

Introduction aux systèmes informatiques

Introduction aux systèmes informatiques

Architectures, composants,
mise en œuvre


Jacques Lonchamp

Professeur des universités en informatique

DUNOD

Toutes les marques citées dans cet ouvrage
sont des marques déposées par leurs propriétaires respectifs.

Illustration de couverture :
© Julien Eichinger – Fotolia.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>		<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--	--

© Dunod, 2017
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-075944-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

AVANT-PROPOS	XI
CHAPITRE 1 • LES SYSTÈMES INFORMATIQUES	
1.1 Définition et classification	1
1.2 Les systèmes informatiques personnels	2
1.3 Les systèmes informatiques d'organisation	3
1.4 Les systèmes informatiques de contrôle et commande	6
Exercices	10
CHAPITRE 2 • L'ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME INFORMATIQUE	
2.1 Les architectures en couches	11
2.2 L'architecture de référence	12
2.3 Des exemples d'architectures concrètes	14
Exercices	18
PARTIE 1	
LES COUCHES BASSES	
CHAPITRE 3 • LES UNITÉS ET SYSTÈMES DE STOCKAGE	
3.1 Les unités de stockage	21
3.2 Les systèmes de stockage	28
Exercices	33
CHAPITRE 4 • LES UNITÉS ET SYSTÈMES DE TRAITEMENT	
4.1 L'unité centrale de traitement	35
4.2 Les systèmes de traitement	43
Exercices	49
CHAPITRE 5 • LES UNITÉS ET SYSTÈMES DE COMMUNICATION	
5.1 Les entrées/sorties	51
5.2 Les réseaux	53
5.3 Les systèmes de communication	61
Exercices	69

CHAPITRE 6 • REPRÉSENTATION, CODAGE ET NUMÉRISATION

6.1	Les données en machine	71
6.2	Rappels sur les systèmes de numération	71
6.3	La représentation des entiers naturels (\mathbb{N})	73
6.4	La représentation des dates	74
6.5	La représentation des entiers relatifs (\mathbb{Z})	75
6.6	La représentation des réels (\mathbb{R})	78
6.7	Le codage des caractères	81
6.8	La numérisation du son	83
6.9	La numérisation des images	84
6.10	La numérisation de la vidéo	87
6.11	Les codes détecteurs et correcteurs	88
6.12	Les codes d'identification des objets	89
	Exercices	91

PARTIE 2**LA COUCHE SYSTÈME/RÉSEAU****CHAPITRE 7 • LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION**

7.1	Définition et classification	97
7.2	Les fonctions des systèmes d'exploitation	99
7.3	La famille des systèmes de type Unix	99
7.4	Les outils de développement	102
	Exercices	106

CHAPITRE 8 • LA GESTION DES ACTIVITÉS

8.1	Le concept de processus	107
8.2	La gestion des processus en <i>shell</i>	112
	Exercices	115

CHAPITRE 9 • LA GESTION DES DONNÉES PERSISTANTES

9.1	Le concept de fichier	117
9.2	La gestion des fichiers en <i>shell</i>	120
	Exercices	125

CHAPITRE 10 • LA GESTION DES COMMUNICATIONS

10.1	La diversité des formes de communication	127
10.2	La gestion des communications en <i>shell</i>	131
	Exercices	133

CHAPITRE 11 • LA GESTION DE LA SÉCURITÉ

11.1 Les concepts de base de la sécurité	135
11.2 La gestion de la sécurité en <i>shell</i>	136
11.3 Des concepts de sécurité avancés	138
Exercices	140

CHAPITRE 12 • LA PROGRAMMATION *SHELL*

12.1 Interpréteur, environnement, alias	141
12.2 Le langage <i>bash</i>	142
12.3 Des exemples de scripts <i>bash</i>	150
Exercices	152

CHAPITRE 13 • INSTALLATION ET CONFIGURATION D'UN SYSTÈME

13.1 L'amorçage du système	155
13.2 La définition des partitions	156
13.3 Le choix du ou des systèmes de fichiers	157
13.4 L'installation des paquets	158
13.5 Le choix du gestionnaire d'amorçage	159
13.6 La configuration initiale du système	160
Exercices	161

**PARTIE 3
LES COUCHES HAUTES****CHAPITRE 14 • LES APPLICATIONS RÉSEAU**

14.1 Présentation des applications réseau	165
14.2 Les architectures des applications réseau	165
14.3 Les architectures des serveurs	166
14.4 Les principales applications réseau	167
Exercices	168

CHAPITRE 15 • LES APPLICATIONS DE TRANSFERT DE FICHIERS

15.1 Le transfert de fichiers	169
15.2 Le protocole FTP	170
15.3 La pratique de FTP	171
Exercices	174

CHAPITRE 16 • LES APPLICATIONS DE CONNEXION À DISTANCE

16.1	La connexion à distance	175
16.2	Le protocole Telnet	176
16.3	La pratique de Telnet	177
16.4	Le protocole SSH	178
16.5	La pratique de SSH	180
	Exercices	183

