

# La plasticité des interfaces homme-machine pour la performance des usines

ERIC CÉRET, SOPHIE DUPUY-CHESSA, YANN LAURILLAU ET GAËLLE CALVARY

## Résumé

**La plasticité des Interfaces Homme-Machine (IHM) dénote leur capacité à s'adapter à leur contexte d'usage (utilisateur, plate-forme, environnement) dans le respect de leur qualité pour l'humain. L'adaptation consiste en un remodelage de l'IHM (par exemple, le compactage de boutons radio en un menu déroulant) ou en à la migration de tout ou partie de l'IHM sur des plates-formes subitement disponibles ou plus appropriées pour l'utilisateur (par exemple, plus proches ou plus grandes). Si quelques applications largement diffusées embarquent aujourd'hui cette capacité d'adaptation, elle reste encore essentiellement du domaine de la recherche et l'envisager dans un contexte applicatif aussi contraint que celui des centrales nucléaires aurait pu paraître incongru. Pourtant, le projet d'Investissement d'Avenir Connexion s'est proposé de relever le défi et d'étudier les gains de performance apportés par cette nouvelle technologie dans ce contexte industriel. Cet article présente la plasticité dans tous ses leviers (remodelage et redistribution) et montre sa double pertinence, d'une part, en tant que propriété pour les utilisateurs finals et, d'autre part, par son approche d'ingénierie dirigée par les modèles pour les concepteurs de systèmes complexes innovants.**

## Mots clés

**Interaction homme-machine, plasticité, contexte d'usage, Multi, Trans, ingénierie dirigée par les modèles, savoir-faire, explicitation, opérationnalisation, capitalisation. ■**

## 1 QUINZE ANS DE RECHERCHE : LA PLASTICITÉ EN UN TOUR DE ROUE !

La *plasticité* d'une interfaces homme-machine (IHM) [10] dénote sa capacité à *s'adapter* à son *contexte d'usage* dans le respect de ses *bonnes propriétés* pour l'humain. Ce terme de plasticité nous vient de différentes communautés : des matériaux qui, sans rompre, s'adaptent aux variations de température par exemple, ou encore du monde médical qui explore toujours notre plasticité cérébrale.

En IHM, nous définissons les « bonnes propriétés » selon des points de vue fonctionnel et non fonctionnel : les services attendus par l'humain et leur qualité de service. Autrement dit, ce sont les exigences centrées utilisateur, c'est-à-dire la *définition du problème* selon une perspective utilisateur. Le « contexte d'usage » a pour vocation de cerner les *contraintes sur la solution*. Il est classiquement défini par un triplet <utilisateur, plate-forme, environnement> où :

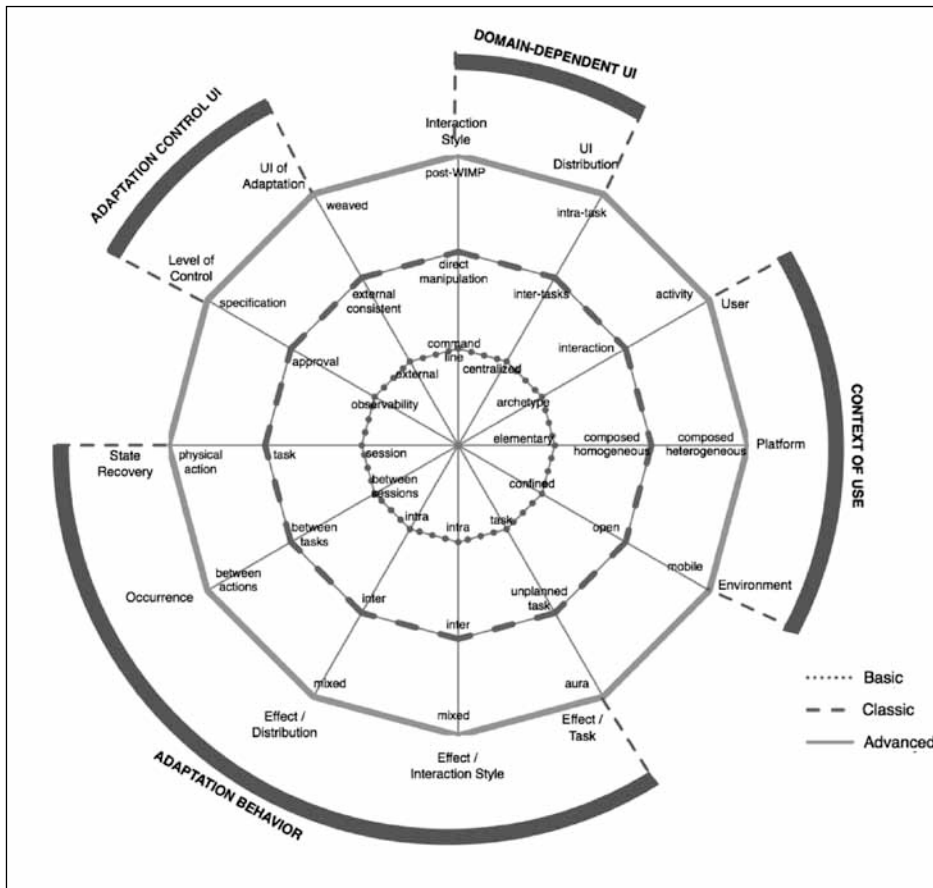
- L'utilisateur représente l'utilisateur du système interactif. Il peut être décrit par des données générales telles que son âge, sa taille, etc. mais aussi par ses compétences métier, informatiques, etc. Bien entendu, ses compétences peuvent évoluer au fil du temps et militer, en conséquence, pour une adaptation de l'IHM ;
- La plate-forme dénote les équipements matériels et logiciels disponibles pour l'interaction. Toute évolution peut de même questionner la pertinence d'une adaptation de l'IHM : par exemple, lorsque la batterie du téléphone faiblit, migrer l'application courante du téléphone à la plate-forme la plus proche ;
- L'environnement se réfère à l'espace physique qui accueille l'interaction. Il peut être décrit par ses conditions lumineuses, sonores, sociales, etc.

Le défi de la plasticité est alors de calculer la « meilleure solution » pour l'utilisateur compte tenu du problème et des contraintes sur la solution ainsi définis. La présente section résume les quinze années de recherche (1999-2014) en plasticité des IHM. Elle les synthétise en un « espace problème » à destination des concepteurs d'IHM. Son objectif est double : les aider, d'une part, à imaginer des solutions innovantes et, d'autre part, à raisonner sur leur ingénierie.

