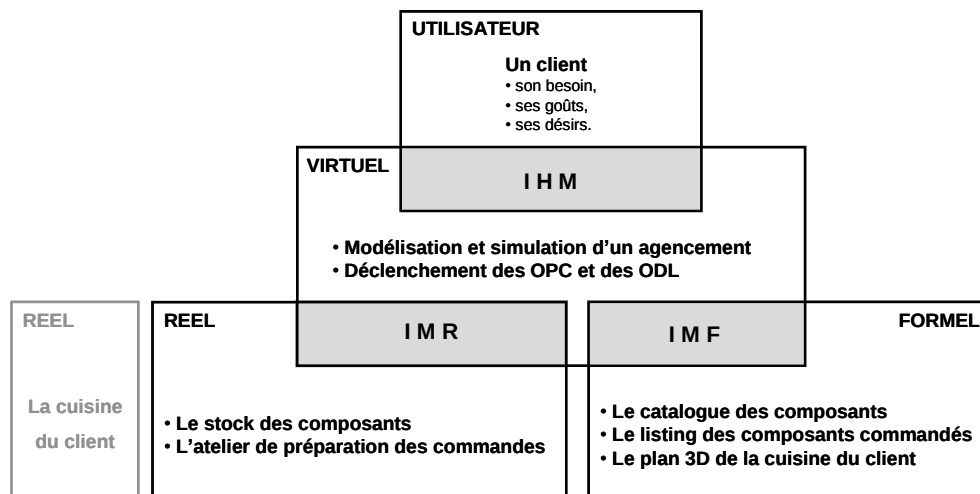
### 3.1.4. Vente à distance et assistée d'un mobilier de cuisine

Il s'agit, dans ce quatrième exemple, d'un système de vente, à distance et assistée par ordinateur, d'un mobilier de cuisine où y est appliqué encore une fois le même modèle d'architecture.

Sur sa tablette ou son ordinateur personnel, le client d'un fabricant de mobilier de cuisine va traduire son besoin en la commande de tous les composants de l'ensemble dont il veut équiper son logement. Pour ce faire, il se connecte au site de son fournisseur sur lequel une application est mise à sa disposition pour l'assister de la conception à la livraison en kits d'une cuisine qu'il montera lui-même. Il commence, bien sûr, par y créer un compte personnel sur lequel seront enregistrés les résultats successifs de son travail et de ses décisions.

Dans un premier temps, le client indique au système les dimensions de sa cuisine, la présence de portes et fenêtres, l'emplacement des alimentations en eau chaude et froide, de l'évacuation des eaux usées, des prises ou interrupteurs électriques, etc. Puis, pas à pas, il choisit les éléments dont il a besoin et les place sur le plan à l'échelle et en 2D de sa cuisine. Le système se charge de positionner avec précision chaque élément par rapport aux parois de la cuisine, mais aussi par rapport à l'élément voisin précédemment positionné.

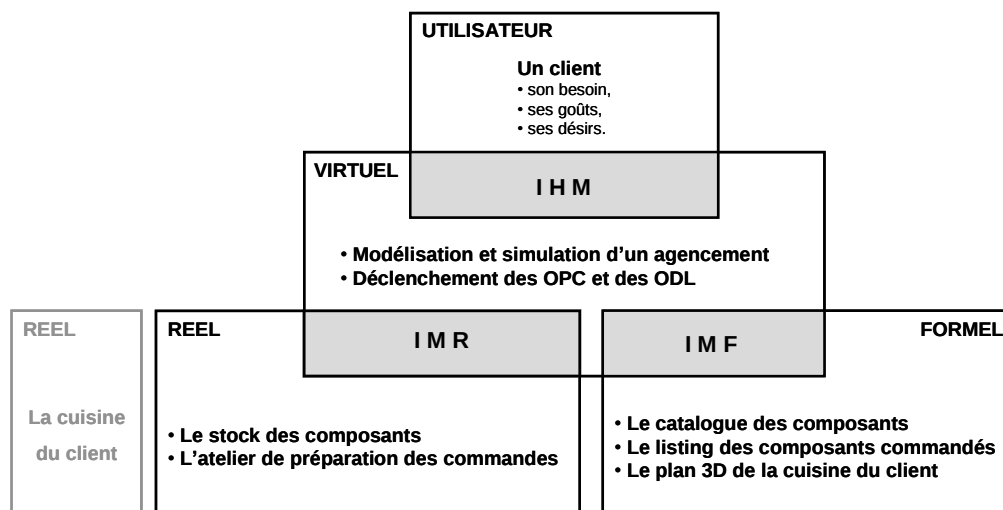
Mais le système va plus loin encore dans l'assistance du client pour concevoir sa cuisine : il détecte les incompatibilités éventuelles entre deux éléments voisins ; il calcule en temps réel les cotes d'encombrement des éléments juxtaposés. Ainsi, au fur à mesure de sa conception, l'agencement prend forme en même temps que s'optimise l'utilisation de l'espace. Parvenu à un résultat qu'il juge satisfaisant, le client passe en mode 3D pour mieux visualiser, toujours à l'échelle mais en perspective, l'agencement qu'il vient d'élaborer. Il a fallu, pour ce faire, que le système soit capable de modéliser l'agencement de la cuisine et donc d'en simuler l'implantation vue par le client sous des angles différents.