CHAPITRE 17 • LES APPLICATIONS D'ACCÈS AUX FICHIERS DISTANTS

17.1	L'accès aux fichiers distants	185
17.2	Le protocole NFS	185
17.3	La pratique de NFS	187
17.4	Le protocole SMB	188
17.5	La pratique de Samba	189
	Exercices	191

CHAPITRE 18 • LES APPLICATIONS DE GESTION D'ANNUAIRES

18.1	Les annuaires	193
18.2	Le partage des données système avec NIS	194
18.3	La résolution des noms avec DNS	194
18.4	Les systèmes d'annuaire normalisés LDAP	198
	Exercices	204

CHAPITRE 19 • LES APPLICATIONS DE CONFIGURATION AUTOMATIQUE

19.1	La configuration automatique	205
19.2	Le protocole DHCP	205
19.3	La pratique de DHCP	206
	Exercices	208

CHAPITRE 20 • LES APPLICATIONS DE MESSAGERIE

20.1	La diversité des applications	209
20.2	Le courrier électronique	210
20.3	La pratique du courrier électronique	216
	Exercices	218

CHAPITRE 21 • LE WEB

21.1	Les constituants de base du web	219
21.2	La désignation des ressources	220
21.3	Le protocole HTTP	221
21.4	Le langage HTML	224

21.5 La pratique du web	227
Exercices	232
CHAPITRE 22 • LA COUCHE DISTRIBUTION – LES INTERGICIELS	
22.1 Les applications distribuées	233
22.2 Les intergiciels ou <i>middlewares</i>	234
22.3 Les intergiciels à appels distants	234
22.4 Les intergiciels à messages	237
22.5 Les intergiciels à composants distribués	240
22.6 Les intergiciels pour les services web	244
22.7 Les tendances nouvelles	249
Exercices	252
CORRIGÉS DES EXERCICES	255
ANNEXE 1 : LE CODE ASCII	285
ANNEXE 2 : MÉMENTO UNIX	289
BIBLIOGRAPHIE	293
INDEX	295

Avant-propos

LA GENÈSE

Les systèmes informatiques actuels ne se résument plus aux seuls ordinateurs traditionnels. Durant les deux dernières décennies, ils se sont considérablement complexifiés et diversifiés.

À partir de ce premier constat, un certain consensus s'est dégagé lors d'une réflexion nationale sur l'enseignement de l'informatique pour spécialistes, sur l'intérêt de présenter, dès le début de ces formations, les systèmes informatiques d'aujourd'hui dans toute leur complexité et leur diversité. Cette approche « globale » consiste, par exemple, à lier la description de ce qu'est un disque magnétique au niveau matériel aux architectures de stockage de « haut niveau », que sont le RAID, les NAS, les SAN et le stockage sur le cloud, avec des questionnements généraux sur les atouts et les limites de ces solutions.

Le second constat, portant sur les cursus traditionnels, met au contraire en évidence :

- (1) Le côté très cloisonné et très « bas niveau » des thèmes abordés en début de formation : représentation des données, algèbre de Boole et circuits logiques, composants matériels des ordinateurs, programmation assembleur, signaux et transmission des données, etc.
- (2) L'absence de lien avec ce que pratiquent les étudiants, comme les réseaux sociaux, le streaming de vidéos, les jeux en réseau, etc., et avec ce qui peut les motiver à se diriger vers les métiers de l'informatique et du numérique, comme le développement web et mobile, l'administration des machines et des réseaux, les systèmes intelligents et les robots, etc.

LES OBJECTIFS

Le fait de donner rapidement aux étudiants une vision réaliste des systèmes informatiques permet d'accélérer la mise en contact avec le milieu professionnel, qu'il s'agisse de la consultation de sites et de documents spécialisés ou d'échanges directs avec des informaticiens. Il devient également plus aisé d'expliquer la finalité de certains enseignements de début de cursus, souvent jugés rébarbatifs. Par exemple, programmer des scripts *shell* à la syntaxe souvent déroutante ou ingurgiter, couche par couche, les concepts, protocoles et technologies des réseaux, peuvent être mieux acceptés comme des ingrédients indispensables aux tâches d'administration de systèmes complexes. À condition que cette complexité, dont les étudiants ont rarement conscience à l'origine, leur soit très concrètement présentée.

Afin de conserver une taille raisonnable à un tel module de présentation globale des systèmes informatiques, certains thèmes classiques se voient nécessairement attribuer une priorité beaucoup plus faible que dans le passé. C'est le cas par exemple de la conception des circuits logiques ou de la programmation en langage assembleur. Ces thèmes peuvent rester simplement effleurés, comme c'est le cas dans cet ouvrage, ou faire l'objet d'enseignements ultérieurs de spécialisation, si des besoins spécifiques existent dans un contexte donné.