D'un point de vue morphologique, cet espace problème a l'allure d'une roue de quatre quadrants et 12 rayons [3] (figure 1).

Les quadrants sont relatifs à :

- l'IHM métier (*Domain-Dependent User Interface*) avec laquelle interagit l'utilisateur. L'expression « IHM métier » est ici à entendre par opposition aux IHM de contrôle de l'adaptation qui permettent à l'utilisateur de configurer l'adaptation qu'il souhaite ;



▲ Figure 1 :

- les éléments du contexte d'usage (*Context of use*) pris en compte lors d'une adaptation de l'IHM ;
- les changements opérés dans l'IHM lors d'une adaptation (*Adaptation Behavior*) ;
- le contrôle accordé à l'utilisateur sur le processus d'adaptation (*Adaptation Control UI*).

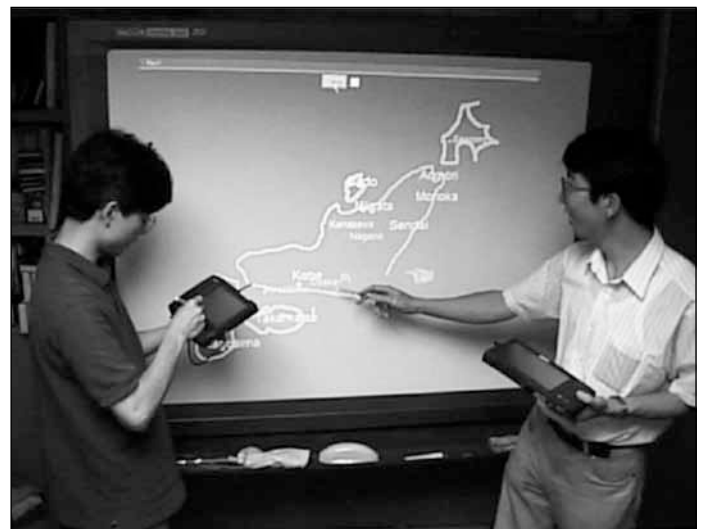
Chaque secteur est subdivisé en dimensions (les axes), elles-mêmes graduées selon trois possibilités : basique, classique et avancé. Plus la graduation est éloignée de l'origine, plus l'adaptation est élaborée.

### ► 1.1 IHM métier

L'IHM métier caractérise l'IHM cible de l'adaptation. Deux aspects sont importants : d'une part, le style d'interaction ; d'autre part, son état de distribution.

**Style d'interaction :** Le style d'interaction distingue, en termes de complexité, trois types d'IHM : *ligne de commandes*, *manipulation directe* et *post-WIMP* (*Windows Icons Mouse Pointer*). Les IHM post-WIMP mettent en œuvre des techniques d'interaction innovantes qui vont au-delà des interfaces graphiques classiques (fenêtres, icônes, souris, pointeur). Ces techniques innovantes incluent par exemple :

- les outils semi-transparents (*Toolglass / MagicLense* [1]) ;



▲ Figure 2 : IHM distribuée entre un tableau et un pocket PC servant de télécommande [7]

### ► 1.2 Contexte d'usage

Le contexte d'usage dénote tous les éléments pouvant engendrer une adaptation de l'IHM. Il est classiquement défini comme le triplet <utilisateur, plate-forme, environnement> [2]. Conformément à cette définition, trois axes composent ce secteur.

**Utilisateur :** La dimension Utilisateur précise si l'adaptation est faite par rapport à

- l'interaction à deux mains (avec deux dispositifs de pointage tels que les souris ou encore sur surfaces « multi-touch ») ;
- l'interaction à plusieurs utilisateurs simultanément ;
- les transformations complexes (rotation, changement d'échelle, déformations) et effets d'animations.

**Distribution de l'IHM :** La distribution de l'IHM peut être inexistante (IHM *centralisée*), à gros grain (*inter-tâches*) ou à grain fin (*intra-tâche*). Gros grain signifie qu'une tâche est entièrement réalisée sur une plate-forme donnée (par exemple, un PC). Par opposition, un grain fin suppose qu'une même tâche peut être réalisée grâce à l'utilisation conjointe de plusieurs plates-formes.

- un modèle *archétypal* de l'utilisateur ciblé, c'est-à-dire une description statique de cet utilisateur, par exemple un mécanicien débutant ;
- l'*interaction*, c'est-à-dire à l'usage qui est fait du système avec, par exemple, une facilitation d'accès aux tâches les plus fréquentes de l'utilisateur ;
- l'*activité*, c'est-à-dire la vie de l'utilisateur au delà du périmètre fonctionnel du système. Par exemple, selon la localisation de l'utilisateur, un système subitement disponible pourrait lui être proposé.

**Plate-forme :** L'axe Plate-forme détermine la complexité potentielle de la/les plate(s)-forme(s) prise(s) en compte dans l'interaction. Il distingue les configurations *élémentaires* faites d'une seule entité (par exemple, un PC) des assemblages de plates-formes *homogènes* (par exemple, deux PC) voire *hétérogènes* (par exemple, un PC et une table interactive). La figure 2 illustre un exemple de plate-forme composite hétérogène.

**Environnement :** L'environnement voit en la mobilité de l'utilisateur une source potentielle de complexité croissante selon que l'environnement est *confiné* (et donc considéré comme prédéterminé et statique), *ouvert* (l'environnement n'est plus statique, par exemple la luminosité peut changer ou d'autres utilisateurs peuvent survenir) et *mobile* (par exemple, une rue où l'interaction peut-être affectée par une perte de connexion).

### ► 1.3 Effets de l'adaptation

Les effets de l'adaptation analysent l'impact de l'adaptation selon différentes dimensions : sa portée en termes de tâche utilisateur et de changement de style d'interaction et d'état de distribution, ainsi que d'un point de vue interactionnel, l'occurrence de l'adaptation et l'éventuelle perte d'actions physiques.

**Effet sur la tâche :** La dimension Tâche cerne la portée de l'adaptation en termes de tâche utilisateur : Est-elle limitée à la *tâche* en cours de l'utilisateur ? Permet-elle la réalisation d'une *tâche non planifiée* voire s'étend-elle jusqu'à l'*aura* de l'utilisateur, c'est-à-dire son espace personnel d'informations ?

