

Un modèle pour la répartition optimale des données et des processus dans les systèmes répartis

Gilbert Babin¹, Pierre Ardouin², Mirabelle M. Ngaining
Département d'informatique, Université Laval
Ste-Foy, Québec, Canada

Décembre 1996

Résumé

On considère que les systèmes répartis sont des systèmes où les fonctions de traitement et de stockage peuvent être réalisées sur divers appareils, tels que des ordinateurs centraux, des serveurs et des postes de travail, reliés par des réseaux de communication. Ces systèmes permettent la gestion de données communes, l'utilisation simultanée de logiciels et de périphériques coûteux ainsi que le partage de ressources réparties sur différentes machines; cependant, la répartition ne se fait pas aussi aisément que dans le cas des systèmes centralisés où des règles précises sont établies à l'avance. Nous avons donc développé un modèle pour évaluer les coûts et la performance des systèmes répartis, en vue d'optimiser la répartition des ressources, notamment les ensembles de données et les processus de traitement, et favoriser ainsi la contribution des systèmes à l'atteinte des objectifs stratégiques d'une organisation.

Abstract

Distributed systems are viewed as systems where data processing and storage can be done on several equipments, such as mainframes, servers and workstations, linked by communication networks. Such systems allow management of common data, simultaneous use of costly software and peripherals, and sharing of resources distributed among different equipments; however, the distribution is more complex than in the case of centralized systems, where specific rules might be pre-defined. We have developed a model for the evaluation of costs and performance of distributed systems, in order to optimize the distribution of resources, especially data sets and processing functions, and to maximize the contribution of systems to reaching the strategic goals of an organization.

1- Introduction

L'évolution des technologies de l'information et l'extraordinaire multiplication des réseaux informatiques, permettent aux organisations de décentraliser des ressources vers plusieurs utilisateurs et ré-orienter leur exploitation de systèmes antérieurement centralisés vers des systèmes répartis. En outre, les entreprises sont plongées dans un environnement économique de plus en plus instable, concurrentiel et complexe, et doivent tout mettre en oeuvre pour survivre et progresser; parmi les problèmes qu'elles ont à résoudre, celui de la répartition des ressources informatiques est très important. Ceci doit tenir compte de la répartition de l'ensemble des activités et permettre d'accéder aux mêmes informations à partir de plusieurs points. À cet effet, les ressources informatiques doivent être réparties entre tous les systèmes d'information pour maximiser leurs bénéfices et leur performance, et minimiser leurs coûts de fonctionnement.

Plusieurs chercheurs ont proposé des solutions aux problèmes de la distribution des ressources dans les systèmes répartis, souvent à travers la réduction des coûts globaux d'exploitation. Ainsi, Casey a développé un modèle intéressant permettant la distribution des copies de fichiers et établissant l'existence d'une limite maximale au-delà de laquelle la duplication n'est pas optimale [Casey 72]. Cependant, ce modèle tout comme celui de Whitney [Whitney 70], ne tient pas compte des contraintes de temps et de mémoire. Chu a proposé un modèle de programmation linéaire qui inclut des coûts de copie, mais où le nombre de copies est connu d'avance [Chu 69]. Dans le même ordre d'idées, Laning et Leonard présentent un algorithme qui détermine la localisation des copies des fichiers et qui minimise les

¹ babin@ift.ulaval.ca

² ardouin@ift.ulaval.ca

coûts de stockage et de transmission [Laning 83]. Morgan et Levin ont étudié un autre aspect du problème dans lequel l'allocation des fichiers de programmes et l'allocation des données sont traitées séparément [Morgan 77]. Par ailleurs, Gavish et Pirkul ont développé un modèle pour effectuer la configuration des bases de données et leur assignation aux processeurs [Gavish 86], alors que Coffman a élaboré un modèle qui permet de déterminer le nombre optimal de copies des bases de données [Coffman 81].

Cet article présente la description d'un nouveau modèle d'optimisation des systèmes répartis. Cette description se fait par le biais d'une description mathématique (1) du réseau où le traitement a lieu, (2) des contraintes d'utilisation de ce réseau et (3) des bénéfices à retirer d'une configuration particulière, ce qui laisse évidemment sous-entendre la détermination des coûts [Ngaining 94] [Ardouin 95] [Ngaining 96]. Le but final est de préciser la répartition optimale des processus de traitement et des ensembles de données en vue de répondre aux besoins des utilisateurs dans des délais courts et à des coûts raisonnables.