Mais le système ne dispose pas que des fonctionnalités requises par le dessin, la modélisation et la visualisation en 3D de l'agencement lors de son élaboration. Son niveau d'intégration lui confère également celles nécessaires à l'établissement de la commande, au déclenchement en interne de l'OPC (Ordre de Préparation de Commande) et, selon ce que souhaite le client, de l'ODL (Ordre De Livraison). Car il intègre des fonctionnalités, non seulement de conception, mais aussi de vente assistée et de gestion de stocks. Il va chercher dans le catalogue du magasin chacun des composants nécessaires et les données associées (code, désignation, prix unitaire, etc.) ; il calcule les quantités

avant d'établir le listing des composants commandés ; il élabore les lignes de la commande et calcule, par catégories d'éléments, ce qu'aura à payer le client. Enfin, dès le déclenchement de l'OPC, il met à jour le stock des composants dans le magasin pour que soient assuré le réapprovisionnement et honorées les commandes des prochains clients.

Il s'agit maintenant de voir, toujours dans le même schéma repris ci-dessous, à quoi corresponde chacune des quatre composantes de l'architecture précédemment proposée comme modèle et appliquée ici à la vente à distance et assistée d'un mobilier de cuisine.



Le **réel**, ce pourrait être d'abord et avant tout la cuisine du client. Tel n'est pas le cas puisque celle-ci reste totalement indépendante du système qui n'en connaît qu'une représentation : un plan côté en 2D qu'il interprète en 3D. Comme dans les exemples précédents, le *réel* est la partie physique nécessairement reliée au système par l'interface Machine-Réel (IMR) ; il est donc à rechercher dans le magasin du fournisseur.

- C'est, d'une part, le stock des composants des différents types d'éléments de cuisine du catalogue.
- Et c'est, d'autre part, l'atelier de préparation des commandes où sont physiquement regroupés tous les composants commandés par le client pour réaliser l'agencement qu'il a conçu.

Le fonctionnement de cet atelier repose sur des technologies dites **infogistiques** relevant à la fois de l'informatique pour le traitement de données et de la logistique pour le convoyage de composants. C'est de là que part vers le client tout le nécessaire au montage du mobilier qu'il a choisi pour sa cuisine.

Le **formel** désigne, comme dans les exemples précédents, la mémoire de masse du système ; une mémoire contenant aussi bien les données que les applications nécessaires à l'élaboration par le client de son agencement et à l'établissement de sa commande.

- Les données, c'est d'abord le catalogue des composants tenus en stock et dont dispose le client pour concevoir l'agencement de sa cuisine. Et c'est ensuite, au fur et à mesure de la conception, le plan en 3D de la cuisine et l'édition du listing des composants sélectionnés par le système en fonction des éléments de cuisine choisis par le client.
- Les applications, c'est d'abord l'application qui assiste le client lors de la conception en 2D de son agencement et lors de l'édition du listing des composants sélectionnés par le système ; c'est aussi l'application qui génère un modèle en 3D de l'agencement que le client peut visualiser sous divers angles. Puis, de nature différente et transparente pour le client, c'est l'application de vente assistée et de gestion de stocks qui établit la commande, déclenche les OPC et ODL et met à jour le stock des composants.