**Effet sur le style d'interaction :** En termes de remodelage, l'adaptation préserve-t-elle le style d'interaction de l'IHM (ligne de commandes, manipulation directe versus post-WIMP) ? Si oui, l'adaptation est dite *intra-style*. *Inter-style* fait référence à un changement de style (par exemple, du post-WIMP à la manipulation directe). De façon plus complexe, les styles peuvent être *combinés* (une partie post-WIMP sur une table interactive ; une partie ligne de commande sur PC).

**Effet sur la distribution :** La dimension de l'effet sur la distribution a trait à la réallocation des constituants de l'IHM sur les différentes plates-formes disponibles : l'état de l'IHM (centralisée, distribuée inter-tâches versus intra-tâche) peut être conservé (*intra*) ou modifié lors de

l'adaptation. La modification peut être le passage d'un état à un autre (*inter*) ou la combinaison d'états (*mixte*) : une partie d'une IHM distribuée peut ou non changer d'état.

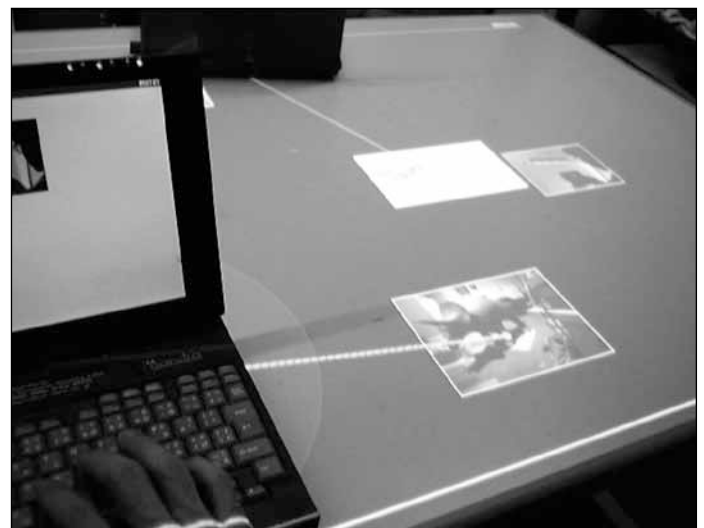
**Occurrence :** L'occurrence analyse le moment auquel l'adaptation peut survenir. À gros grain, elle ne peut se faire qu'entre deux *sessions*. Mais elle peut aussi être opérée entre deux *tâches* utilisateur voire, à plus petit grain, entre deux *actions* physiques sur les dispositifs d'interaction.

**Grain de reprise :** Le grain de reprise fait référence à la perte éventuelle d'actions physiques lors de l'adaptation, par exemple, l'éventuelle perte d'une partie des informations déjà saisies par l'utilisateur. En grain *Session*, l'utilisateur doit renouveler toutes ses actions passées. Le grain *Tâches* permet la restauration de toutes les tâches terminées. Le grain *Action* sauvegarde et restaure toute action physique que la tâche soit achevée ou non. Cela permet de gérer facilement les interruptions.

### ► 1.4 Contrôle de l'adaptation

Le contrôle est relatif à l'intégration de l'utilisateur dans le processus d'adaptation. Deux aspects sont à considérer : d'une part, le degré de contrôle accordé à l'humain ; d'autre part, l'IHM mise à sa disposition pour intervenir.

**Niveau de contrôle :** Au minimum, d'après les principes d'ergonomie des logiciels, l'adaptation devrait être *observable* à l'utilisateur. Par exemple, les lignes « ancrées » vidéo projetées sur la table [8] ont comme objectif d'accompagner l'utilisateur dans le changement en lui indiquant la plate-forme destination sur laquelle les éléments en cours de migration vont très prochainement apparaître (figure 3). Un degré de contrôle plus fin prévoit que le système propose l'adaptation (dans le cas du projet Connexion, la migration des indicateurs) à l'utilisateur. Ce dernier *approuve* ou non la proposition. De façon plus contrôlée, l'utilisateur peut *spécifier* l'adaptation et contrôler les IHM en conséquence fabriquées ou réutilisées.



▲ Figure 3 : Lignes ancrées indiquant à l'utilisateur la direction de la migration [8]

**IHM d'adaptation** : Quel que soit le degré de contrôle, une IHM de contrôle de l'adaptation (aussi dite Méta-IHM [4]) rend observable voire contrôlable à l'utilisateur le processus d'adaptation. Cette IHM peut être *externe* à l'IHM métier et, en conséquence, moins contrainte en termes de style d'interaction : c'est une fenêtre à part, potentiellement hétérogène en style. Elle peut être *externe et cohérente* en style d'interaction à l'IHM métier mais elle peut être aussi *tissée* dans l'IHM métier. L'IHM de l'adaptation est alors intégrée à la fenêtre (dans le cas du graphique), requérant peut-être en conséquence réflexivement la plasticité de l'IHM d'adaptation !

---

## 2. LA PLASTICITÉ EN PRATIQUE : OÙ EN SOMMES-NOUS ?

---

Avec le succès des dispositifs mobiles (téléphones et tablettes en tous genres), et plus encore avec l'avènement de l'informatique ambiante, le besoin de disposer d'applications ubiquitaires est plus fort que jamais. C'est un véritable défi. L'industrie logicielle s'est confrontée ces dernières années à cette ambition, notamment avec la profusion d'applications en ligne. L'historique des évolutions dans ce domaine éclaire la pensée sur la plasticité et les limites que ce paradigme entend dépasser, c'est pourquoi nous en présentons ici un bref résumé. Nous développons ensuite la conception adaptative (*responsive design*), grande tendance du moment. Nous présentons ensuite l'approche plébiscitée dans le monde académique. C'est cette approche qui est aujourd'hui en cours d'expérimentation dans le domaine nucléaire.

### ► 2.1 Une prise de conscience progressive

Dans un premier temps, les applications en ligne se réduisaient à des pages HTML et des liens entre ces pages, affichées sur le dispositif final (un PC ou une machine Apple) par l'un ou l'autre des navigateurs. L'adaptation de l'IHM était déléguée au navigateur, qui était en charge de son redimensionnement proportionnellement à la surface d'affichage disponible. Le besoin de degrés supplémentaires d'adaptation (et de stylisation) a conduit à la création des règles de style (CSS pour *Cascading Style Sheets*) qui peu à peu ont su prendre en compte une partie ténue du contexte (par exemple, avec les directives spécialisées par média (*media queries*) qui permettent de définir un style pour l'affichage et un style pour l'impression).