2- Principales caractéristiques structurelles du modèle

Les composantes de base du modèle sont les **noeuds**, les **utilisateurs** qui travaillent à ces noeuds, les **ensembles de données** et les **processus de traitement** qui sont stockés aux noeuds et utilisés par les utilisateurs pour effectuer leurs opérations, les **épisodes** d'affaires qui sont réalisés par les utilisateurs, et les **lignes** de communication qui permettent la connexion entre les noeuds.

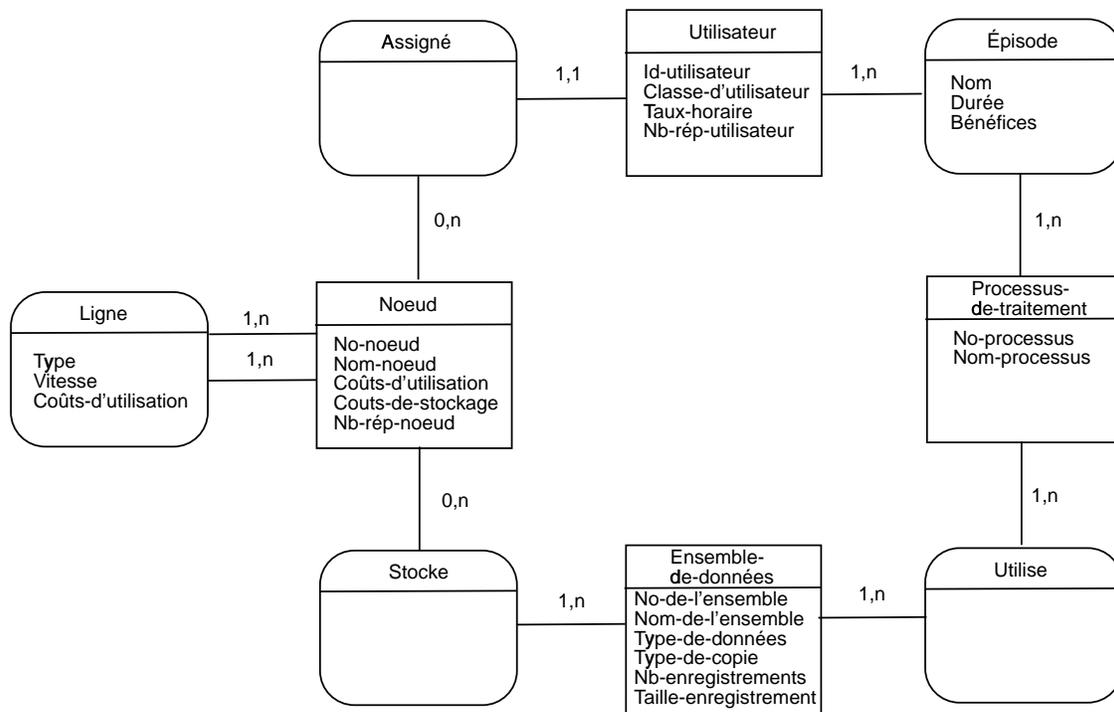


Figure 1- Structure conceptuelle de données des composantes

Les noeuds sont les ordinateurs employés par le système; ils sont identifiés par un numéro et un nom, et caractérisés par deux classes de coûts, respectivement pour leur utilisation générale et pour le stockage de données; un noeud peut avoir plusieurs répliques.

Les utilisateurs sont les personnes qui se servent du système; ils se situent dans des classes génériques, qui comprennent des répliques du même utilisateur. On réfère aux utilisateurs par un identifiant, et leur contribution aux coûts du système est évaluée par un taux horaire.

Un utilisateur emploie un seul ordinateur qui lui est assigné pour la réalisation de ses fonctions; par contre certains noeuds, par exemple les serveurs de communications, ne sont pas directement employés par des utilisateurs, alors que d'autres peuvent servir de postes de travail pour plusieurs utilisateurs. Les noeuds sont reliés par des lignes de communication; chaque ligne est caractérisée par un type, une vitesse et des coûts d'utilisation. Tout noeud peut être l'origine ou la destination de plusieurs lignes, mais un noeud spécifique n'est relié à un autre noeud spécifique que par une seule ligne.