Cette évolution des priorités permet d'introduire rapidement des thèmes aujourd'hui majeurs, comme les architectures distribuées des systèmes informatiques ou les questions de sécurité et de sûreté de ces systèmes.

Le nouveau Programme pédagogique national du DUT informatique contient un module de premier semestre, nommé « Introduction aux systèmes informatiques », qui va dans ce sens, en proposant le large éventail de thèmes suivant ([MES13]) :

- Codage de l'information : nombres et caractères. Arithmétique et traitements associés.
- Architecture générale d'un système informatique.
- Types et caractéristiques des systèmes d'exploitation.
- Utilisation d'applications clientes réseau : messagerie, transfert de fichiers, terminal virtuel, répertoires partagés.
- Langage de commande : commandes de base, introduction à la programmation des scripts.
- Gestion des processus (création, destruction, suivi, etc.), des fichiers (types, droits, etc.) et des utilisateurs (caractéristiques, création, suppression, etc.).
- Principes de l'installation et de la configuration d'un système.

Le présent ouvrage est une contribution à la présentation globale des systèmes informatiques actuels, dès le début d'un cursus de formation, un peu plus systématique et ambitieuse que celle décrite dans le programme précédent.

Cet enseignement doit bien entendu être prolongé par les modules d'approfondissement classiques consacrés aux systèmes d'exploitation, aux réseaux, aux systèmes distribués, etc., qui permettent de passer d'une vision essentiellement conceptuelle et externe à une vision technique et interne, indispensable aux futurs professionnels de l'informatique.

L'APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Chaque partie de l'ouvrage est centrée sur une couche ou un regroupement de couches de l'architecture de référence des systèmes informatiques, présentée dans le deuxième chapitre introductif, à savoir les couches basses, la couche système/réseau et les couches hautes.

Chaque partie comprend un ensemble de chapitres avec des objectifs complémentaires. Un ou plusieurs chapitres présentent les connaissances conceptuelles et de culture générale permettant de comprendre la couche considérée. Un ou plusieurs chapitres sont destinés à l'acquisition de compétences pratiques de base en liaison avec la couche considérée.

Il faut souligner que, dans cet enseignement introductif, la couche système/réseau et les couches hautes sont considérées prioritairement du point de vue externe de l'utilisateur, comme un ensemble de services à comprendre et à maîtriser dans leurs aspects essentiels.

À la fin de chaque chapitre, une série d'exercices corrigés, sur les aspects conceptuels et pratiques, est proposée. L'ouvrage en propose pas moins de 110 au total. Beaucoup de ces exercices ont été glanés sur le web et retravaillés. Que leurs auteurs originaux, souvent impossibles à déterminer, soient ici remerciés collectivement.

Les enseignements d'introduction aux systèmes informatiques de toutes les formations spécialisées en informatique, comme les premières années de DUT informatique, de licence informatique, d'école d'ingénieurs en informatique, peuvent s'appuyer sur le contenu de cet ouvrage, en l'élaguant au besoin.

LE PLAN DE L'OUVRAGE

Les chapitres introductifs

Le chapitre 1 définit les systèmes informatiques et en propose une première classification en systèmes personnels, systèmes d'organisation et systèmes de contrôle et commande.

Le chapitre 2 décrit l'architecture des systèmes informatiques comme un ensemble de couches et illustre cette architecture de référence à l'aide de plusieurs exemples concrets : systèmes enfouis élémentaires, équipements mobiles sous Android, solutions de virtualisation des systèmes.

La première partie : les couches basses

Le chapitre 3 présente les moyens de base de stockage des données, ce qui est souvent appelé la « hiérarchie des mémoires », ainsi que les systèmes de stockage plus élaborés que l'on peut trouver aujourd'hui : RAID, NAS, SAN, stockage sur le cloud.

Le chapitre 4 décrit les unités de traitement (CPU) et les systèmes de traitement plus élaborés : processeurs multicœurs, clusters et grilles, systèmes redondants et à équilibrage de charge. La présentation des unités de traitement aborde leur structure, leur fonctionnement, et succinctement leur programmation (langage machine et d'assemblage), leur implantation (circuits logiques et physiques) et les techniques d'amélioration des performances (vitesse d'horloge, cache, pipeline, superscalaire).

Le chapitre 5 est consacré aux unités et systèmes de communication, ce qui recouvre les entrées/sortie et les réseaux. Le chapitre commence par les différents types d'entrée/sortie et d'unités ou contrôleurs associés. Puis, il donne les définitions générales sur les réseaux, présente les modèles en couches OSI et TCP/IP, ainsi que les protocoles et unités matérielles de chaque couche. Il se termine par la présentation des systèmes complexes de communication, ce qui comprend les réseaux domestiques, les réseaux d'entreprise, le réseau Internet, les réseaux sans fils à stations de base, maillés et *ad hoc* et l'Internet des objets.