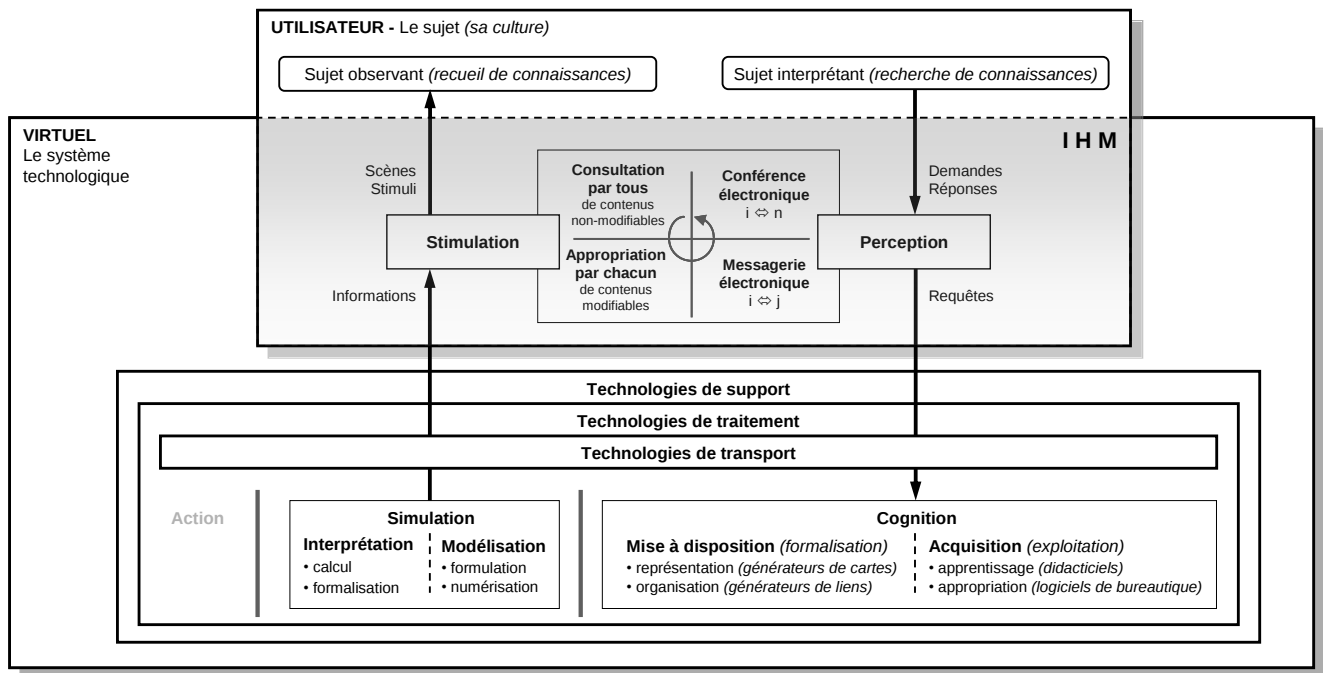
le **formel** est donc cette partie informationnelle reliée au système par l'interface Machine-Formel (IMF) au travers de laquelle transitent les requêtes qui, dans un sens, interrogent la base de données et, dans l'autre, y consignent les choix du client.

Le **virtuel**, c'est ici encore et toujours la puissance de traitement du système capable de « faire tourner » les applications précédentes :

