

CHAPITRE 1. Systèmes et approche système

Objectif de ce chapitre

Nous étudions dans ce chapitre la notion de *système*. Cette notion de système implique que l'on adopte une vue des choses où il doit être fait abstraction, à titre temporaire, des aspects techniques liés à la nature physique de la réalité étudiée.

De manière générale, on considère un système comme un tout constitué d'un ensemble convenablement structuré de constituants, en particuliers logiciels et matériels, à développer et/ou à acquérir, et qui a pour but de rendre un certain nombre de services. C'est sur cette vision que sont basées les approches méthodologiques de l'intégration de systèmes considérées dans cet ouvrage.

Les éléments indiqués dans ce chapitre concernent bien sûr les systèmes dits « à dominante logicielle », objet de cet ouvrage, où le logiciel est l'élément structurant de l'ensemble du système. Mais on verra que les notions exposées dans ce premier chapitre sont tout à fait génériques, et s'appliquent de manière très générale à tout système, quelles que soient les technologies auxquelles il est fait appel.

Ce premier chapitre présente tout d'abord ce qu'est un système. Il est par ailleurs précisé ce qu'on entend par *système à dominante logicielle*.

On considère ensuite un système dans ses relations avec son environnement, puis le système en tant que porteur d'une certaine finalité d'où doivent découler des services à rendre. Nous considérons également le système dans ses aspects liés au temps, puis enfin dans la relation avec les éléments qui le constituent, sous-systèmes ou composants. Ces différents aspects nous permettront de faire un tour d'horizon de différents points de vue, conduisant à bien appréhender la réalité complexe de ce qu'est un système.

1.1. Les systèmes aujourd'hui

Nous interagissons tout au long de notre journée tant privée que professionnelle avec de nombreux dispositifs technologiques plus ou moins complexes, qualifiés usuellement de « systèmes ». Pour en voir des exemples, il suffit de penser aux domaines des télécommunications, de la distribution d'énergie, des transports, de la santé, etc., ou bien encore aux nombreux ordinateurs personnels et téléphones mobiles. On peut aussi, bien sûr, penser à tous les Systèmes d'Information des entreprises, qui constituent maintenant un élément absolument indispensable au fonctionnement de celles-ci. D'autres systèmes fonctionnent de manière occasionnelle (et sont donc en temps normal « invisibles »), tout en ayant cependant un rôle tout aussi crucial (gestion de crise, sécurité civile, défense, etc.). Beaucoup atteignent aujourd'hui un niveau élevé de complexité.

Tous ces « systèmes » sont des réalisations technologiques plus ou moins complexes, conçues et réalisées par des ingénieurs aux fins de rendre des services bien définis à des usagers. Leur réalisation procède usuellement de l'intégration d'éléments fournis par différents domaines technologiques.

Dans un premier temps, nous définirons simplement un « système »¹ comme un **assemblage cohérent et structuré d'éléments technologiques**, destiné à contribuer à une **finalité** en rendant à des usagers un certain nombre de **services**.

Illustrons ce concept par quelques exemples de systèmes pris dans différents domaines, et symbolisés sur la figure ci-après. Ces exemples ainsi présentés sont 1) un système d'information logistique dans une entreprise, 2) un système de pilotage de production industrielle, 3) un système d'observation du champ de bataille dans le domaine de la Défense, et enfin 4) un système d'information de santé permettant le partage d'un dossier médical entre praticiens. Ce ne sont bien sûr que des exemples, pris de manière totalement arbitraire au sein d'une multitude de systèmes en fonctionnement dans des domaines extrêmement variés.

Au vu de ces exemples, nous pouvons déjà faire à ce stade un certain nombre de remarques. Tout d'abord nous constatons que ces systèmes intègrent des technologies très diverses (parmi lesquelles le logiciel, le matériel informatique, mais aussi l'électronique, la mécanique, les télécommunications radio, etc.). Nous pouvons remarquer également que tous contiennent une part importante de logiciel, pour l'essentiel issu de développements spécifiques. Ce logiciel joue un rôle essentiel, mais sans pour autant que les systèmes se réduisent à ce seul logiciel. Tous les éléments constitutifs, malgré leur « hétérogénéité technologique », devront être intégrés pour constituer un seul et même système.