Le chapitre 6 aborde d'un point de vue pratique la représentation de toutes les formes de données en machine : représentation des nombres et des dates, codification des caractères, numérisation des sons, images et vidéos. Sont aussi abordées les questions de détection et correction des erreurs et d'identification des objets dans le cadre de l'Internet des objets.

La deuxième partie : la couche système/réseau

Le chapitre 7 présente les systèmes d'exploitation et leurs fonctions. La famille de systèmes de type Unix est plus particulièrement décrite, avec son historique, ses caractéristiques et son architecture. Sont aussi abordés les outils pour le développement des programmes.

Le chapitre 8 approfondit sur un plan conceptuel et pratique la gestion des activités : processus, états des processus, entrées/sorties des processus, filtres, etc.

Le chapitre 9 approfondit de la même manière, la gestion des données persistantes : fichiers, répertoires, arborescence standard, chemins d'accès, fonctions de recherche et remplacement, expressions régulières, etc.

Le chapitre 10 fait de même pour ce qui concerne la gestion des communications sous toutes leurs formes : entre processus d'une même machine, entre processus distribués sur le réseau, entre l'homme et la machine (X Window).

Le chapitre 11 aborde la gestion de la sécurité des systèmes : notions d'utilisateur, de groupe, de droit d'accès et concepts plus avancés (SUID, GUID, *sticky bit*, *sudo*, etc.).

Le chapitre 12 est dédié à la pratique de la programmation *shell*. Les principales notions du langage *bash* sont présentées et quelques scripts complets illustrent son utilisation.

Le chapitre 13 décrit les étapes principales de l'installation d'un système de type Unix, guidée par un programme d'installation : amorçage, définition des partitions, choix du ou des systèmes de fichiers, installation des paquets, configuration du gestionnaire d'amorçage, configuration initiale du système.

La troisième partie : les couches hautes

Le chapitre 14 introduit les applications réseau client/serveur sur Internet.

Les chapitres 15 à 21 décrivent chacun une classe d'applications réseau, au niveau des concepts et des compétences pratiques de base :

- Chapitre 15 : Le transfert de fichiers, avec FTP.
- Chapitre 16 : Les connexions à distance, avec Telnet et SSH.
- Chapitre 17 : L'accès aux fichiers distants, avec NFS et SMB/Samba.

- Chapitre 18 : Les annuaires avec NIS, DNS et LDAP.
- Chapitre 19 : La configuration automatique des systèmes, avec DHCP.
- Chapitre 20 : Les messageries, essentiellement le courrier électronique, avec SMTP, POP et IMAP.
- Chapitre 21 : Le web, avec les URI, HTTP, HTML et les logiciels qui s’y rapportent.

Le chapitre 22 introduit les applications distribuées et les différentes formes d’infrastructures qui les accueillent : intergiciels ou *middlewares* à appels distants (RPC, RMI), à messages (JMS), à composants distribués (JEE), pour les services web (XML, acteurs et protocoles).

Les compléments

Les corrigés de tous les exercices et deux annexes, la table du code ASCII et un mémento des cent commandes de base des systèmes de type Unix, terminent l’ouvrage.

Chapitre 1

Les systèmes informatiques

1.1 DÉFINITION ET CLASSIFICATION

Un système informatique est un ensemble de moyens informatiques et de télécommunications, matériels et logiciels, ayant pour finalité de collecter, traiter, stocker, acheminer et présenter des données.

Les concepts de système informatique et d'ordinateur ne doivent pas être confondus. L'ordinateur n'est que l'un des composants, certes central, des systèmes informatiques. Il en existe beaucoup d'autres, parmi lesquels on peut citer les matériels réseau, les capteurs et actionneurs, les machines spécialisées (*appliances*), comme les guichets automatiques bancaires ou les boîtiers de stockage en réseau, les robots, les smartphones, les cartes à puce (*smartcards*), etc.

Un ordinateur est une machine de traitement automatique des données selon un programme enregistré en mémoire. Il comporte un ou des processeurs, une mémoire et des périphériques d'entrée, de sortie et de stockage. Les programmes sont nécessairement exprimés dans le langage machine propre au processeur qui les exécute, en général suite à une traduction depuis un langage de programmation plus pratique à utiliser. Le système d'exploitation est le logiciel qui facilite et optimise l'utilisation du matériel ainsi que la mise en œuvre des programmes. Tous ces éléments seront décrits en détail dans les chapitres qui suivent.

Il existe aujourd'hui une très grande diversité d'ordinateurs. Du plus petit, le microcontrôleur, qui tient en totalité sur une puce électronique d'un centimètre carré, jusqu'au plus puissant,

le supercalculateur, dont certains comportent des centaines de milliers de processeurs afin de traiter d'énormes volumes de données.

