

Malgré leur aspect peu visible aux yeux de l'utilisateur néophyte, les logiciels constituent un élément primordial de la construction technologique. Contrairement à d'autres automates, un ordinateur est une machine dont l'objectif n'est pas défini de manière précise lors de sa construction. C'est par l'intermédiaire du développement des logiciels que se réalise l'adaptation du traitement automatique aux besoins particuliers de chaque utilisateur. Cette très grande souplesse d'utilisation des ordinateurs permise par la technique du programme enregistré a malheureusement une contrepartie : le travail d'écriture et de test des programmes exige une main-d'œuvre qualifiée et est donc coûteux. Très souvent, le coût des logiciels (malgré les progrès de la standardisation) dépasse le coût des matériels ; en outre, la qualité des services rendus par le système d'information est directement dépendante de la qualité de la réalisation des logiciels utilisés.

3.1.2 Les architectures techniques : l'évolution vers la consommérisation et le *cloud computing*

Les architectures techniques structurent les relations entre toutes les composantes technologiques associées au système d'information. L'évolution a été considérable dans les conditions d'accès à ces différentes composantes.

1. Les architectures client-serveur et les architectures de services SOA

Les premières architectures techniques étaient centralisées autour de puissants ordinateurs assumant les fonctions logicielles de gestion des bases de données et de traitement applicatif, tandis que les terminaux étaient entièrement passifs et ne permettaient que la saisie et l'affichage de caractères. Ces systèmes sont toujours utilisés pour traiter de gros volumes de transactions dans de bonnes conditions de sécurité (faible intervention de l'utilisateur, très grande fiabilité [machines dites à tolérance de pannes], locaux spécialisés).

a) Les architectures dites client-serveur se sont ensuite considérablement développées, permettant de donner une plus grande autonomie aux utilisateurs sur leur poste de travail. Il s'agit ici de répartir les fonctions d'interface utilisateur, de traitement applicatif et d'accès aux données entre les différentes composantes, que ce soient des serveurs ou des postes de travail d'utilisateurs ou encore des terminaux ou processeurs spécialisés. Compte tenu des fonctions assignées au serveur on peut ainsi distinguer plusieurs types d'architectures client-serveur.

Principaux types d'architectures client-serveur et répartition des fonctions logicielles (d'après Delmond *et al.*, 2008)

Fonctions logicielles	Client – Serveur de fichiers	Client – Serveur de données	Client – Serveur Web	Client – Serveur de présentation	Système centralisé
Interface utilisateur	Poste de travail	Poste de travail	Poste de travail	Serveur (sauf gestion de la souris, saisie et affichage)	Serveur (sauf saisie et affichage)
Traitements	Poste de travail	Poste de travail	Serveur	Serveur	Serveur
Accès aux données	Poste de travail (sauf gestion des droits d'accès aux fichiers)	Serveur	Serveur	Serveur	Serveur

b) Apparu dès la fin des années 1990, et suivant l'évolution des architectures destinées au Web, le SOA (*Service Oriented Architecture*) est un modèle d'architecture qui permet de développer des applications en autorisant la réutilisation de « Services », composants logiciels légers qui sont déjà disponibles sur Internet. Le SOA offre une souplesse plus grande pour l'interopérabilité des applications et technologies. C'est ce type d'architecture qui permet par exemple d'intégrer facilement dans une page Web une carte issue de Google Maps, des prévisions météo issues de Météo France... Les Solutions logicielles en tant que Services, SaaS (cf point suivant), sont aussi couplées à cette architecture SOA.

2. Une évolution considérable des conditions d'accès

Deux tendances lourdes caractéristiques de l'évolution des architectures techniques sont ici à considérer :

- la facilité d'utilisation et la consumérisation des technologies : la technologie comme une commodité personnelle ;
- le coût et les formes d'accès à la technologie : notamment le *cloud computing*, pour externaliser ses ressources logicielles ou matérielles.

a) La facilité d'utilisation s'est continuellement améliorée de sorte qu'aujourd'hui, en fonction de leurs besoins et habitudes, les utilisateurs préfèrent utiliser **leurs propres matériels** pour les applications de l'entreprise (on parle d'un mouvement *Bring Your Own Device* : tablettes, Smartphone, ordinateurs portables...). Les utilisateurs deviennent des décideurs, et des prescripteurs, pour les technologies matérielles et logicielles qu'ils utilisent, ce qui n'est pas sans poser des problèmes de déploiement pour les applications et de sécurité pour les données (cf. chapitre 7). Mais compte tenu de l'évolution des logiciels et de tous les terminaux mobiles, l'usage de plus en plus autonome des technologies est devenu possible. Le progrès technique a permis la production de mémoires et de processeurs de plus en plus performants ; cette évolution du matériel a accompagné des progrès considérables dans la communication homme-machine, qui devraient se poursuivre avec le développement de la reconnaissance de la parole et des mouvements.