Mais l'émergence des dispositifs mobiles connectés a rapidement fait émerger un autre besoin : le simple redimensionnement de l'IHM à une surface d'affichage trop petite la rendait illisible et donc peu utilisable. Les fournisseurs de contenu ont donc exploré plusieurs voies : proposer un site Internet dédié avec des pages spécialement conçues pour une toute petite surface, ou offrir des applications natives connectées pour chaque dispositif. Cette approche s'est rapidement avérée limitée : la multiplication des dispositifs, la volatilité des systèmes, l'émergence des tablettes avec des tailles d'affichage

encore différentes font qu'il aurait fallu maintenir une multiplicité de codes sources pour couvrir une petite partie des besoins. De nouvelles approches ont alors émergé, comme la conception adaptative, qui pousse à son maximum les capacités d'adaptation des CSS.

### ► 2.2 La conception adaptative, fer de lance industriel

Le principe de la conception adaptative est de prendre en compte la surface d'affichage disponible et d'impacter l'IHM en fonction de cette identification paramétrique. Concrètement, le concepteur définit des « points de rupture » de taille (aussi bien la hauteur que la largeur d'écran), tels qu'ils l'intéressent, par exemple un palier à 480 pixels de large, un autre à 1024 pixels et un dernier à 1920 pixels. Des règles CSS sont alors définies pour indiquer la disposition et la taille relative de chaque bloc : sur une petite surface, le bloc occupe toute la largeur contre 70% de celle-ci en taille moyenne (le bloc de navigation peut alors être affiché à côté), etc. Les blocs peuvent aussi disparaître si besoin.

Ce type d'adaptation peut de prime abord sembler offrir toutes les dimensions requises par l'utilisateur. Mais il n'en est rien. D'abord, parce qu'elle ne repose QUE sur la surface d'affichage disponible, ce qui n'est qu'une partie du problème général. Par exemple, si l'utilisateur dispose de deux dispositifs, il subit une adaptation pré-cablée sur chaque dispositif sans obtenir de complémentarité entre les deux surfaces d'affichage. Mais aussi parce que l'idée même de points de rupture dans les tailles d'écran laisse à désirer : certains, comme Christian Holst du Baymard Institute, recommandent de définir non pas un pourcentage d'écran à occuper mais un nombre de caractères par ligne, compris entre 50 et 60. Ce nombre dépend de la taille de police et peut perdre son sens : 60 caractères sur un écran de montre sont trop petits pour être lisibles et trop gros pour être confortables sur un écran géant. Comment dès lors adapter la taille de police sans déléguer au seul navigateur qui applique des règles génériques pour n'importe quel site ? On peut aussi critiquer l'approche par son côté prédéfini : le concepteur a décidé quels composants sont présents en fonction de la surface d'affichage disponible et leur taille proportionnelle à cette surface. L'adaptation est dynamique au sens où elle se fait à l'instant où le besoin émerge mais statique au sens où elle est totalement prédéfinie, inévitable et subie, et où la transition d'une situation à l'autre n'est pas continue mais discrète. Enfin, le bénéfice en termes de coûts de développement n'est pas établi : la création d'un site unique adaptable est connue pour être plus coûteuse que la création de plusieurs applications (natives ou HTML), mais leur coût de maintenance, leur adaptabilité aux futurs besoins (lunettes connectées, montres intelligentes, autres modalités d'interaction sans surface d'affichage,...) reste très largement inconnue. Enfin, la conception adaptative ne s'adressant qu'aux seuls sites Internet, il ne peut traiter que les IHM décrites en HTML et requiert de plus une connexion au protocole HTTP et la disponibilité de cette connexion.

On voit ainsi que la seule réduction proportionnelle de l'IHM selon la taille de la surface d'affichage est loin de répondre aux besoins, mais que les adaptations prédéfinies en fonction de la surface d'affichage ne répondent pas non plus au besoin. Le besoin réel est que l'application - ou, plus précisément, l'IHM - soit capable de prendre en compte la situation dans son ensemble - que nous appelons le contexte d'usage - pour optimiser le service rendu en apprenant de l'usage.

L'imprévisibilité du contexte d'usage impose au système d'être capable de raisonner, pendant l'exécution, sur sa propre conception : il ne s'agit plus seulement de percevoir le contexte d'usage et de commuter vers l'IHM préfabriquée la plus appropriée, mais, si nécessaire, d'élaborer une IHM conforme aux besoins de l'utilisateur et compatible du contexte d'usage courant. C'est pour répondre à ces défis que la propriété de *plasticité* a été définie et on voit bien qu'elle met largement à défaut les capacités de la conception adaptative (figure 4).

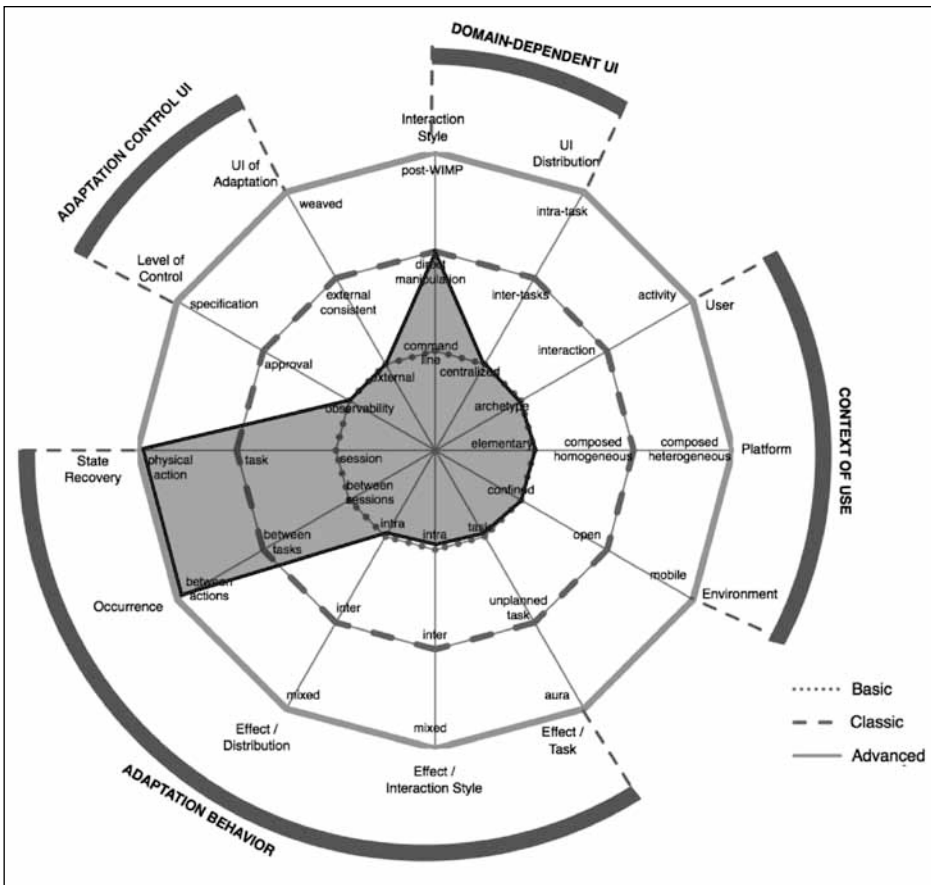
En particulier, en se référant à l'espace problème de la plasticité :