La figure 1.1 résume les relations entre processeur, ordinateur et système informatique.

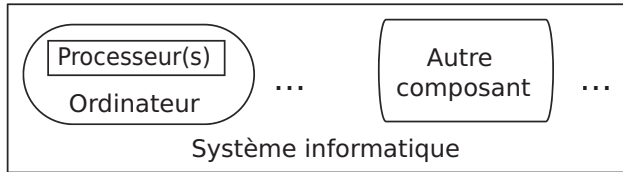


FIGURE 1.1 Processeur, ordinateur et système informatique

Le présent ouvrage est une introduction aux systèmes informatiques, à leur architecture et leurs composants, à leur configuration et leur utilisation. La suite de ce chapitre introductif montre que les systèmes informatiques prennent de nos jours des formes extrêmement variées selon le contexte dans lequel ils s'insèrent. On peut distinguer, en première approximation, les systèmes informatiques personnels, les systèmes informatiques d'organisation et les systèmes informatiques de contrôle et commande. Chacune de ces catégories principales est analysée et éventuellement affinée dans les paragraphes qui suivent.

1.2 LES SYSTÈMES INFORMATIQUES PERSONNELS

Un système informatique personnel a pour but de rendre des services, utilitaires ou ludiques, à son possesseur. Il peut comporter différents matériels, connectés de façon permanente ou non, comme :

- des ordinateurs personnels, qui se déclinent en ordinateur de bureau (PC pour *Personal Computer*), ordinateur portable, tablette, assistant personnel,
- des équipements périphériques (imprimante, scanner, etc.),
- des équipements de transmission de données (modem, switch, box Internet, etc.),
- des matériels plus spécialisés, comme les consoles de jeu ou les équipements de domotique (habitat intelligent),
- des équipements terminaux de systèmes externes, comme les smartphones en téléphonie.

L'architecture des réseaux domestiques qui connectent les divers composants des systèmes informatiques personnels sera étudiée ultérieurement au paragraphe 5.3.1 On peut souligner dès à présent que les systèmes informatiques personnels sont le plus souvent connectés au réseau Internet *via* la box que fournit le fournisseur d'accès Internet (FAI). Cette box est également l'élément clé de la convergence informatique/téléphone/télévision.

Les systèmes informatiques personnels constituent bien entendu la partie la plus visible et la mieux connue par le public non spécialiste des systèmes informatiques. Parmi les nombreux services grand public qu'ils offrent, on peut citer :

- la navigation sur le web,
- les messageries et les réseaux sociaux,
- les jeux individuels ou en réseau,
- la bureautique, avec le calcul (par exemple, *via* un logiciel tableur), le traitement de texte, la gestion des données personnelles, etc.,
- le multimédia, avec la retouche d'images, le traitement du son, le montage vidéo, la réception et la diffusion de flux de vidéo ou de musique (streaming), etc.

1.3 LES SYSTÈMES INFORMATIQUES D'ORGANISATION

1.3.1 Les composants

Les systèmes informatiques d'organisation sont hébergés au sein des organisations de toute nature que sont les entreprises, les associations, les administrations, les laboratoires de recherche, etc. Ils comprennent une grande diversité de composants :

- tout d'abord des ordinateurs, comme des postes de travail, des serveurs d'applications, des serveurs de données, des grappes de machines (*cluster*), des supercalculateurs, etc.,
- ensuite, beaucoup d'autres équipements de traitement et de transmission de données, comme des capteurs et actionneurs, des concentrateurs, commutateurs et routeurs, des robots, des machines dédiées, etc.,
- enfin des réseaux, soit locaux à l'échelle d'un bâtiment – LAN pour *Local Area Network* –, soit métropolitains à l'échelle d'une ville – MAN pour *Metropolitan Area Network* –, soit étendus jusqu'à l'échelle mondiale – WAN pour *Wide Area Network* – à l'image d'Internet.

1.3.2 Le système d'information englobant

Le système informatique constitue l'infrastructure technique du système d'information de l'organisation. Ce qu'on appelle système d'information de l'organisation comporte, outre le système informatique, un ensemble organisé d'autres ressources, humaines, organisationnelles et immatérielles, comme des méthodes, des règles, des procédures, etc. Le système d'information est destiné à faciliter le fonctionnement de l'organisation en lui fournissant les informations utiles pour atteindre ses objectifs.

Dans ces définitions, les termes *donnée*, quand on parle du système informatique, et *information*, quand on parle du système d'information, ne sont pas équivalentes.

Une donnée est la description d'un élément ponctuel de la réalité, comme une mesure ou une observation. Par exemple, le chiffre des ventes d'un produit à une certaine date est une donnée. Une donnée est représentée dans le système informatique sous une forme binaire, c'est-à-dire à deux états, notés 0 et 1 par convention. Cette forme binaire peut correspondre à une certaine représentation des nombres, adaptée au calcul automatique, à une certaine codification des caractères, ou à une certaine numérisation d'un objet (son, image, etc.).