Pour bien comprendre ce qu'est un système, il faut considérer celui-ci comme **un tout** constitué d'**éléments en interaction**, en gardant à l'idée le fait que c'est *l'ensemble des éléments* de ce « tout » qui, *conjointement, et du fait des interactions*, rend les services attendus. On appelle cela le **principe de totalité** (on rend communément cette idée en disant de manière imagée que « le tout est plus que la somme de parties »). Par exemple, un véhicule automobile est constitué d'un moteur assurant la propulsion, de différents organes mécaniques assurant la transmission, le freinage, etc., auxquels ont adjoint des calculateurs, des réseaux et de nombreux logiciels. De manière générale, c'est bien à tout instant l'ensemble de tous les éléments avec toutes leurs interactions (et non tour à tour un élément individuel) qui rend le service attendu à un usager, à savoir le transporter d'un endroit à un autre.

Un système est donc bien un tout, constitué de différents éléments **et** d'interactions entre ceux-ci, *ne se réduisant donc pas à l'ensemble de ces éléments*. Nous dirons de ces éléments en interaction qu'ils sont les **constituants** du système. Pour un système d'un certain niveau de complexité, ces constituants pourront être eux-mêmes des systèmes, et seront appelés les **sous-systèmes** du système considéré.

¹ « Système » vient du mot latin « systema », qui signifie « assemblage, ensemble cohérent », lui-même issu du grec ancien σύστημα. Nous reviendrons plus précisément sur la notion de système dans la suite de ce chapitre avec des définitions plus précises.

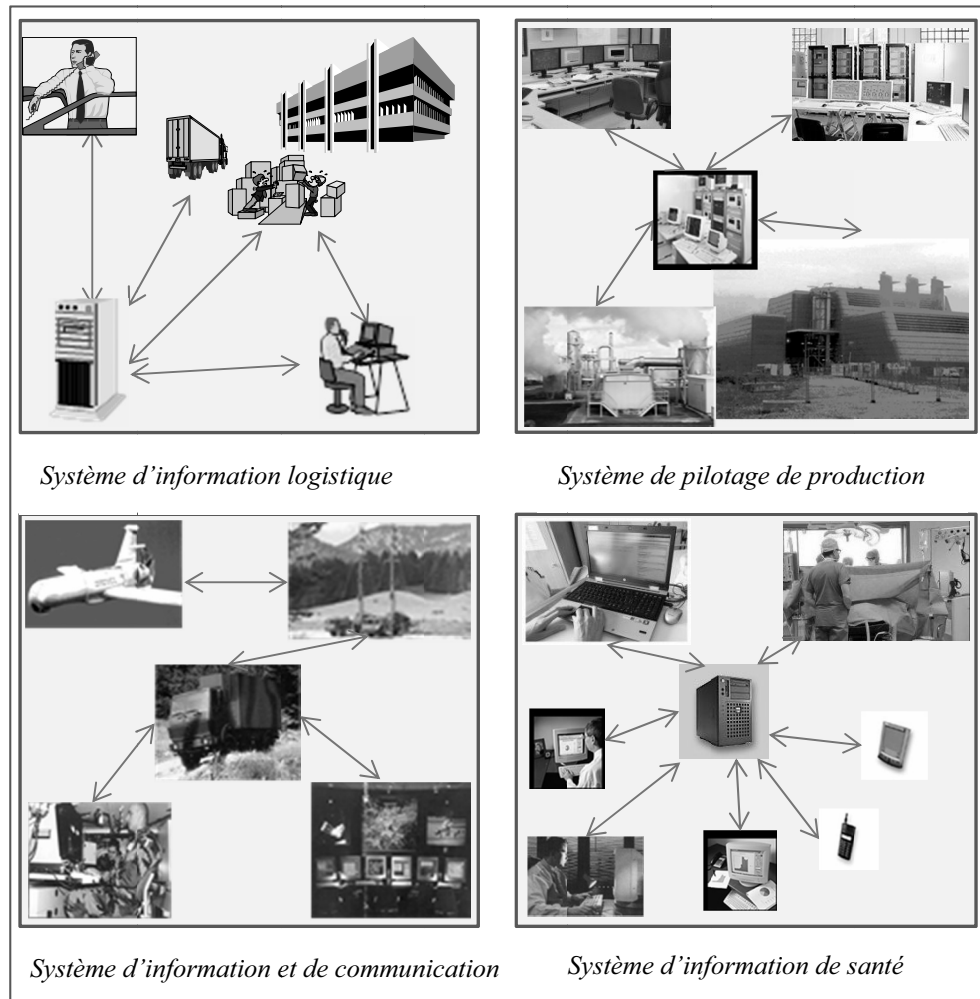


Figure 1. Des exemples de systèmes.