Un ensemble de données est un regroupement d'informations de bases utilisées dans le système, et stockées sur support informatique. De façon générale, on distingue entre les classes de données (par exemple, l'ensemble des dossiers de tous les clients) et les instances (les dossiers ou enregistrements de clients spécifiques); dans le modèle, les données sont vues globalement par classe et non par instance. Un système réparti est un réseau où divers logiciels sont exécutés sur différents ordinateurs. Ces logiciels doivent être gérés dans le réseau; il peut exister plusieurs versions d'un même logiciel sur divers postes de travail, et un poste de travail peut charger des logiciels à partir de serveurs. Dans ce contexte, les ensembles de données peuvent aussi correspondre à des programmes, et l'approche de modélisation tient compte de cette réalité: les différents programmes utilisés constituent des classes de données distinctes, alors que les versions d'un même programme correspondent à des enregistrements.

Un utilisateur fait usage de processus de traitement informatisés dans l'exécution de son travail. Un processus de traitement est un logiciel particulier servant à réaliser des opérations spécifiques. Les processus peuvent être classés selon certaines caractéristiques qui leur sont reconnues ou selon les fonctions qu'ils réalisent (vente, consultation, etc.). Un épisode est un ensemble d'activités spécifiques pour lesquelles un utilisateur doit se relier au système, par exemple, la saisie de la réclamation d'un client par un représentant dans une compagnie d'assurances ou la mise à jour du dossier d'un produit par un préposé aux pièces dans une entreprise de distribution. La réalisation des épisodes met donc en relation les utilisateurs avec les processus de traitement; un utilisateur donné peut activer divers processus de traitement à travers différents épisodes, et un processus donné peut ainsi être activé par différents utilisateurs.

En plus des composantes décrites ci-dessus, le modèle comprend deux autres composantes importantes, qui n'interviennent pas directement dans l'application mais dont l'existence est essentielle; ce sont les **sites** où se retrouvent les noeuds et les utilisateurs, et la **période** d'utilisation. Les sites sont les lieux physiques, tels qu'un édifice, une partie d'édifice ou un regroupement d'édifices, dans une ou plusieurs régions, où les utilisateurs exécutent leur travail et où l'on retrouve des postes de travail ou d'autres ordinateurs. La période est un intervalle de temps, tel qu'une journée, une semaine, un mois ou une année, au cours duquel les processus de traitement et les ensembles de données sont utilisés et sur lequel porte un cycle d'application du modèle; la période peut être différente selon le type de traitement effectué.

La figure 2 présente un exemple de structure simplifiée pour illustrer les descriptions des composantes. On y retrouve **8 noeuds** répartis dans **3 sites**. Le site 1 pourrait être le bureau chef d'une entreprise de distribution alors que le site 2 serait une succursale de cette entreprise située dans une autre ville. Le site 3 serait un site «virtuel» regroupant des représentants qui se déplacent pour visiter la clientèle. Les noeuds N1, N3, N6, N7 et N8 seraient des postes de travail individuels (N8 serait un poste de travail portatif) et il y aurait plusieurs répliques de chacun de ces noeuds. Les noeuds N2, N4 et N5 seraient des ordinateurs centralisés de grande puissance qui n'existeraient qu'à un seul exemplaire.

La figure 2 présente **3 catégories de lignes**. La ligne entre les noeuds N5 et N8 serait une ligne commutée publique à basse vitesse (ex: 14,4 kbps); la ligne entre les noeuds N4 et N5 serait une ligne inter-villes de haut débit (ex: 256 kbps) alors que les autres lignes entre N1 et N2, entre N2 et N3, entre N2 et N4, entre N5 et N6, et entre N5 et N7 seraient des lignes internes de très haute vitesse (ex: 16000 kbps).

Il y a **5 catégories d'utilisateurs**. Les utilisateurs des catégories U1 et U4 pourraient être des employés affectés aux épisodes reliés aux activités principales de l'entreprise, telles que la gestion des ventes et des achats, alors ceux des catégories U2 et U5 seraient affectés aux épisodes des fonctions administratives, telles que la gestion du personnel ou de la comptabilité; les représentants (catégorie U6) pourraient être affectés à ces deux types d'épisodes. En outre, on pourrait supposer que les utilisateurs de la catégorie U3 sont les informaticiens responsables de la mise au point des logiciels et du bon fonctionnement du réseau.