Une information est l'interprétation humaine d'une donnée ou d'un ensemble de données qui lui donne du sens. Par exemple, la forme de la courbe annuelle des ventes d'un produit

constitue une information significative pour un responsable commercial. L'interprétation humaine des informations peut conduire à des connaissances de plus haut niveau qui peuvent guider les actions. Par exemple, le fait que certains produits soient saisonniers est une connaissance qui va influencer la gestion des ventes.

Aujourd'hui, seule une faible partie des connaissances est représentée explicitement dans les systèmes informatiques. L'essentiel des connaissances, dites connaissances tacites, se situe dans les têtes des personnes. On peut dire schématiquement que les données sont la matière première du système informatique alors que les informations et les connaissances demeurent majoritairement la matière première de la composante humaine du système d'information. La figure 1.2 ci-après résume les relations entre tous ces concepts.

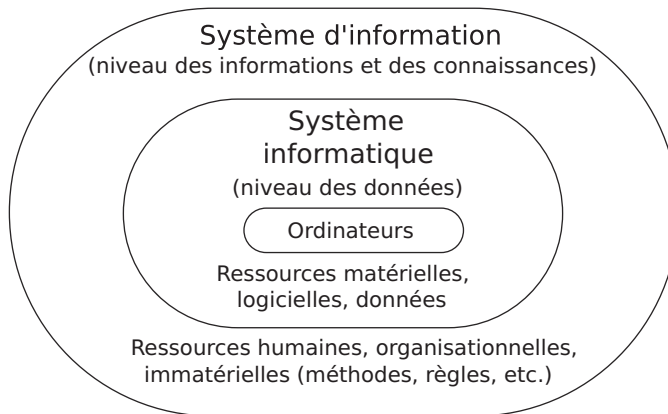


FIGURE 1.2 Les niveaux de systèmes et leurs ressources

1.3.3 Les systèmes distribués

Les systèmes informatiques d'organisation sont le plus souvent aujourd'hui des systèmes informatiques distribués (répartis), c'est-à-dire constitués par un assemblage d'éléments matériels et logiciels qui coopèrent pour réaliser un objectif commun en utilisant un réseau comme moyen d'échange des données. Ce réseau peut être un réseau local ou un réseau étendu, le plus souvent Internet.

C'est le cas par exemple des systèmes de contrôle du trafic aérien, des systèmes bancaires, des systèmes pair à pair (P2P), des grilles de calcul, du web, etc.

1.3.4 Le cloud

L'informatique « en nuage » (*cloud*, en anglais) est une déclinaison récente des systèmes distribués. Il s'agit de l'exploitation de serveurs distants par l'intermédiaire d'un réseau, le plus souvent Internet. Ces serveurs sont loués à la demande à des fournisseurs externes selon l'utilisation (*pay per use*) ou forfaitairement. Par leur intermédiaire, trois principaux types de services peuvent être fournis, schématisés par la figure 1.3.

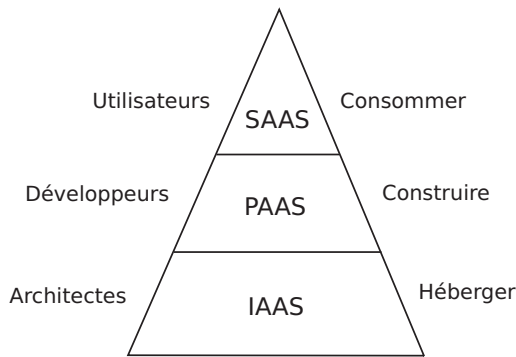


FIGURE 1.3 IAAS, PAAS et SAAS

a) Infrastructure en tant que service

Le premier type est appelé « infrastructure en tant que service » (IAAS pour *Infrastructure As A Service*). Le fournisseur loue un parc informatique virtualisé créé et géré par une couche logicielle de virtualisation sur les serveurs de son centre de ressources. Ces techniques de virtualisation sont détaillées au paragraphe 2.3.3

Les architectes du système client définissent l'infrastructure virtuelle sur laquelle sont hébergés à distance tous les composants logiciels souhaités. L'organisation économise ainsi l'achat de la couche matérielle de tout ou partie de son système informatique.

b) Plateforme en tant que service

Le deuxième type est appelé « plateforme en tant que service » (PAAS pour *Platform As A Service*). Le fournisseur loue une plateforme d'exécution complète des applications, comprenant un ensemble de machines virtuelles en réseau avec leurs systèmes d'exploitation et des outils d'infrastructure pour la distribution des applications, le stockage, la sauvegarde, l'archivage, la surveillance, la sécurité, etc.