- Sur l'IHM métier, le style d'interaction repose sur les techniques classiques en navigation sur Internet, il s'agit de *manipulation directe*. Il n'y a pas de distribution des interfaces : l'IHM est *centralisée* ;

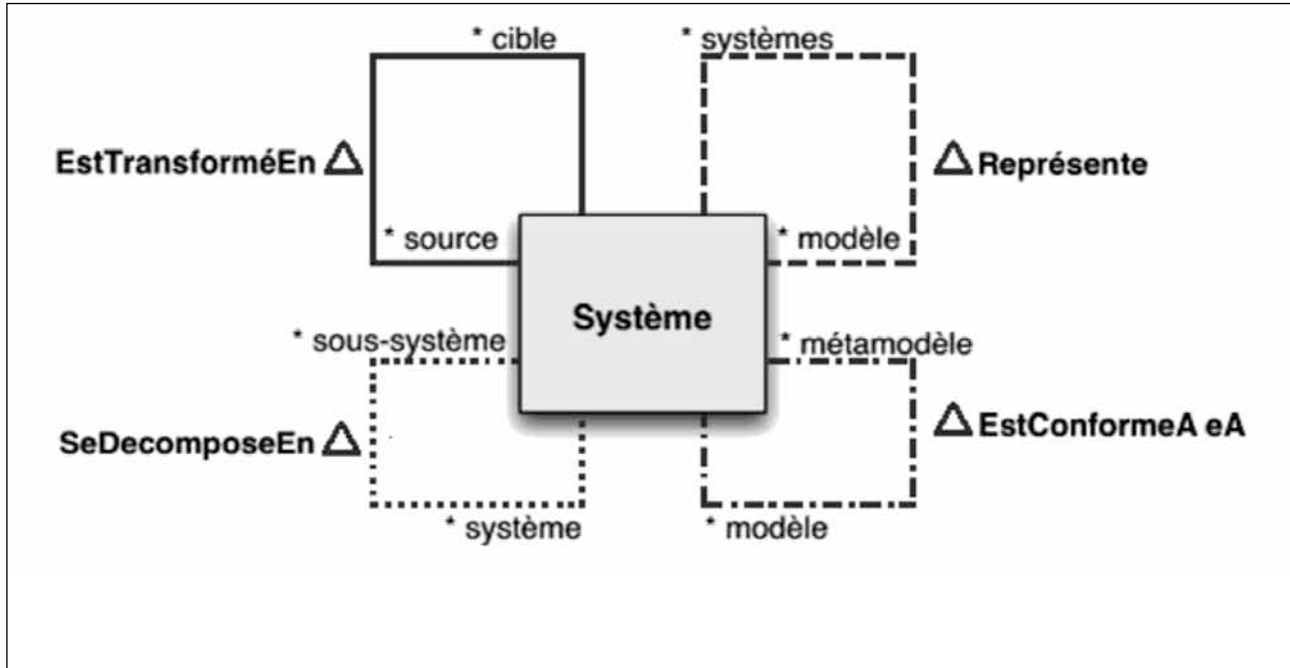
- Dans le contexte, l'utilisateur est *archétypal*, il s'agit en général d'un webmaster et d'un visiteur, des profils plus précis pouvant parfois être gérés (ex. : Google+, où des « cercles » de relations plus ou moins intimes peuvent être définis). La conception adaptative propose une adaptation dynamique en fonction de la surface d'affichage, autrement dit en fonction de la plate-forme. Cependant, cette adaptation ne sait pas prendre en compte la composition de plates-formes, il s'agit donc d'une adaptation *élémentaire*. L'environnement n'est pas pris en compte, il est considéré comme *confiné*.
- Dans les effets de l'adaptation, seules des *tâches* prévues peuvent être traitées ; le style d'interaction reste au niveau de la manipulation directe, l'effet est donc *intra* ; il n'y a pas d'effet sur la distribution, on est au niveau *intra* ici aussi ; l'adaptation peut survenir à tout moment dynamiquement, l'occurrence se situe sur la graduation *actions* ; l'adaptation n'impacte pas l'interaction en cours (il n'y a pas de redistribution dynamique ni de régénération de l'interface), la reprise ne pose aucune difficulté. Le grain de reprise est donc maximal, au niveau de l'*action*.
- L'utilisateur n'a aucun pouvoir sur l'adaptation : il n'est qu'*observateur*. Enfin, il n'y a pas d'IHM d'adaptation, elle peut donc être considérée comme *externe*.

► 2.3 L'Ingénierie Dirigée par les Modèles, fer de lance académique

L'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) a très vite été plébiscitée par le monde académique comme un paradigme de développement logiciel approprié pour la plasticité des IHM. Dans ce paradigme (figure 5 créée par Jean-Marie Favre), tout est système. Certains systèmes peuvent jouer le rôle de Modèles pour d'autres (relation Représente) voire de Métamodèles (relation EstConformeA qui exprime la conformité du système au langage décrit par le métamodèle (c.-à-d., le modèle de langage)). D'un point de vue traitement, un système peut être vu comme l'assemblage de sous-systèmes (relation SeDécomposeEn), chaque (sous-)système pouvant se transformer en d'autres (sous-)systèmes (relation EstTransforméEn).