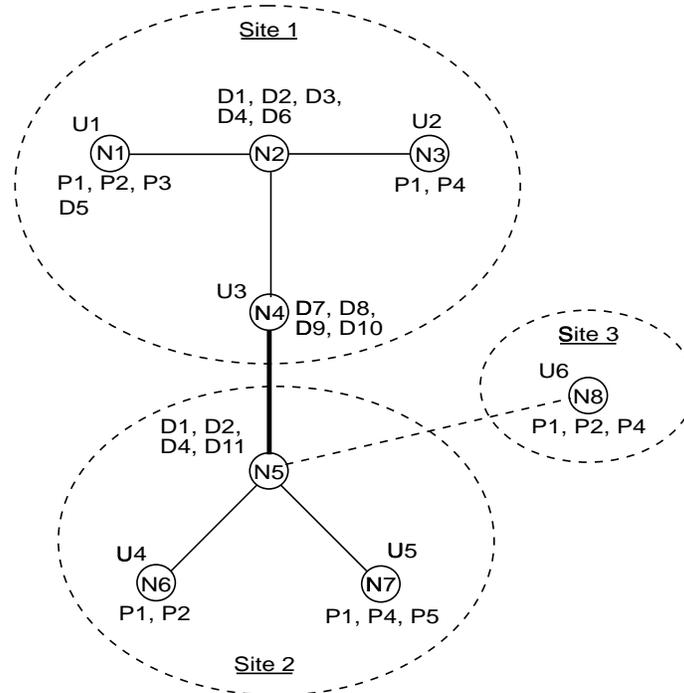


Figure 2- Exemple de structure simplifiée

On note l'existence de **5 processus de traitement** (P1 à P5) et de **11 ensembles de données** (D1 à D11). Les processus correspondraient aux logiciels qui sont exécutés pour la réalisation des épisodes d'affaires (vendre un produit, créer un dossier de client, reporter au grand-livre le fichier des comptes à payer, etc.). Les ensembles de données D1 à D6 pourraient stocker des informations de gestion traitées dans les activités principales et administratives alors que les ensembles de données D7 à D11 seraient les copies principales des logiciels employés par les utilisateurs pour les processus de traitement.

Le modèle utilise un certain nombre de tables (ou matrices) pour préciser les caractéristiques des composantes (noeuds, utilisateurs, processus, données, etc.) et de leurs relations (données-processus, données-noeuds, etc.). Par exemple, une table présente la description des ensembles de données à travers de nombreuses variables pour chaque ensemble, telles que le numéro, la longueur moyenne des enregistrements, le noeud où est stockée la copie principale, le nom de l'ensemble ainsi qu'un code qui indique si l'ensemble doit être sélectionné dans une application spécifique du modèle.

Certaines tables précisent la valeur de variables qui interviennent directement dans l'application du modèle et décrites plus loin dans cet article. D'autres tables jouent un rôle plus utilitaire et regroupent des renseignements qui se rattachent à plusieurs variables. Ainsi une table (*Dp*) précise les processus qui font référence à chaque ensemble de données ainsi que les nombres d'accès à l'ensemble, en lecture et en écriture, pour chaque processus; une autre table (*Dn*) indique les noeuds où sont stockés chacun des ensembles de données. Les tableaux 1 et 2 résument le contenu des tables *Dp* et *Dn* pour l'exemple présenté dans la figure 2.

On peut noter que le contenu de la table D_p , basé sur la définition des fonctions exécutées dans le système modélisé, n'est pas modifié au cours d'un cycle d'application du modèle. Par contre, le contenu de la table D_n , qui correspond à la répartition des données sur les noeuds, est modifié, au cours de l'application, pour obtenir la répartition optimale en partant d'une répartition initiale.

Ensemble de données	Processus
D1	P1, P2
D2	P1, P2
D3	P3, P4
D4	P1, P4, P5
D5	P3
D6	P1, P2, P3, P4
D7	P1, P2, P3, P4
D8	P1, P2, P3, P4
D9	P4
D10	P4
D11	P5

Tableau 1- Table D_p (extraits)

Ensemble de données	Noeuds
D1	N2, N5
D2	N2, N5
D3	N2
D4	N2, N5
D5	N1
D6	N2
D7	N4
D8	N4
D9	N4
D10	N4
D11	N5

Tableau 2- Table D_n (extraits)

3- Caractéristiques fonctionnelles du modèle

Les systèmes répartis correspondent à l'interconnexion d'équipements ou de systèmes informatiques souvent hétérogènes, au sein d'une entreprise ou entre plusieurs entreprises. Une telle interconnexion se bute souvent à la difficulté importante qu'est la répartition des ressources informatiques (équipements, données, processus, etc.). Pour contrecarrer cette difficulté, notre modèle propose une solution au problème de la répartition optimale des données et des processus, qui minimise le coût global et maximise les bénéfices reliés à l'utilisation du système.