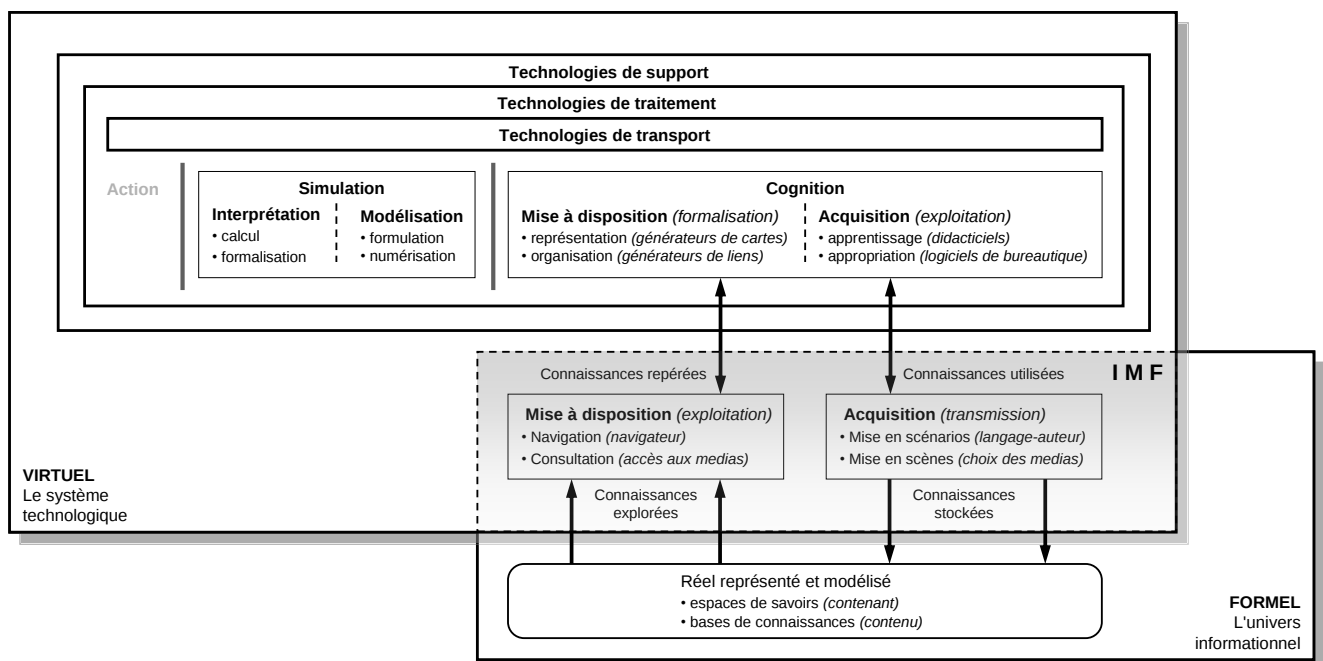
- celle de conception en 2D et d'édition du listing des composants nécessaires,
- celle de simulation en 3D de l'agencement de cuisine élaboré par le client,
- celle de gestion des stocks et de vente assistée.

Quant à l'**utilisateur**, c'est bien sûr le client lui-même avec ses besoins, ses goûts et ses désirs. C'est le client qui, *via* le système, accède aussi bien à la base de données qu'aux stocks de composants de son fournisseur ; un accès que ce dernier lui donne tout en gardant totalement le contrôle : le client prélève tout ce dont il a besoin après qu'aient été vérifié et validé chacun de ses choix.