1.2. Les systèmes à dominante logicielle

Le **logiciel** constitue aujourd'hui la composante essentielle d'un très grand nombre de systèmes, que ce soit du point de vue des fonctionnalités offertes (c'est-à-dire assurées du fait de la présence de logiciel) comme en ce qui concerne la part relative de l'effort (et donc de la part relative du coût) consenti pour la réalisation du système. Ce phénomène est en constante progression depuis de nombreuses années. Ainsi, on sait que les équipements personnels de téléphonie contiennent de plus en plus de logiciel alors que ces types de dispositifs n'en contenaient pas à l'origine ! Mais ce n'est qu'un exemple, et l'on constate que c'est tout autant le cas dans beaucoup d'autres domaines.

Dans de très nombreux cas, le logiciel est, de plus, l'élément qui structure l'ensemble du système, et qui permet de « coller » ensemble les différents éléments qui le composent (on dira plutôt « intégrer »). Cela revient à dire que les différents constituants non logiciels du système interagissent via du logiciel. On parle alors de **Systèmes à Dominante Logicielle (S.D.L.)**, ou encore de **systèmes à logiciel prépondérant**, termes équivalents à celui de *Software Intensive System (S.I.S.)*. On emploie aussi souvent plus simplement le terme relativement vague de « Système informatisé ». C'est ce type de système que l'on va considérer dans cet ouvrage.

Exemple. Un véhicule automobile ou un satellite, bien que le logiciel y tienne une place de plus en plus importante, n'est pas un Système à Logiciel Prépondérant (les éléments mécaniques peuvent interagir directement entre eux sans que le logiciel en soit le vecteur). Par contre, un Système d'Information d'Entreprise, ou encore un Système d'Information et de Communication pour la gestion de crises sont bien des S.D.L. Bien que ces systèmes puissent comporter des capteurs ou différents dispositifs physiques périphériques, c'est bien le logiciel qui constitue l'ossature de l'ensemble et qui lie ensemble les constituants autres que logiciels.

De tels **systèmes à dominante logicielle** sont axés sur le traitement, la gestion et la communication de l'information. Le logiciel constitue, comme déjà dit, à la fois *l'élément structurant de l'ensemble, et la majeure partie de l'effort de réalisation.*

Toutefois, si la partie logicielle est prépondérante, un tel système *ne peut bien sûr se réduire pour autant au seul logiciel*. Associé au **logiciel**, il faut du **matériel**, au moins pour exécuter celui-ci, mémoriser les informations, les transmettre, interagir avec l'extérieur. Il faut par ailleurs prendre en compte la présence des **usagers humains** qui tirent profit du système ou interviennent pour piloter son fonctionnement, voire en assurent le support. Dans ce cadre, il faut ainsi considérer d'une part l'ergonomie des Interfaces Homme-Machine (donner à un usager une vision des choses conforme à son propre modèle mental), et d'autre part prendre en compte les éléments liés à l'organisation, avec les contraintes y afférant (procédures d'utilisation, compétences requises, etc.) qui sont autant d'éléments indissociablement liés au système.

Ces différents aspects (logiciel, matériel, humain) sont fortement interdépendants, comme on a tenté de le symboliser sur la figure ci-après. Il faut noter qu'une difficulté importante vient du fait que *ces trois domaines sont régis par des lois très différentes* : le monde de la logique et des algorithmes pour le logiciel, le monde de la physique, régi par des équations différentielles, pour le domaine matériel, et enfin l'univers des phénomènes psychologiques et sociaux pour la relation avec l'humain.