Les développeurs du système client le construisent sur cette plateforme. Comme au niveau IAAS, un tel service offre une grande « élasticité », c'est-à-dire une capacité d'adaptation immédiate aux besoins (croissance ou diminution de la charge par exemple) et une mutualisation des coûts. L'utilisateur économise l'achat d'une infrastructure matérielle et logicielle propre pour tout ou partie de son système informatique.

c) Logiciel en tant que service

Le troisième type est appelé « logiciel en tant que service » (SAAS pour *Software As A Service*). Le fournisseur loue des applications accessibles *via* un simple navigateur web. Par exemple, les *Google Apps for Work* comprennent des services professionnels de messagerie, de visioconférence, de stockage en ligne et d'autres applications d'entreprise.

Toutes les couches matérielles et logicielles sous-jacentes aux applications sont cachées à l'utilisateur du service et mises à disposition dans le cadre de la consommation du logiciel.

Le développement conjoint des applications web et du SAAS ouvre la perspective de systèmes d'information accessibles 7 jours sur 7, 24 heures sur 24, en tout lieu et sur tout appareil connecté (ordinateur, tablette, smartphone, téléviseur connecté, etc.). On parle de solution *Any Time, Any Where, Any Device, Any Content*.

Dès aujourd'hui, le stockage de données sur le cloud et les logiciels sur le cloud sont de plus en plus utilisés, même par le grand public dans le contexte des systèmes informatiques personnels.

1.4 LES SYSTÈMES INFORMATIQUES DE CONTRÔLE ET COMMANDE

1.4.1 Les composants

Un système informatique de contrôle et commande reçoit des données relatives à l'état d'un procédé extérieur *via* des capteurs, traite ces données et, en fonction du résultat, agit sur ce procédé extérieur *via* des actionneurs, afin de le maintenir dans l'état souhaité.

Comme le montre la figure 1.4, des opérateurs humains peuvent être amenés à fournir des consignes et à effectuer un suivi, par exemple *via* des visualisations de l'état du procédé.

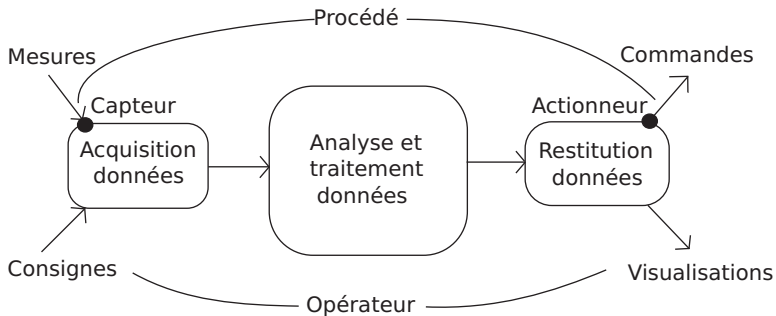


FIGURE 1.4 Système de contrôle et commande

Dans le cas de procédés complexes, incluant de multiples entités physiques, l'opérateur fournit des objectifs à atteindre et suit le comportement global du procédé. Cette fonction de supervision constitue une couche de niveau supérieur par rapport à celle de conduite des entités du procédé (*cf.* figure 1.5).

1.4.2 Les systèmes temps réel

Quand les contraintes de temps deviennent primordiales, on parle de système informatique temps réel. On peut en distinguer deux sous catégories :

- Un système temps réel strict doit respecter les contraintes temporelles même dans le pire des cas. Un résultat logiquement correct mais fourni hors délai devient *ipso facto* un résultat incorrect. Une large partie des systèmes de supervision industrielle (centrales

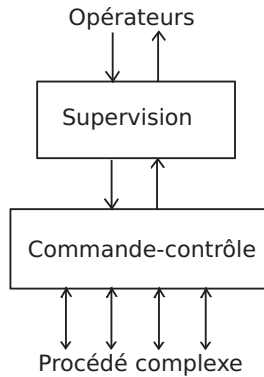


FIGURE 1.5 Système de contrôle et commande

nucléaires, usines chimiques, etc.), des systèmes de supervision médicale, des systèmes d'assistance au pilotage ou à la conduite entrent dans cette catégorie.

- Un système temps réel souple (*soft*) peut exceptionnellement ne pas respecter les contraintes de temps. C'est le cas par exemple de la visioconférence ou des jeux en réseau, où un dépassement occasionnel des contraintes nuit simplement à l'agrément d'utilisation.

Exemple

Dans une voiture, le correcteur électronique de trajectoire (ESP pour *Electronic Stability Program*) est composé de capteurs de vitesse, de braquage, d'accélération latérale et d'actionneurs sur les freins et sur le régime moteur. Le calculateur contrôle les signaux transmis par les capteurs et vérifie 25 fois par seconde si les mouvements de braquage du volant correspondent bien à la direction suivie par la voiture. Dans le cas contraire, l'ESP réagit en quelques millisecondes, sans intervention du conducteur. Il utilise essentiellement le système de freinage pour ramener la voiture sur sa trajectoire. Par exemple, en cas de sous-virage, quand le train avant dérive et que la voiture a tendance à aller tout droit au lieu de suivre la courbe voulue, l'ESP freine la roue arrière intérieure. En cas de survirage, quand le train arrière dérive davantage que le train avant avec un risque de tête-à-queue, l'ESP freine la roue avant extérieure.