### 3.2. Implémentation d'une architecture cognitive

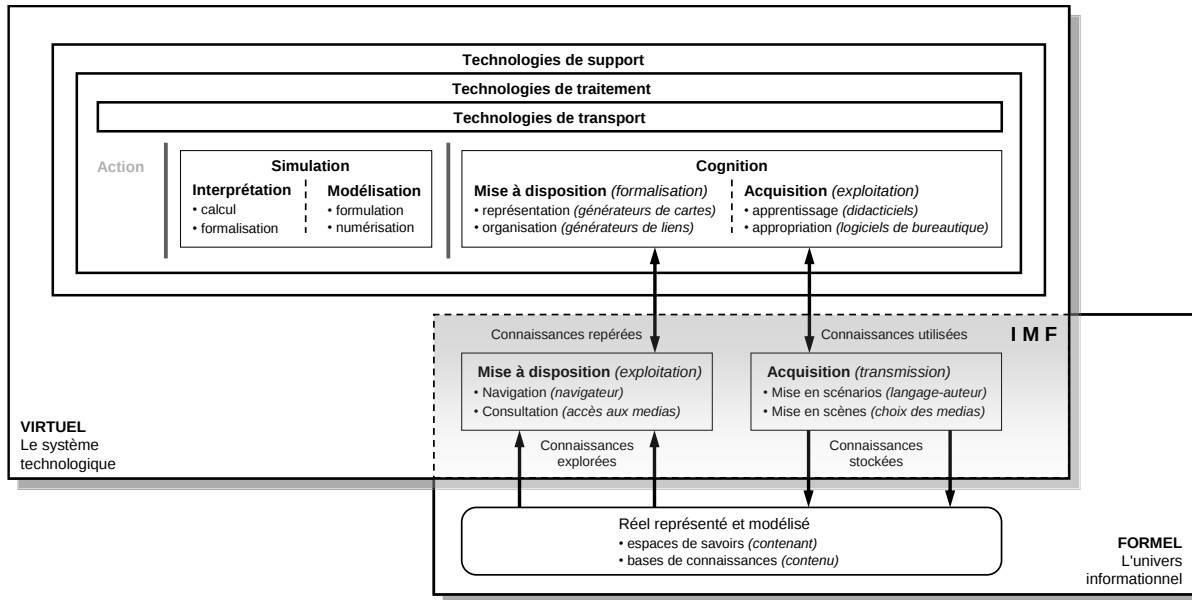


Présentée dans ce qui suit, cette architecture cognitive est la dernière application du modèle déjà utilisé dans les quatre précédents exemples. Cette application est volontairement plus détaillée. Il s'agit en effet d'une application du modèle d'architecture à un système entièrement dédié au traitement des connaissances ; une application située au cœur de la problématique de technologies devenues celles de la Connaissance. Aussi ce dernier exemple a-t-il le mérite d'intégrer la majeure partie des concepts identifiés dans le chapitre 2<sup>16</sup> sur le traitement des connaissances.



<sup>16</sup> Cf. le schéma présentant les **deux processus de traitement du savoir** au paragraphe 1.1.3 du chapitre 2 : **Cognition : le traitement des connaissances**

Dans cette architecture cognitive, **utilisateur**, **formel** et **virtuel** son bien présents, mais le **réel** a « disparu ». En effet, ce qui est traité reste de nature immatériel ou informationnel ; il n'y a pas, dans cet exemple, d'action du système sur une réalité physique observée ou transformée ; le système ne comporte ni capteurs, ni actionneurs intervenant sur la réalité. La seule réalité physique, s'il fallait en trouver une, serait l'utilisateur lui-même bénéficiant des media technologiques<sup>17</sup> de l'interface Homme-Machine (IHM) du système.



Le **formel**, c'est d'abord et avant tout la mémoire de masse du système où sont stockés tous les contenus accessibles à l'utilisateur ; ce sont ici des bases de connaissances ou espaces de savoir auxquels donne accès cette architecture cognitive. Mais ce sont ensuite des applications de mise à disposition et d'acquisition savoir :

- d'une part, celles avec lesquelles l'utilisateur repère les connaissances dont il a besoin ; ce sont des applications d'exploitation de connaissances : navigateur, gestionnaire de fichiers, lecteur de médias, etc. ;
- d'autre part, celles avec lesquelles le pédagogue rend transmissibles des connaissances : langage-auteur, logiciels de composition, de présentation, d'intégration de medias, etc.

Le **virtuel**, c'est, comme dans les quatre exemples précédents, la puissance de traitement du système capable de « faire tourner » toutes les applications de la cognition ou du traitement des connaissances. Ce sont d'abord les applications précédemment citées et figurant dans l'interface Machine-Formel (IMF) :

- de navigation dans des espaces de savoirs et de consultation de connaissances pour l'utilisateur,
- de mise en scènes et de mise en scénarios de connaissances pour le pédagogue.

Ce sont ensuite, toujours dans le **virtuel**, celles laissées en dehors de l'interface Machine-Formel :

- de représentation et d'organisation des connaissances pour le cognitifien,
- d'apprentissage et d'appropriation de connaissances pour l'utilisateur.

Ce sont enfin des applications de simulation permettant d'interpréter d'abord et de modéliser ensuite la réalité. Il s'agit donc d'applications destinées à créer des environnements aussi proches que possible de la réalité et auxquels seront soumis les apprenants.