Nous considérons un réseau complet ayant un certain nombre de machines, d'utilisateurs, de données et de processus de traitement (logiciels ou programmes). Nous posons l'hypothèse que la répartition des matériels (ordinateurs, imprimantes et autres) est connue à l'avance et que chacun d'eux peut communiquer (directement ou indirectement) avec un autre matériel du système. Dans ce réseau, chaque machine est en mesure de communiquer avec chacune des autres machines via des lignes de communication. Ceci peut impliquer, dans certains cas, le passage au travers de machines intermédiaires.

On formule aussi l'hypothèse que toutes les classes de données et tous les processus de traitement sont connus. Il est souvent nécessaire de dupliquer une donnée sur plusieurs machines afin de rendre le système d'information plus efficace ou plus économique. La copie de base d'une donnée est dite copie principale.

Nous analysons de façon détaillée l'usage de chaque processus de traitement et de chaque classe de données, afin de déterminer leur fréquence d'utilisation par un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs et d'en effectuer la répartition. Ceci permet de déterminer non seulement le meilleur emplacement de la copie principale, mais aussi celui des copies secondaires, c'est-à-dire de déterminer la localisation optimale des données sur les machines. Il doit donc exister une correspondance entre les classes de données et les machines où elles sont stockées. On doit répartir les données de manière à réduire les coûts et les temps de transmission et de stockage; ceci veut dire que les données doivent généralement être davantage rapprochées des utilisateurs.

Le fonctionnement du système est basé sur l'exécution de transactions, qui peuvent consister en des requêtes de lecture ou de mise à jour. Une requête de lecture correspond à une communication avec une

seule copie d'une donnée alors qu'une requête de mise à jour doit être transmise à toutes les machines qui possèdent une copie de cette donnée. L'exécution d'une transaction à un site peut nécessiter des données ou des processus localisés sur d'autres sites.

3.1- Présentation d'un exemple

Afin d'illustrer l'utilisation du modèle, nous faisons appel à un exemple représentant une petite chaîne de pharmacies. Les caractéristiques de l'exemple pourraient facilement être transposées dans des entreprises d'autres domaines comportant un siège social et divers sites, et offrant des services variés, tels que des boutiques d'équipements sportifs spécialisés ou des compagnies d'assurances générales.

On suppose que cette entreprise exerce ses activités dans deux régions différentes et comprend quatre sites. La région 1 regroupe le siège social et une succursale et la région 2 ne comprend qu'une succursale. Le quatrième site est un site virtuel qui regroupe des représentants sur la route (fig. 3). Chaque succursale est dotée de postes de travail, qui sont soit des caisses enregistreuses, des postes des commis ou des postes de conseillers à la clientèle, et ces postes sont reliés à travers un réseau local. De plus, chaque succursale est reliée au siège social par une ligne privée. Les connexions entre le serveur de réseau local et les noeuds se font par des liens à haute vitesse. Par ailleurs, le siège social dispose de deux ordinateurs centraux connectés à un serveur de réseau par une ligne à haute vitesse.

Dans chaque site se trouvent des employés qui se relient en direct au système pour effectuer des tâches qui leur sont assignées; les représentants travaillent à l'extérieur de l'entreprise et utilisent les ressources du système en se reliant par ligne téléphonique au serveur de réseau du siège social, par appel local. Différents fichiers de données et de traitement auxquels les utilisateurs peuvent avoir accès selon leurs droits d'utilisation, sont stockés à chaque site.

L'entreprise offre différents types de produits à sa clientèle, soit des produits en vente libre et des produits qui ne peuvent être acquis que suite aux conseils ou avec l'approbation des conseillers spécialisés; le terme «produit» étant une notion générique pouvant faire référence à un produit physique ou à un service. Le client se présente avec une demande de services spéciaux, par exemple une ordonnance émise par un médecin dans le cas d'une pharmacie, qui doit être analysée par le conseiller à la clientèle, qui pourrait par exemple être un pharmacien, avant que le client puisse recevoir les services ou produits qu'il désire. La structure générale du réseau et la répartition initiale sommaire des données et des processus sont illustrées dans la figure 3.