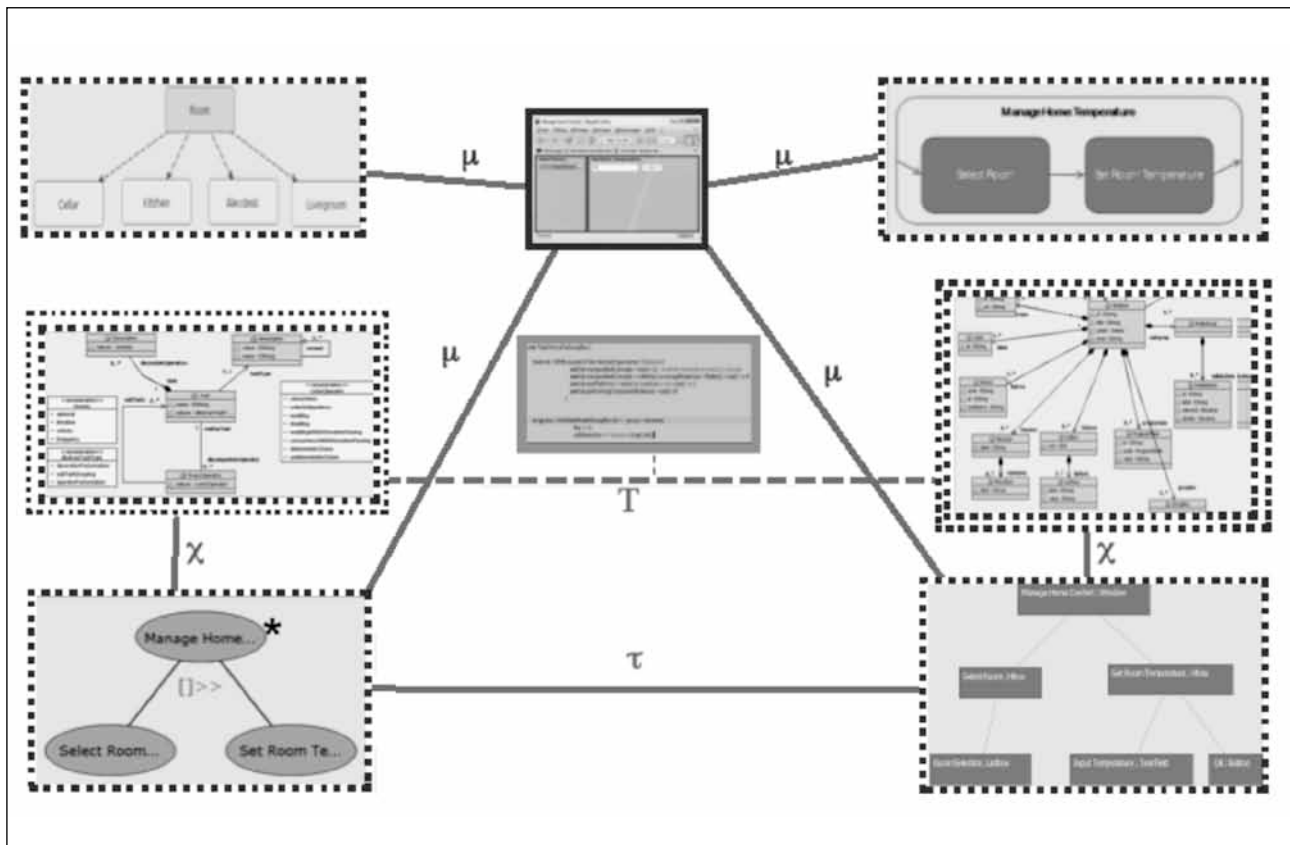


▲ Figure 4 : Caractérisation de la conception adaptative



▲ Figure 5 : Éléments fondamentaux de l'IDM

▼ Figure 6 : Mégamodèle d'IHM [9]



Selon ce paradigme, toute IHM [9] est un système (par exemple, sur la figure 6, l'IHM de gestion de température encadrée d'un rectangle noir continu). Elle peut être décrite (relation Représente notée  $\mu$  sur la figure 6) par un ensemble de modèles (classiquement, les tâches utilisateur, concepts du domaine, espaces de travail et interacteurs – sur la figure 6, ces modèles sont repérés par des rectangles pointillés et placés du bas gauche au bas droit dans le sens des aiguilles d'une montre) conformes à des métamodèles (relation

EstConformeA notée  $\chi$  sur la figure 6 – les métamodèles sont repérés par des rectangles en trait doublement pointillé – à gauche, le métamodèle de tâches ; à droite, le métamodèle d'interacteurs ; les autres ne sont pas représentés par souci de lisibilité), et transformée par des transformations (relation notée petit Tau sur la figure 6) conformes à des métamodèles de transformations (relation  $\tau$  et métamodèle marron sur la figure 6). Le graphe ainsi obtenu est appelé Mégamodèle d'IHM.

Les forces du paradigme sont :

- l'explicitation des connaissances : les IHM sont souvent « magiquement » créées sans que leur rationnel ne soit explicité. L'IDM est un excellent espoir pour démystifier la créativité ;
- les capitalisation et réutilisation des connaissances et compétences : les modèles d'IHM sont des connaissances réutilisables pour d'autres contextes d'usage voire d'autres applications selon une approche compositionnelle (relation SeDécomposeEn) ou transformationnelle (SeTransformeEn). Les transformations sont, quant à elles, des compétences générales, également réutilisables pour d'autres contextes d'usage et d'autres applications ;
- l'opérationnalisation des connaissances : les modèles (dont les transformations et métamodèles) étant explicités, le système peut relayer le concepteur, en particulier, pour des contextes d'usage imprévus [5] mais aussi en phase amont en support à la créativité [6].

Ce paradigme est aujourd'hui appliqué dans le projet Connexion. La section suivante en rapporte les premiers enseignements.

---

### 3 LE GRAND SAUT PAR L'IDM : RETOURS D'EXPÉRIENCE

---

La portée limitée de la conception adaptative nous a incités à confronter les acquis en plasticité des IHM par IDM au système de surveillance des centrales nucléaires. Autant l'approche avait déjà été appliquée à des systèmes réduits, autant elle n'avait encore jamais été appliquée à des systèmes de cette complexité. Nous relatons ici les premières réalisations.