1.4.3 Les systèmes embarqués ou enfouis

Quand le système informatique est partie intégrante d'un système plus large qu'il commande et contrôle, on parle de système informatique embarqué ou enfoui. On en trouve par exemple dans les automobiles, les avions et certains équipements médicaux, électroménagers ou de loisir (caméras, jouets, etc.).

Outre les contraintes possibles de temps, ces systèmes informatiques subissent le plus souvent de fortes contraintes de poids, volume, consommation énergétique, autonomie (alimentation par batterie), consommation mémoire, etc.

1.4.4 Les robots

Les robots constituent une famille particulière de systèmes, alliant mécanique, électronique et informatique (« mécatronique »), qui visent à remplacer les êtres humains pour des tâches répétitives, pénibles, dangereuses ou même impossibles à réaliser par eux.

Un robot possède tout ou partie des capacités suivantes :

- capacité d’acquisition de données *via* des capteurs, « proprioceptifs » quand ils mesurent l’état du robot lui-même (sa position, sa vitesse, sa charge, etc.) et « extéroceptifs » quand ils renseignent sur l’état de son environnement (température, lumière, chaleur, etc.),
- capacité d’interprétation des données acquises permettant de produire des connaissances,
- capacité de décision qui, partant des données ou des connaissances, détermine et planifie des actions ; ces actions sont destinées à réaliser des objectifs fournis le plus souvent par un être humain, mais qui peuvent aussi être déterminés par le robot lui-même, éventuellement en réaction à des événements,
- capacité d’exécution automatique d’actions dans le monde physique (déplacements, manipulations d’objets, etc.) à travers des actionneurs (ou effecteurs), comme des roues, des bras, des jambes, des pinces, etc.
- capacité de communication et d’interaction avec des opérateurs ou des utilisateurs humains, avec d’autres robots ou avec des ressources *via* un réseau, comme Internet,
- capacité transversale d’apprentissage, qui permet au robot de modifier son fonctionnement à partir de son expérience acquise.

Il existe une très grande variété de robots, qui se distinguent par leur degré d’autonomie plus ou moins grand vis-à-vis des opérateurs, leur degré d’adaptabilité aux évolutions de leur environnement, leur capacité d’apprentissage et de créativité, c’est-à-dire d’invention de comportements ou d’objectifs non prévus par leurs concepteurs.

Ils peuvent également être classés en grandes catégories fonctionnelles :

- robots industriels, comme dans les chaînes de montage de voitures,
- robots explorateurs, pour la conquête spatiale, l’exploration de décombres, l’exploration sous-marine, le déminage, etc.,
- robots de service, pour l’agriculture (traite, cueillette, etc.), les transports, les tâches domestiques (robot-aspirateur, robot-tondeuse, etc.), l’aide aux personnes âgées ou handicapées, l’assistance médicale et chirurgicale, etc.
- robots ludiques, comme les robots de compagnie,
- robots humanoïdes, dont l’apparence rappelle celle d’un corps humain, etc.

La robotique suscite depuis l’origine énormément d’interrogations et de controverses liées aux questions de sécurité, de conséquences sociales, sur l’emploi en particulier, et plus fondamentalement de cohabitation et de frontière entre robots et humains [CER14].

1.4.5 L'Internet des objets

Les systèmes informatiques de contrôle et commande constituent aujourd'hui en nombre le parc le plus important, avec approximativement 90 % du total des systèmes informatiques. Cette prédominance provient du nombre énorme de systèmes informatiques enfouis dans les objets de la vie quotidienne.

Tous ces objets, rendus « intelligents » par le système informatique qu'ils embarquent, seront amenés de plus en plus à communiquer *via* Internet, à la fois entre eux et avec des personnes et des systèmes informatiques extérieurs. Il s'agit de ce qu'on appelle couramment « l'Internet des objets » (ou « Internet des choses »).

C'est le cas, par exemple, de la voiture intelligente (*smart car*) capable de communiquer avec les autres véhicules proches, la route, les panneaux de signalisation, des bases de données sur la circulation, la cartographie, etc.

« L'Internet à venir sera de plus en plus un Internet entre machines, entre capteurs, entre robots, qui généreront des gisements de données sans limites (...) Il est difficile d'imaginer aujourd'hui les transformations radicales que vont subir nos environnements domestiques, urbains, sociaux, laborieux, etc. (*smart car, smart home, smart city, smart grid, smart body, etc.*). » [GM13]

Ce concept d'Internet des objets est présenté plus en détail au paragraphe 5.2.4.