Un deuxième aspect de la facilité d'utilisation est lié au progrès de la normalisation, en particulier pour les systèmes d'exploitation et les réseaux : la **compatibilité** entre les matériels hétérogènes s'améliore et simplifie les procédures de connexion. Le domaine des technologies de l'information est sans doute celui qui a connu, dans le monde industriel, l'évolution la plus spectaculaire. Plusieurs composants essentiels des matériels utilisés (mémoires, microprocesseurs) ont vu le rapport performance/coût progresser de 30% par an. Même si le coût d'accès à la technologie n'a pas subi une baisse aussi forte en raison du maintien des coûts du logiciel, les effets n'en demeurent pas moins considérables.

b) Les formes d'accès à la technologie évoluent aussi fortement. Un concept décrit une tendance actuelle en plein développement : le **cloud computing**, ou l'informatique « en nuage ». S'il est présenté quelques fois comme la prochaine mutation technologique majeure, il n'est pas vraiment une technologie, mais plutôt un nouveau mode de fourniture et de financement des ressources informatiques pour une entreprise. C'est une façon nouvelle d'externaliser ses ressources (matériels et/ou logiciels) auprès d'un tiers (Amazon Web Services est ainsi devenu un des plus grands fournisseurs sur le *cloud*). Les entreprises ont la possibilité par exemple de recourir à un logiciel en ligne facturé à l'usage réel ; les utilisateurs ont la possibilité par exemple de stocker leurs fichiers partagés « en nuage » (comme le propose Google docs ou Dropbox).

On distingue trois types de *cloud computing* suivant les composants qui sont externalisés : l'infrastructure comme un service (IaaS : *Infrastructure as a Service*), la plateforme comme un service (PaaS : *Platform as a Service*) et même les logiciels comme un service (SaaS : *Software as a Service*). Le système est variable et flexible, puisqu'il adapte les ressources à l'utilisation recherchée. Ce type de services permet donc à la fois de se décharger de tâches de planification coûteuses et incertaines et, sur le plan financier, de ne pas investir en immobilisant des ressources importantes mais de consommer (et payer) au fur et à mesure de ses besoins.

Positionné entre les solutions purement propriétaires et les outils *open source*, le *cloud* offre de nombreux avantages, ne serait-ce que d'un point de vue financier, puisque les dépenses en investissements TI se transforment en coûts opérationnels. Le *cloud* est aussi avantageux en raison de la **flexibilité** et ceci convient à une multitude de situations : incapacité à estimer la charge d'une nouvelle application, pics d'activité, exigence de haute disponibilité, reprise d'activité en cas de sinistre, déploiement rapide des environnements nécessaires à la construction d'applications, tests de charge... Pour proposer des tarifs intéressants aux entreprises, le modèle *cloud* s'appuie fréquemment sur des socles d'exécution *Open Source*, source d'économies très substantielles. C'est un modèle avantageux notamment pour les PME qui profitent d'une **barrière d'entrée moins élevée** en termes de compétences, avec la possibilité d'accéder à une qualité de service jusqu'alors réservée aux grandes entreprises. Enfin la vitesse de mise en production et de déploiement constitue un autre atout du *cloud*.

Si séduisant qu'il soit sur le plan marketing, le recours à ce type d'offres doit être bien réfléchi. «L'évaporation» des données et des logiciels dans un nuage de serveurs, à travers l'utilisation de sites multiples, soulève des interrogations en matière de **disponibilité**, de **sécurité**, de **confidentialité** et de **réversibilité**. Si ces points bloquants n'étaient pas résolus, les perspectives de développement seraient minimes.

La plupart des experts prévoient que cette tendance va se poursuivre encore pendant dix à quinze ans au moins. La conséquence est une banalisation de la technologie et le renforcement d'une tendance à la substitution du capital au travail dans des domaines où jusqu'à maintenant l'automatisation des tâches restait faible.

3.1.3 Les apports spécifiques des technologies d'information

L'apport immédiat des techniques du traitement électronique de l'information peut être caractérisé par quatre points spécifiques :

- la compression du temps et de l'espace ;
- l'expansion de l'information stockée ;
- la flexibilité d'usage ;
- la connectivité et la mobilité.