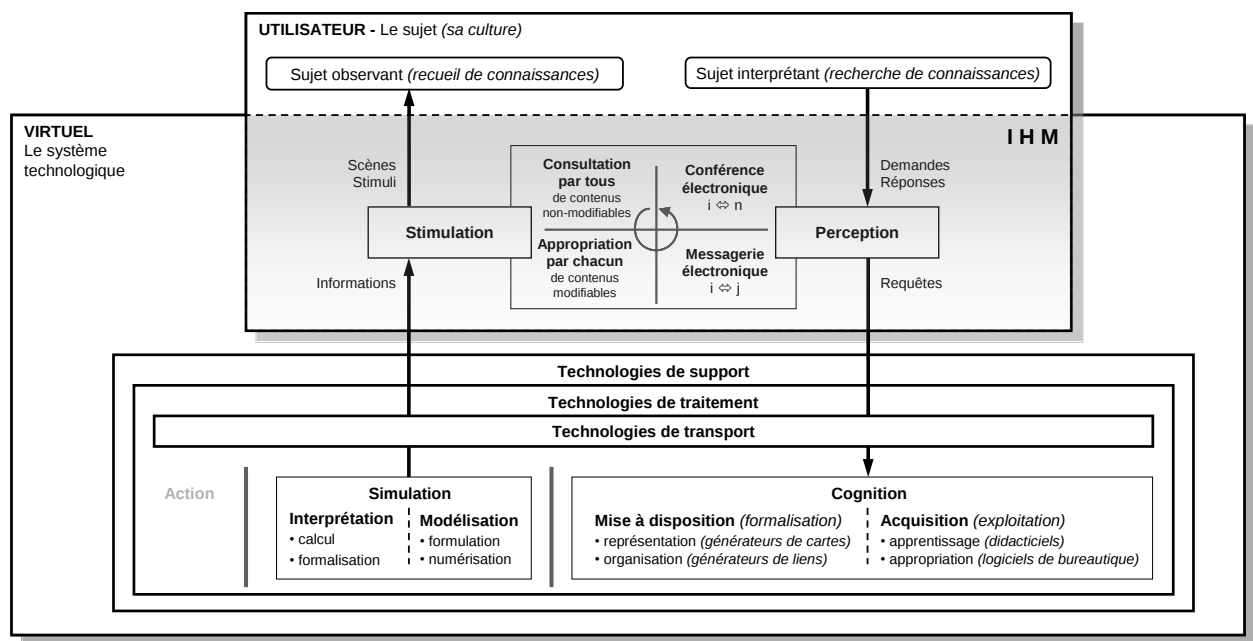
<sup>17</sup> Voyants, écran tactile ou non, caméra vidéo, clavier et souris, haut parleur ou micro, synthèse ou reconnaissance vocale, etc.

Pour aller plus loin que dans les quatre exemples précédents, il peut être intéressant de reprendre cette implémentation d'une architecture cognitive par une présentation détaillée des deux interfaces :

- l'interface Homme-Machine, d'une part, au travers de laquelle l'utilisateur interagit avec le système pour rechercher et recueillir des connaissances ;
- l'interface Machine-Formel, d'autre part, au travers de laquelle le système interagit avec des bases de connaissances ou espaces de savoirs où sont stockées dans un sens et explorées dans l'autre sens des connaissances.

### 3.2.1. Interface Homme-Machine (IHM)

L'interface Homme-Machine, c'est la partie commune au système technologique et à l'utilisateur qui, fort de sa culture, recueille les connaissances qu'il a au préalable recherchées.



Partie intégrante du système, l'interface Homme-Machine (IHM) comporte les média technologiques requis :

- pour stimuler les sens de l'utilisateur : écran de visualisation, haut-parleur pour l'audition de sons, de bips sonores ou de la synthèse vocale ;
- pour « faire percevoir » au système les requêtes de l'utilisateur : saisie sur le clavier, pointage sur l'écran ou commande par reconnaissance vocale.