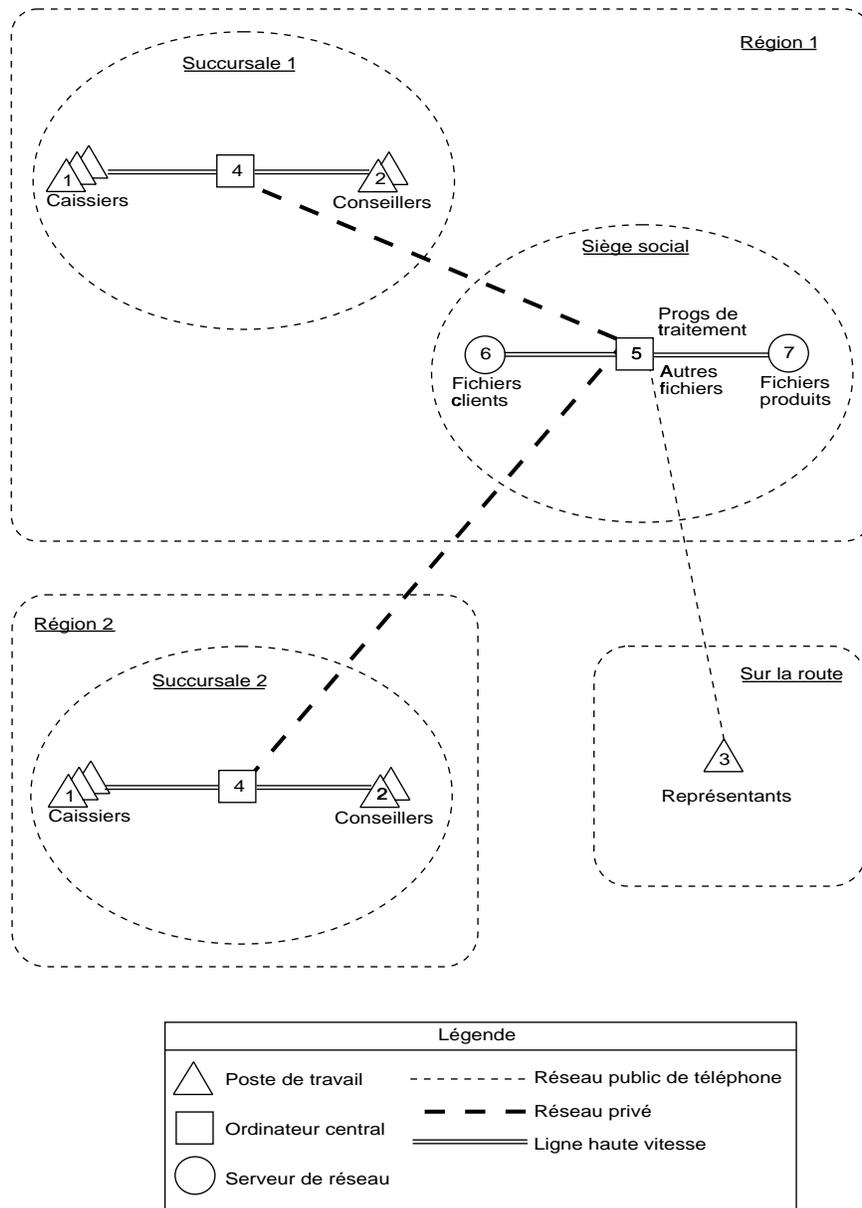


Figure 3- Structure du réseau et répartition initiale sommaire des données et des processus

3.2- Composantes mathématiques

3.2.1- Description des noeuds

Le réseau est composé de noeuds inter-reliés qui peuvent être des *noeuds réels*, physiquement et fonctionnellement différents d'autres noeuds, ou des *noeuds virtuels*, qui représentent un ensemble de noeuds physiquement et fonctionnellement identiques. Nous notons un noeud (réel ou virtuel) par n et l'ensemble des noeuds du système par N . Le cardinal de N , noté $|| N ||$, représente donc le nombre total de noeuds (réels ou virtuels) utilisés dans le réseau. Nous noterons par NR_n , le nombre de noeuds réels représentés par un noeud n ; s'il s'agit d'un noeud réel, on a $NR_n = 1$. NR_n représente donc le nombre de noeuds réels qui composent le noeud virtuel n . L'intérêt de regrouper des noeuds réels en noeuds virtuels est de réduire la complexité du système d'information, car plus on a de noeuds virtuels, moins nombreux seront les noeuds à traiter.

Les 7 catégories de noeuds apparaissant dans la figure 3 correspondent de façon générale, à des postes de travail individuels, à des ordinateurs centraux ou à des serveurs de réseau; le tableau 3 identifie spécifiquement ces 7 catégories de noeuds, ainsi que trois caractéristiques qui interviennent dans les calculs requis pour déterminer la répartition optimale des données et des processus: 1) le coût de stockage des données au noeud, 2) le coût d'acquisition de chaque ordinateur et 3) un délai qui correspond au temps minimal d'utilisation de l'ordinateur pour l'exécution de tout traitement. Les valeurs sont typiques des coûts et des délais pour des appareils des types utilisés.