1. Premier apport : la compression du temps et de l'espace

Traiter des données consiste à les transformer par des opérations variées (tri, calcul, sélection, transmission) pour produire des représentations pertinentes ; les technologies automatisent ces opérations avec des performances de vitesse toujours croissantes. Pour les micro-ordinateurs les vitesses de calcul s'affichent en **gigaFLOPS** (mille millions d'opérations par seconde), un supercalculateur « en grappe » comme celui d'HPC-LR Montpellier affiche une puissance 15 **teraFLOPS** (soit

2. Le cloud computing

Le *cloud computing*, ou «informatique en nuage», est la deuxième grande composante des nouvelles architectures technologiques sur le Web. Il consiste à déporter sur des serveurs distants interconnectés l'ensemble indéfini des traitements et des données (cf. chapitre 1). L'objectif de l'interopérabilité est ici facilité par le très grand débit sur les réseaux et cette architecture *cloud* peut être considérée comme un successeur des modèles «serveur-terminaux», puis «client-serveur», puis «Trois-tiers» (le tiers Accès aux données, le tiers Application et le tiers Présentation).

Avec le *cloud computing*, Internet peut devenir le réservoir partagé de tout type de ressources informatiques, chacun des trois niveaux (applications API, plateformes d'exécution et infrastructures de support) étant indépendant et connecté par toute une série de normalisations encore en cours (adresses URL, pages HTML, flux RSS, Ajax...): sur le Web, une vidéo, une carte, un commentaire (ou une composition de ces différents éléments: une application composite *mashup*) peuvent ainsi provenir d'un autre serveur que celui qui a généré la page lue.

Mais le *cloud computing* peut aussi être vu comme un nouveau modèle économique:

- par la fusion de multiples Web Services, le *cloud computing* présente un potentiel d'innovation important;
- pour les utilisateurs d'applications en ligne, il n'y a plus d'achat de licences, le paiement se faisant à la demande, ce qui augmente la flexibilité via des contrats de niveau de service (pour les applications traditionnelles on parlait d'ASP, *Application Service Provider*, pour les applications Web on parle de SaaS, *Software as a Service*);
- des PME peuvent ainsi bénéficier, avec un budget flexible et sans délai, d'une puissance logicielle et d'un niveau de service qui était l'apanage des grandes entreprises;

– l'informatique deviendrait ainsi une commodité, vendue comme une ressource utilitaire telle que l'électricité ou l'eau, avec un paiement à la consommation. Il reste d'une part que de nouveaux problèmes techniques et juridiques sont posés (sécurité, confiance, assurance) et que d'autre part les problèmes écologiques peuvent devenir croissants: les centres de traitement des données nécessaires, les *data centers*, sont à ce point consommateurs d'énergie qu'ils commencent à poser de vrais problèmes d'aménagement du territoire, et donc de coûts.

Il n'est évidemment pas possible (comme dans le cas général de toute technologie) de fournir une « loi » permettant de choisir entre ces trois attitudes ; la décision dépend de multiples facteurs et le résultat demeure aléatoire.

La discussion ci-dessus confirme bien l'aspect stratégique du problème de gestion de l'infrastructure TI : c'est un problème qui concerne l'ensemble de l'entreprise ; c'est un problème de long terme car les évolutions sont lentes ; c'est un problème complexe car il combine choix technologiques et évolution des compétences ; c'est un ensemble de choix déterminants pour le succès de la stratégie car il traduit la plus ou moins grande qualité de l'alignement stratégique.

2.1.2 Les choix structurels d'architecture technologique : vers le *cloud computing* ?

Le management des TI s'exerce par l'intermédiaire de structures de gestion appliquant des procédures. La traduction concrète des choix stratégiques en politiques (d'investissement, de recherche, de formation) dépend, en partie, de l'**agencement de ces structures de gestion**. Dans le cas des technologies de l'information, les choix structurels concernent également l'**agencement des ressources primaires** (ordinateurs, réseaux) au sein d'une **architecture technologique**. Les deux questions ne sont pas totalement indépendantes l'une de l'autre : la répartition des moyens (de communication, de traitement, de stockage) détermine en partie l'agencement des structures de gestion.

Au début de l'utilisation de l'informatique, les entreprises ont adopté, en général, une **architecture technique centralisée**, organisée autour de serveurs centraux et de terminaux passifs. Cette solution centralisée a été rapidement améliorée par le développement de la micro-informatique : grâce aux réseaux de communication, les différents utilisateurs ont pu, à partir de leur poste de travail, entrer des données, recueillir et traiter des résultats. Cette délocalisation, sous forme de « informatique distribuée », aménage l'utilisation sans remettre en cause le caractère centralisé de l'architecture où le site principal conserve la maîtrise de l'organisation des traitements et de l'accès aux données.