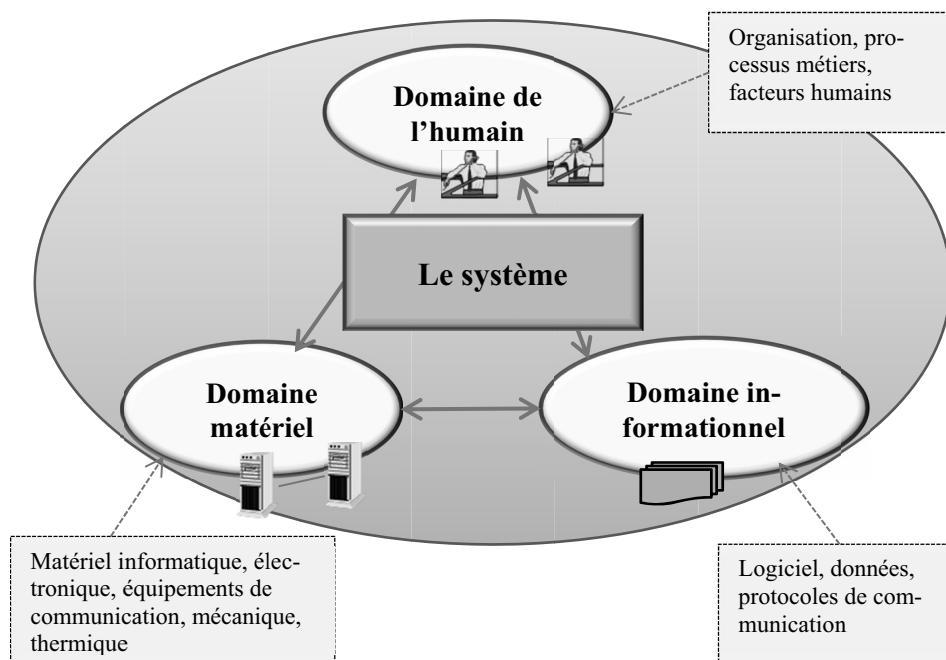


Figure 2. Intégration d'éléments logiciels, matériels et humains.

Nous avons déjà souligné le principe de totalité. Il en résulte en particulier que les différents éléments qui composent un système constituent un tout, qu'il convient de définir de manière cohérente. Par exemple, même si un même logiciel peut s'exécuter sur une multitude d'infrastructures matérielles, on ne peut rien garantir à un usager en termes de performances et de disponibilité du système sans avoir défini un certain nombre de caractéristiques attendues quant à l'infrastructure matérielle d'exécution ! Or, justement, livrer un système à un client, c'est s'engager sur des performances et plus généralement sur une qualité de service spécifiée par avance. Nombreuses sont par ailleurs les contraintes s'appliquant à un système à réaliser (transport, facilité d'utilisation, maintien en conditions opérationnelles, autonomie, etc.) qui font en sorte que le problème de la construction de ce système ne se réduit aucunement au seul problème de conception de logiciel ! Enfin, on notera que dans la quasi-totalité des cas, la plateforme d'exécution ne sera pas constituée d'une machine unique, mais plutôt d'un réseau de machines interconnectées via différents réseaux (réseaux locaux, Internet, ...). Cette organisation géographique et conséquemment matérielle aura bien sûr un impact fort sur la manière d'organiser la partie logicielle du système. La conception du système devra ainsi porter sur l'ensemble des éléments logiciels et non logiciels constituant le système, considéré comme un tout, sachant que c'est bien ce « tout » qui répond au problème posé.

Il s'agit bien ici de définir ce que l'on appellera l'**architecture** du système¹. Il faudra en particulier définir la structuration du futur système en éléments logiciels et matériels, avec

¹ « Architecture » vient du mot latin « architectura », issu du grec ancien ἀρχι τέχνη, de ἀρχή (« arkhe ») **origine** et τέχνη (« tekhnè ») **art, métier**.

leurs interrelations, sans oublier la relation avec les éléments extérieurs au système et en particulier humains.

La démarche de celui qu'on appellera l'« **architecte** » du système va consister à construire, au vu des besoins à couvrir, et dans le respect des contraintes d'un projet, une **organisation**, en identifiant les éléments adéquats déjà existants à **acquérir** ou à **réutiliser** (produits du commerce, éléments déjà développés au titre de projets antérieurs, ...), ainsi que les *éléments* non encore existants qu'il faudra *développer spécifiquement*. De manière générale, une solution correspondant à un besoin donné est donc un assemblage cohérent de composants de natures diverses. Cet assemblage constitue l'*architecture* du système.

En synthèse, il faut donc bien noter que, pour satisfaire un besoin donné, *la vision d'un système à réaliser comme celle d'un simple logiciel à développer n'est donc pas juste*.

L'approche système consiste à considérer la future solution comme un *tout*, que l'on appelle « *système* ». Il importe donc d'abord de bien définir ce système, de manière à permettre, ensuite, la réalisation et/ou l'acquisition des composants identifiés, puis leur intégration en un tout cohérent.