Ce faisant, l'utilisateur passe à tout moment de l'un à l'autre des deux statuts de sujet observant et sujet interprétant :

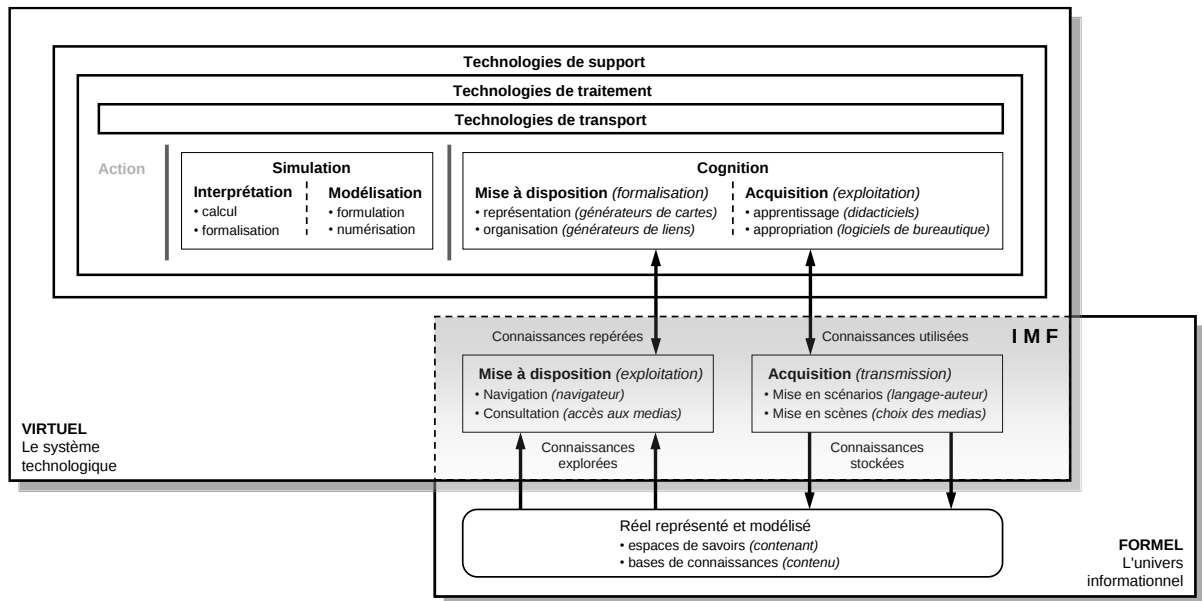
- sujet observant, il recueille les informations que lui communique le système sous forme de stimuli élémentaires ou de scènes plus élaborées ;
- sujet interprétant, il recherche des informations en formulant des requêtes qui sont autant de demandes ou de réponses adressées au système en fonction des questions qu'il se pose.

Ces deux fonctionnalités de stimulation de l'utilisateur et de « perception » du système sont au service du **JITOL** ; le modèle<sup>18</sup> regroupant les quatre modes d'interaction à l'intérieur desquels trouvent leur place les services les plus utilisés sur le « net » : consultation par tous, appropriation par chacun, messagerie et conférence électroniques.

<sup>18</sup> Le modèle **JITOL** est décrit au paragraphe § 3.1.1 du chapitre 1 : **Chose, signes et êtres : une coévolution.**

### 3.2.2. Interface Machine-Formel (IMF)

L'interface Machine-Formel, c'est la partie commune au système technologique et à l'univers informationnel des bases de connaissances ou espaces de savoirs ; là où le réel est au moins représenté et parfois modélisé.



Partie intégrante du système, l'interface Machine-Formel comporte les applications requises :

- pour repérer certaines connaissances parmi celles explorées au préalable : c'est la mise à disposition du savoir ;
- pour utiliser des connaissances prélevées parmi celles stockées : c'est l'acquisition des connaissances.

Pour ce faire, l'utilisateur dispose des applications constitutives :

- de la mise à disposition de connaissances : ce sont les logiciels de navigation et de consultation de contenus dans des bases de connaissances ou espaces de savoirs ;
- de l'acquisition de connaissances : ce sont, d'une part, les langages-auteur grâce auxquels sont mis en scénarios des contenus et ce sont, d'autre part, les différents medias (texte, graphique, sons, images fixes ou animées) selon lesquels ils sont mis en scènes.