#### ► 3.1 La valeur sûre : le Multi\*

Dans le potentiel de l'approche, c'est le multi-ciblage qui ressort comme valeur sûre :

- Multi-utilisateurs, en particulier, en termes de métiers et d'expertises : pouvoir, à partir d'un même graphe de modèles, générer autant de vues que de métiers différents est une force dans le domaine du nucléaire où de nombreux métiers cohabitent et où la cohérence des vues et des données manipulées dans ces vues est nécessaire pour la sécurité du système. L'idée est de pouvoir diffuser et adapter les vues de surveillance du procédé hors salle de commande en fonction des besoins des différents acteurs de la maintenance ; toutes ces vues restant gérées en configuration avec l'état physique de l'installation. Pouvoir également adapter le degré de guidage de l'utilisateur en fonction de son expertise déclarée ou perçue est une autre force de l'approche, la formation des opérateurs étant longue et délicate ;
- Multi-plates-formes, en particulier, en termes de portées et d'échelles : pouvoir générer autant de variantes d'IHM que de plates-formes et d'usages considérés

est là aussi une force de l'approche pour le projet Connexion où de nouveaux dispositifs sont envisagés en renfort des plates-formes actuelles. Par exemple, une tablette pourrait servir de « lentille magique » pour développer une information insuffisamment détaillée sur l'écran principal. Autre exemple, disposer de bornes d'information afin que les opérateurs de maintenance puissent accéder à l'information juste nécessaire sans pour autant être encombrés par des dispositifs informatiques. Cette génération de vues en différentes portées et échelles est naturellement possible mais requiert la mise à disposition de modèles. Or ces modèles sont aujourd'hui incomplets. Pour exemple, les « fonds de plan » des synoptiques (figure 7) sont des images, compromettant, en conséquence, tout raisonnement de « mise à l'échelle ». Le coût de l'approche est donc la modélisation de tous les éléments composant le fond de plan : vannes, tuyaux, etc. Mais c'est un prix à payer qui semble acceptable étant donné les retours sur investissement pressentis : formation des opérateurs, évolutivité des synoptiques, interopérabilité et bien entendu plasticité ;

- Multi-environnements, en particulier, en termes de luminosité et de bruit : par exemple, dans la salle de surveillance où plusieurs opérateurs collaborent, il est important de réduire les retours sonores.

#### ► 3.2 La valeur convoitée : le Trans précalculé

**Au-delà du Multi\***, les changements dynamiques de contexte d'usage sont une réalité dans le domaine du nucléaire et posent le besoin de plasticité. La piste aujourd'hui envisagée est celle de contextes d'usage et de changements de contextes d'usage totalement prévus à la conception, ne laissant aucune place à l'imprévu pour des raisons de sécurité.

#### ► 3.3 La valeur diabolisée : le Trans dynamiquement calculé

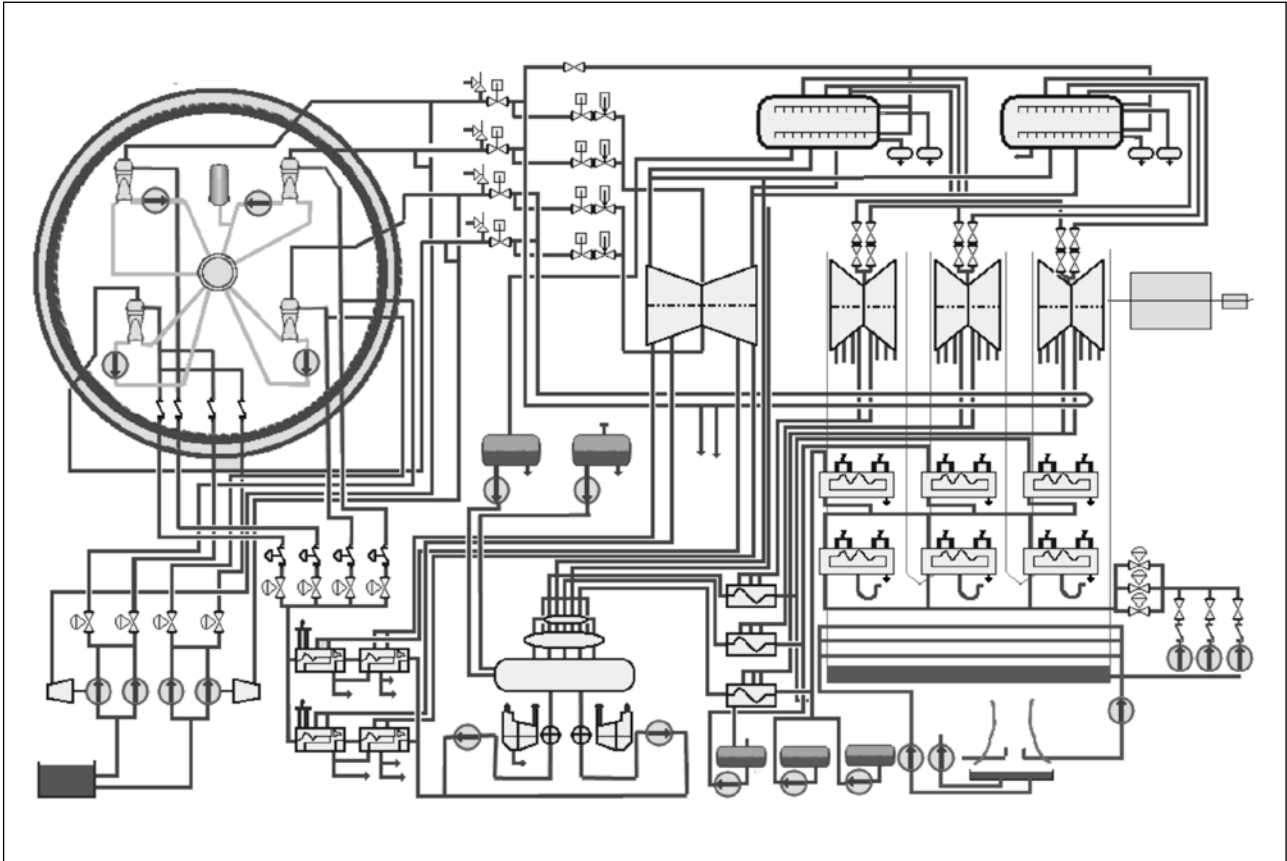
La génération dynamique d'IHM pour faire face à des contextes d'usage non prévus à la conception n'a pas été jugée utile en exploitation. Néanmoins, ce potentiel peut garder sa place en phase de conception pour générer des variantes d'IHM et peut-être inspirer les concepteurs.