1.3. Qu'est-ce qu'un système ?

La définition d'un système que nous avons adoptée jusqu'ici est celle d'un ensemble d'éléments technologiques en interaction. Dans les exemples présentés ci-avant, les constituants des systèmes sont en effet des éléments conçus par l'homme dans le cadre de différents savoir-faire technologiques.

Les systèmes ainsi considérés sont des systèmes dits « *ingéniérés* »¹, en ce sens que leurs existences résultent d'une activité humaine d'ingénierie, dotée d'une finalité. Ce sont de tels systèmes qui intéressent en premier lieu l'ingénieur.

1.3.1. Une vision générale

Toutefois, on peut adopter une vision plus générale de la notion de système en considérant non plus seulement des artefacts résultant de l'industrie de l'homme, mais également tout objet ou ensemble d'objets en interaction trouvés dans la nature.

On considère ainsi les *systèmes physico-chimiques* (par exemple un gaz dans un récipient, une chute d'eau, l'atmosphère, le système solaire, etc.). On considère aussi les *systèmes biologiques*, régis par les lois du vivant (un organisme mono cellulaire, une plante, ..., un être humain). Ces sont là les *systèmes naturels*². On notera que la notion de finalité intentionnelle considérée dans les systèmes précédents ne peut plus ici être définie de manière objective, soit même n'a plus de sens³.

¹ « Ingéniéré », au sens de « résultat d'un processus d'ingénierie ». Nous utilisons ce terme en référence au terme anglo-saxon « engineered ».

² Certains auteurs étendent de plus la notion de système « naturel » à des entités abstraites, par exemple en logique, en mathématiques, en linguistique (un système logique, une langue, les nombres réels, ...).

³ On notera que, dans le cas des systèmes physico-chimiques régis par des équations susceptibles de se ramener à la minimisation d'une fonction (tel un potentiel), on a l'équivalent formel d'une finalité, mais sans que l'intentionnalité puisse avoir de sens, ces systèmes n'étant pas ingéniérés.

On considère enfin les systèmes « sociaux », constitués par des organisations de personnes, considérées non plus en tant qu'êtres biologiques mais cette fois en tant qu'acteurs sociaux. Ce sera par exemple une entreprise, une région, une économie nationale, etc. Dans ce cas, le concept de finalité est susceptible, a priori, de garder un sens, mais il n'en va pas nécessairement toujours ainsi.

Ainsi, une entreprise, ou plus généralement une organisation, est créée dans un but donné (défini par exemple par la raison sociale de l'entreprise). Il existe une finalité claire, même si, bien sûr, celle-ci n'est pas nécessairement définie avec précision, et reste susceptible d'évolution. Par contre, la notion de finalité peut perdre son sens dans le cadre d'organisations dont le processus de constitution est plus complexe et résulte d'un processus moins clairement contrôlé, voire non contrôlé (par exemple une ville, une communauté nationale, ...). Un tel système social s'apparente alors pour partie à un système naturel et pour partie à un système artificiel.

La figure ci-après présente une typologie où figurent les différents types de systèmes considérés ci-dessus. La conception des systèmes technologiques relèvera de la discipline appelée **Ingénierie des Systèmes**. La conception des systèmes sociaux relèvera quant à elle des sciences de l'organisation.

Le présent ouvrage concerne *l'application de la démarche d'Ingénierie des Systèmes à la classe particulière de systèmes technologiques constituée par les systèmes à dominante logicielle*.

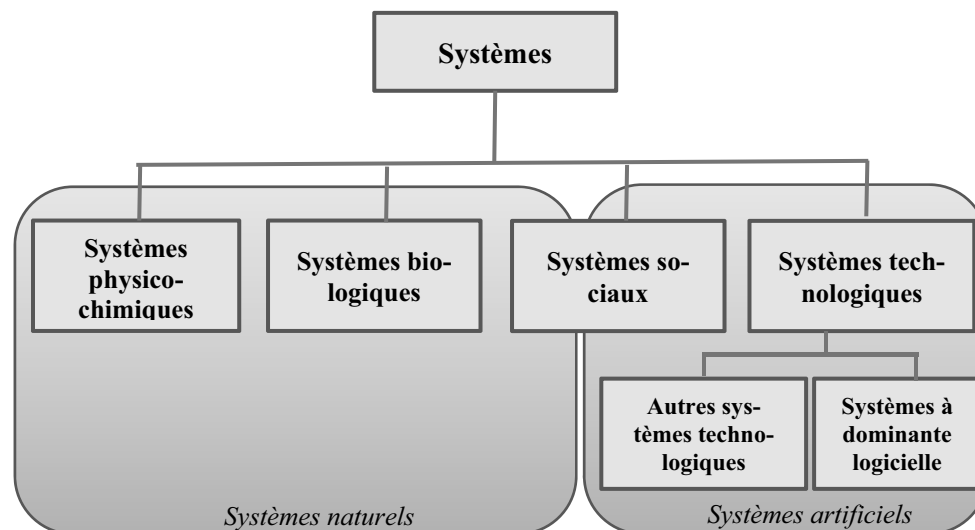


Figure 3. Différents types de systèmes.