No du noeud	Identification des noeuds	Nombre de réplifications		Coûts de stockage (\$/heure)	Coûts d'acquisition (\$)	Délai du processeur (secondes)
		↓				
1	Caisse enregistreuse	6		0,06	5 000	0,007
2	Poste d'un conseiller à la clientèle	4		0,06	6 000	0,007
3	Poste d'un représentant	1		0,06	4 000	0,007
4	Concentrateur succursale	2		0,12	10 000	0,007
5	Concentrateur siège social	1		0,12	10 000	0,007
6	Serveur des fichiers clients	1		0,12	9 000	0,007
7	Serveur des fichiers produits	1		0,12	9 000	0,007

Tableau 3- Caractéristiques des noeuds

3.2.2- Description des usagers

Dans notre modèle, l'ensemble des utilisateurs du système d'information sont répartis dans des classes selon les grandes fonctions qu'ils réalisent. Chaque classe d'utilisateurs est notée u , et les coûts associés aux utilisateurs de la classe sont établis à partir d'un taux horaire TX_u qui est fonction de la classe.

L'utilisateur u effectue ses activités (ou épisodes) à partir d'un noeud. Le noeud NU_u est le noeud où travaille un utilisateur u , chaque utilisateur étant affecté à un et un seul poste de travail. Connaissant ce poste de travail, il est possible de déterminer le coût du réseau pour la transmission des données à partir du noeud où travaille l'utilisateur (NU_u) jusqu'à tout autre noeud n . Ce coût est noté $CR_{NU_{un}}$.

L'exemple considère 4 classes d'utilisateurs, soit les 3 classes illustrées dans la figure 3 et une autre classe qui correspond aux agents administratifs. Le tableau 4 précise les classes d'utilisateurs et le taux horaire de leurs interventions.

No de la classe	Classes d'utilisateurs	Taux horaire (\$)
1	Conseillers à la clientèle (pharmaciens)	40,00
2	Caissiers ou commis (vendeur)	10,00
3	Représentants	20,00
4	Agents administratifs	15,00

Tableau 4- Classes d'utilisateurs

3.2.3- Description des épisodes

Les épisodes ne sont pas considérés individuellement dans le modèle, mais ils sont considérés par classe (ou type). L'ensemble des épisodes d'une classe spécifique est noté E et le nombre d'épisodes d'une classe donnée, effectué au cours d'une période, est représenté par $\|E\|$. Il existe plusieurs classes d'épisodes dans le système d'information; ces classes forment l'ensemble des classes d'épisodes du système. Cet ensemble est représenté par la variable \mathcal{E} , $\|\mathcal{E}\|$ étant le nombre de classes d'épisodes du système.

Dans un intervalle de temps donné, un utilisateur est en mesure d'effectuer un certain nombre de fois un épisode d'un type donné. Ce nombre d'épisodes, noté FE_{uE} , représente la fréquence d'utilisation des épisodes du type E , par un utilisateur de type u , au cours de la période. De plus, un usager quelconque prendra en moyenne un temps TE_E pour faire un épisode de type E . Notons que

$$\|E\| = \sum_{u \in U} FE_{uE} \cdot NR_{NU_u}$$

où NR_{NU_u} correspond au nombre de noeuds réels correspondant au noeud virtuel où travaille l'utilisateur de type u .

Nous avons mentionné plus haut que chaque utilisateur entraîne des coûts lors de la réalisation d'épisodes. Ces coûts (notés CP_u) seront calculés comme une fonction du nombre d'épisodes effectués par l'utilisateur au cours d'une certaine période (FE_{uE}), du temps moyen de réalisation d'un épisode d'un type spécifique (TE_E), du taux horaire (TX_u) et du nombre de noeuds réels correspondant au noeud virtuel où travaille l'utilisateur (NR_{NU_u}). C'est-à-dire que

$$CP_u = TX_u \cdot \sum_{E \in \mathcal{E}} (FE_{uE} \cdot NR_{NU_u} \cdot TE_E)$$

Le tableau 5 identifie les 7 types d'épisodes pris en compte dans l'exemple, les bénéfices unitaires bruts qui résultent de l'exécution de chaque épisode ainsi que la durée qui correspond au temps d'intervention de l'utilisateur chargé de l'épisode. On doit noter qu'il est souvent difficile à une organisation de préciser les bénéfices spécifiques d'un épisode donné (B_E), et que les bénéfices présentés dans le tableau résultent d'hypothèses qui sont relativement imprécises.