---

## 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

L'espace problème de la plasticité montre l'amplitude de l'espace de conception à explorer. Une réduction de cet espace vient des experts métiers qui, par leur connaissance du domaine, éliminent certaines pistes et en plébiscitent d'autres. Ces voies favorites sont en cours de prototypage pour vérifier *in situ* la valeur de ces innovations. Elles montrent néanmoins dès à présent la richesse de l'approche et les limites des ingénieries actuelles.



▲ Figure 7 : Un synoptique de centrale nucléaire (Source : EDF)

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. A. Bier, M. Stone, K. Pier, W. Buxton et T. DeRose : *Toolglass and magic lenses: the see-through interface* ; in Proceedings of SIGGRAPH '93, 2013, pp 73-80.
- [2] G. Calvary, J. Coutaz, D. Thévenin, G. Limbourg, L. Bouillon et J. A. Vanderdonck : *Unifying reference framework for multi-target user interfaces* ; in Interacting With Computers, vol. 15/3, pp 289-308, 2003.
- [3] G. Calvary, A. Serna, J. Coutaz, D. Scapin, F. Pontico et M. Winckler : *Envisioning advanced user interfaces for E-Government applications: A case study* ; in Practical studies in e-government. Best practices from around the world, pp 205-228, 2011.
- [4] J. Coutaz : *Meta-user interfaces for ambient spaces* ; in Proceedings of Tamodia, Hasselt, Belgique, 23-24 octobre 2006.
- [5] A. Garcia Frey, E. Céret, S. Dupuy-Chessa, G. Calvary et Y. Gabillon : *UsiComp: An extensible model-driven composer* ; in Proceedings of the ACM Engineering Interactive Computing Systems (EICS) 2012 Conference, Copenhagen, pp 263-268.
- [6] D. Masson, A. Demeure et G. Calvary : *Examples galleries generated by interactive genetic algorithms* ; Proceedings of the Second Conference on Creativity and Innovation in Design (DESIRE'2011), 19-21 octobre, 2011, Eindhoven, Pays-Bas, ACM, pp 61-71.
- [7] J. Rekimoto : *Pick-and-Drop: A direct manipulation technique for multiple computer environments* ; Proceedings of UIST'97, ACM Press, 1997, pp. 31-39.
- [8] J. Rekimoto et M. Saitoh : *Augmented surfaces: A spatially continuous workspace for hybrid computing environments* ; Proceedings of CHI'99, ACM Press, 1999, pp. 378-385.
- [9] J- S. Sottet : *Méga-IHM : malléabilité des interfaces homme-machine dirigées par les modèles* ; Thèse de doctorat Informatique préparée au Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), Université Joseph Fourier, 2008.
- [10] D. Thévenin et J. Coutaz : *Plasticity of user interfaces: Framework and research agenda* ; in Proceedings of Interact'99, A. Sasse & C. Johnson (réds), IFIP IOS Press Publ., 1999, pp. 110-117.



## Remerciements

Nous remercions chaleureusement le projet d'Investissement d'Avenir Connexion (2012-2016) qui nous offre un cas d'étude réel et exigeant. Nous remercions, en particulier, Catherine Devic d'EDF (coordinateur du projet Connexion) pour sa relecture minutieuse de l'article. Nous la remercions aussi pour son soutien au quotidien ainsi que Marion Viel d'EDF et Danièle Dadolle d'ATOS Grenoble.

## BIOGRAPHIES



**Éric Céret.** Après vingt ans d'expérience industrielle en ingénierie logicielle, il est doctorant au Laboratoire d'Informatique de Grenoble en ingénierie de l'interaction homme-machine. Il effectue ses recherches sur la plasticité des interfaces homme-machine et contribue, sous l'angle de l'ingénierie des méthodes, à la flexibilité des modèles de processus. Il démontre, en particulier, la puissance de cette propriété à l'exécution des processus, comme facilitateur de la plasticité.



**Sophie Dupuy-Chessa.** Maître de Conférences à l'Université Pierre Mendès-France de Grenoble depuis 2002. Elle a obtenu sa thèse en 2000 dans le domaine du génie logiciel, puis elle a effectué deux séjours post-doctoraux : elle a été chargée d'enseignement à l'Université de Genève, puis ingénieur de recherche au Xerox Research Centre Europe. Actuellement, ses centres d'intérêt en recherche portent sur l'ingénierie dirigée par les modèles pour la conception des interfaces homme-machine et des

systèmes d'information. Elle publie dans les domaines de l'interaction homme-machine, des systèmes d'information et du génie logiciel.



**Yann Laurillau.** Maître de Conférences à l'Université Pierre Mendès-France de Grenoble, il effectue sa recherche au sein de l'équipe IIHM du laboratoire LIG. Le thème central de ses travaux est l'IHM et, plus particulièrement, la conception et le développement des systèmes interactifs multi-utilisateurs, autrement appelés collecticiels. C'est un thème développé depuis plus de 10 ans, dès le début de son doctorat. Les résultats sont à la fois conceptuels et techniques par le biais de réalisations logicielles. Les surfaces interactives ainsi que l'interaction gestuelle tangible et la plasticité sont également abordés dans ses travaux de recherche.



**Gaëlle Calvary.** Professeur en Informatique à l'Institut Polytechnique de Grenoble (Grenoble INP). De formation ingénieur en informatique (Ensimag 91), elle a travaillé pendant 8 ans à Thales dans le domaine des radars et des contre-mesures. Elle a ensuite été recrutée comme maître de conférences à l'Université Joseph Fourier (2000-2009) puis est devenue professeur à l'Ensimag, école d'ingénieurs de Grenoble INP. Gaëlle Calvary est chargée de mission « Société du numérique » à Grenoble INP et directrice adjointe du Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), où elle effectue ses recherches. Ses travaux portent sur la plasticité des interfaces homme-machine (IHM). Son but est de fournir des modèles, méthodes et outils pour soutenir le développement d'IHM plastiques. L'approche qu'elle a le plus explorée est l'ingénierie dirigée par les modèles.