1.3.2. Un système est une abstraction

Il convient de remarquer qu'un système tel que perçu par un observateur humain ne coïncide pas, ou plutôt pas exactement, avec la réalité concrète qui le sous-tend. Expliquons-nous sur ce point. Dans un premier temps, cet observateur humain donne à un certain ensemble d'objets ou d'êtres vivants le qualificatif de « système », en isolant par la pensée

ces entités du reste du monde, et en décidant de l'étudier comme un tout. Mais dans un tel système, le plus souvent, il ne peut être question de prendre en considération l'intégralité des caractéristiques physiques et des propriétés attachées aux éléments présents, ni tous les phénomènes physiques entrant en jeu. L'observateur s'intéresse *donc à certains aspects de la réalité physique* qui correspondent à son intérêt et qui lui semblent, en première approximation au moins, relativement indépendants des autres.

Un système est donc avant tout une *abstraction*. Ainsi, seules certaines propriétés vont intéresser l'observateur, à l'exclusion d'autres (en général, dans la pratique, on ne pourrait d'ailleurs de toute façon pas les considérer toutes de manière exhaustive). Par exemple, pour l'étude d'un système mécanique, on va s'intéresser à des propriétés telles que la position et la vitesse d'un organe, etc., en fonction des sollicitations qu'on lui applique, mais pas à des propriétés telles que l'état bactériologique ou les modifications chimiques de la surface du métal. On suppose ici que ces derniers aspects sont sans influence, ou d'une influence très faible donc négligeable, sur les propriétés qui ont un sens pour nous dans notre contexte, à savoir la position et la vitesse des organes. Bien sûr, ceci n'est peut-être vrai que dans un horizon de temps déterminé ou encore sous certaines conditions, et il faudra être conscient de ces limites.

Pour l'étude d'un système social comme une ville par exemple, on pourra s'intéresser à des aspects macroscopiques reflétant les activités économiques, la répartition et la densité de population par quartier, leurs évolutions, etc., sans s'intéresser aux aspects afférant à chaque individu en particulier, ce qui serait quasi impossible en pratique, et totalement inefficace dans une optique d'extrapolation par exemple.

De même, le fait de considérer des systèmes sociaux revient à ne considérer les êtres humains que sous leur aspect d'êtres « sociaux », alors qu'ils sont à la base des êtres biologiques. C'est encore un exemple de l'abstraction posée par hypothèse dans la définition même du système considéré.

1.3.3. D'autres types de systèmes

Nous avons considéré à ce stade les systèmes homogènes du point de vue de leur nature, c'est-à-dire constitués d'éléments physico-chimiques uniquement, d'éléments biologiques uniquement, de personnes uniquement, et enfin d'éléments technologiques uniquement.

Mais le concept de système s'applique aussi, bien sûr, à des ensembles intégrant différentes natures de constituants. Par exemple un écosystème contient des végétaux et des êtres vivants (biologie), mais aussi des sols et une atmosphère (constituants physico-chimiques) avec lesquels les êtres vivants ont des échanges, c'est-à-dire une interaction en tant que constituants d'un même système.

Les **systèmes sociotechniques** sont des systèmes dans lesquels on va trouver d'une part une organisation d'êtres humains, et d'autre part des éléments technologiques venant en support, leur deux fonctionnant en forte intégration. C'est le cas des entreprises et des nombreux systèmes qui fournissent des services. Typiquement, on y automatise le plus d'opérations possibles pour des raisons d'efficacité, mais l'humain reste indispensable pour certaines tâches, impliquant en particulier une décision, une expertise, ou encore une activité physique délicate. Néanmoins l'ensemble forme logiquement *un* système. On peut aussi penser aux systèmes utilisés dans la chaîne du Renseignement, où des sous-systèmes totalement automatisés avec capteurs et traitement de l'information interagissent et coopè-