Sous l'influence de nombreux facteurs tenant à la fois de l'évolution de la demande (souci de sécurité, besoin d'autonomie, amélioration de certains temps de réponse, amélioration des interfaces) et surtout de celle de l'offre (développement de la micro-informatique, gains de performance considérables des matériels, évolution des systèmes de type client-serveur, développement du multimédia, standardisation des protocoles de communication, recours à Internet, baisse généralisée des coûts du matériel, développement des applications mobiles...), les architectures technologiques se sont complexifiées en se décentralisant. Les différentes ressources sont agencées autour de réseaux de différents niveaux, dans des **architectures réparties**, avec des degrés très variables de décentralisation entre serveurs de données, serveurs d'applications, serveurs de présentation et traitements « en local ».

La généralisation d'Internet a imposé le navigateur Web comme moyen d'accès aux réseaux internes et externes. Cette facilité d'accès a ouvert la voie à une répartition généralisée de toutes les ressources logicielles et matérielles sous la forme du **cloud computing** : de l'infrastructure comme un service (*IaaS* : *Infrastructure as a Service*), jusqu'aux logiciels comme un service (*SaaS* : *Software as a Service*). Séduisante par sa flexibilité technique et financière, ce type d'architecture soulève des interrogations liées à « l'évaporation » des données et des logiciels dans un nuage de serveurs, à travers l'utilisation de sites multiples : les solutions de type « nuage privé » ou « nuage mutualisé » ont la faveur de nombreuses organisations (un prestataire de confiance prenant en charge une partie des services externalisés dans un nuage certifié).

Critères	Architecture centralisée	Architecture répartie	Architecture cloud
Coût	Gains au niveau traitement et stockage (économies d'échelle). Économies possibles en personnel spécialisé.	Gains possibles sur les coûts de communication.	Gains possibles au niveau des coûts de traitement ou des coûts de création de connaissances.
Qualité du service	Niveau de compétences des spécialistes plus élevé. Meilleure standardisation des procédures d'utilisation, d'où apprentissage plus simple.	Meilleure écoute des utilisateurs: priorité à la réponse rapide pour résoudre les problèmes des utilisateurs.	Déploiement rapide, haute disponibilité, variable et flexible
Sécurité	Faiblé supérieure en raison de la présence de spécialistes. Confidentialité mieux assurée par un contrôle de l'accès aux données, mais risque concentré pouvant conduire à un arrêt général en cas d'incident.	Répartition des risques: un incident local ne compromet pas le fonctionnement de l'ensemble. Difficultés à imposer des règles de sécurité et de confidentialité sur tous les sites de traitement.	Risques plus importants du fait de la multiplication des accès possibles aux systèmes et de l'ouverture des réseaux à de nombreux utilisateurs.

Ce qu'il est important de comprendre, c'est qu'il n'existe pas de réponse unique et définitive à la question de l'architecture technologique car :

1 – Chaque type de choix structurel offre des avantages et des inconvénients: le tableau ci-dessus résume les arguments concernant le coût, la qualité de service et la sécurité.

2 – Une architecture technologique est *contingente*: elle doit être en cohérence avec les choix stratégiques, l'organisation dans laquelle elle fonctionne et adaptée aux individus qui l'utilisent. Par exemple, dans une organisation de type centralisé-fonctionnel où les valeurs d'ordre et de cohérence sont privilégiées (le secteur bancaire, par exemple), une solution de type «répartie» avec de forts pouvoirs locaux aura sans doute plus de difficultés à fonctionner qu'une solution de type «architecture centralisée».

3 – Les facteurs déterminants, d'ordre stratégique, organisationnel et technologique, évoluent continuellement. Le choix d'une architecture technologique découle d'un compromis entre des exigences variées; la validité de ce compromis peut être remise en question. Il est donc indispensable, lors de la planification des SI, de réexaminer la solution retenue et de procéder, si nécessaire, aux adaptations exigées par l'évolution de ces conditions.

2.2 La problématique de l'externalisation : un choix stratégique

Dès le début de l'informatisation, la construction de nouveaux systèmes d'information a mobilisé des ressources extérieures à l'entreprise sous des formes variées: achat de logiciels plus ou moins adaptables, recours à l'assistance et au conseil externes par le biais de consultants. L'externalisation des systèmes d'information est un phénomène qui s'est développé. Historiquement, quand la société Eastman Kodak décidait de confier la gestion de ses ressources informatiques à des presta-