Il est utile de rappeler que ces deux fonctionnalités de mise à disposition et d'acquisition des connaissances sont respectivement synonymes :

- pour la première, d'exploitation par l'utilisateur des connaissances repérées parmi celles explorées ;
- pour la seconde, de transmission par le système de connaissances à l'utilisateur ; des connaissances prélevées parmi celles tenues en stock et que l'utilisateur va pouvoir utiliser.

Sans doute est-il aussi utile de rappeler qu'au travers de ses représentations stockées dans des bases de connaissances, le réel prend au moins le statut de réel représenté et au plus celui de réel modélisé.

- Le réel observé est une représentation de la réalité qui va du simple texte descriptif à la séquence multimédia ; mais cette représentation ne rend compte que de ce qu'est cette réalité à un instant donné.
- Le réel simulé est une représentation de la réalité qui le plus souvent bénéficie d'un format multimédia et résulte d'un formalisme mathématique ; ayant acquis le statut de modèle, une telle représentation permet de prédire le comportement dans le temps de cette réalité.

## 4. Conclusion : de l'usage vers le sens de l'usage des technologies

Caractériser les différents usages des technologies de la Connaissance, c'était nécessairement mettre à jour le rôle et la place de l'utilisateur par rapport au système avec lequel il interagit ; c'était pénétrer dans l'intimité de la relation entre un système technologique et son utilisateur ; c'était identifier et caractériser les différents modes d'interaction de l'homme avec la machine.

Cette caractérisation étant faite, des questions autrement plus fondamentales se posaient : comment l'utilisateur d'un système technologique accède-t-il à la réalité et aux représentations de la réalité ? Comment sa subjectivité contribue-t-elle à donner du sens aux objets qu'il observe ou aux informations qu'il recueille ?

Pour répondre à ces questions, a été proposé rien de moins qu'un processus de génération du sens ; un processus qui repose sur les différences de statut entre sujet observant et sujet interprétant, entre objet représenté et objet modélisé, entre objet observé et objet simulé ; un processus qui entend mettre en évidence et bien distinguer les relations entre sujet, objet et représentations de l'objet ; un processus enfin qui aide à comprendre comment la subjectivité de chacun contribue à donner du sens aussi bien aux objets observés dans le réel qu'aux informations recueillies dans le formel. Ce processus était donc bien un processus de génération du sens, peut-être même une modélisation de la génération du sens.

Puis, ce processus a été mis à profit pour positionner les uns par rapport aux autres quatre « protagonistes » :

- l'objet emblématique de la réalité désigné sous le terme de **réel**,
- la représentation de l'objet emblématique, « l'idéalité », désignée sous le terme de **formel**,
- la puissance de traitement du système capable de simuler la réalité et désignée sous le terme de **virtuel**,
- enfin et surtout le sujet lui-même, **utilisateur** du système technologique et désigné sous ce terme.

De ce positionnement relatif est née la proposition, pour le système, d'un modèle d'architecture intégrant son utilisateur. Dans ce modèle, ce n'est plus l'utilisateur qui est au centre mais le système lui-même ; l'utilisateur n'accède plus au réel et à ses représentations qu'au travers du système ; il accède aussi bien aux représentations de la réalité qu'à la réalité elle-même, aussi bien au savoir à acquérir qu'au réel à observer, voire à transformer.

Ces deux propositions, tant d'un processus de génération du sens que d'un modèle d'architecture, ne sont pas tout à fait innocentes. Sans doute sont-elles déterminantes sur les conditions d'utilisation des technologies. Mais plus encore que sur l'usage, c'est sur le sens de l'usage de machines à penser que vont s'avérer déterminantes ces deux propositions. Ce qu'entend montrer le quatrième et dernier chapitre intitulé **De l'usage au sens de l'usage**.

Remontant des applications aux implications, ce dernier chapitre entend montrer comment l'usage de machines à penser modifient les manières de penser ; comment des technologies devenues technologies de la Connaissance modifient les façons qu'ont leurs utilisateurs de savoir, essayer et agir. Mais avant il conviendra de s'intéresser aux données économiques du déploiement et méthodologiques de la prescription de technologies devenues technologies de la Connaissance.