No de l'épisode	Types d'épisodes	Bénéfices unitaires (\$)	Durée (min)
1	Vente spécialisée	15,00	10,0
2	Autre vente	2,00	2,0
3	Crédit ou retour	-2,10	2,0
4	Services spéciaux	0.00	5,0
5	Traiter les commandes	0.00	20,0
6	Changer les prix	0.00	120,0
7	Vérifier la disponibilité	0.00	5,0

Tableau 5- Caractéristiques des épisodes

3.2.4- Description des processus informatiques

On note un processus par p . Les processus peuvent être classés selon certaines caractéristiques qui leur sont reconnues ou selon les fonctions qu'ils réalisent (vente, consultation, etc.); la variable P représente l'ensemble de tous les processus du système d'information.

Les processus qui sont exécutés par les utilisateurs du système correspondent aux groupes de traitement requis par les épisodes. Ainsi, un épisode de vente spécialisée devrait engendrer l'exécution du processus de même nom ainsi que ceux de traitement des clients et de traitement des produits. Le tableau 6 présente la liste de tous les groupes de traitement inclus dans le système.

No du groupe	Groupes de traitement (ou processus)
1	Traitement des clients
2	Traitement des produits
3	Vente spécialisée
4	Autres ventes
5	Crédit ou retour
6	Traitement des commandes aux fournisseurs
7	Changement des prix
8	Vérification de la disponibilité
9	Validation (chèques, etc.)

Tableau 6- Groupes de traitements (ou processus)

3.2.5- Description des données

Comme mentionné précédemment, on distingue entre les instances (enregistrements) de données et les classes de données (notées D). Le nombre d'instances (enregistrements) de la classe D est noté par $\| D \|$; la variable L_D représente la longueur moyenne d'un enregistrement de la classe D . De plus, la variable \mathcal{D} est l'ensemble de toutes les classes de données du système, et $\| \mathcal{D} \|$ est le nombre de classes de données du système.

La matrice de localisation des données de la classe D est représentée par la variable ND_{Dn} qui indique l'existence ou non d'une copie de la classe de données D au noeud n ; la copie principale des données de la classe D étant stockée au noeud représenté par la variable NP_D . Cette copie est la seule de la classe qui puisse être modifiée. Après chaque modification, elle est dupliquée sur les noeuds où se trouvent les copies supplémentaires. Les éléments ND_{Dn} sont définis de la façon suivante :

$$ND_{Dn} = \begin{cases} 1 & \text{si } \exists \text{ une copie de } D \text{ à la position } n, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

De façon générale, les données correspondent à des informations manipulées ou stockées dans le système, telles que des tables d'identification pour les clients, les produits, les commandes, les ventes et les crédits, la liste des prix ainsi que des informations comptables. Le tableau 7 précise quels sont les domaines des données qui sont utilisées dans l'exemple. Les logiciels utilisés dans la réalisation des processus constituent aussi des ensembles de données qui sont stockés à différents noeuds et qui doivent être lus afin d'être exécutés. Conséquemment, le tableau 8 précise les domaines des données qui sont ainsi définis et utilisés.

No du domaine	Domaines de données de type information
1	Dossiers des clients
2	Dossiers des produits spécialisés
3	Dossiers des autres produits
4	Registre des ventes spécialisées
5	Registre des autres ventes
6	Registre des commandes
7	Dossiers des fournisseurs

Tableau 7- Domaines de données de type information

No du domaine	Domaines de données de type logiciel
8	Programme de traitement des clients
9	Programme de traitement des produits
10	Programme de vente spécialisée
11	Programme de ventes (autres produits)
12	Programme de crédit ou retour
13	Programme de traitement des commandes
14	Programme de changement des prix
15	Programme de vérification de la disponibilité
16	Programme de validation (chèques, etc.)

Tableau 8- Domaines de données de type logiciel

3.2.6- Description du réseau

Les noeuds du système sont inter-reliés par des lignes de communication ayant une certaine capacité $V_{nn'}$ et composent ainsi un environnement de traitement réparti selon une topologie donnée. Chaque noeud peut communiquer avec les autres noeuds, soit directement, soit par l'intermédiaire d'autres noeuds. Dans l'un ou l'autre cas, on dit qu'il existe un chemin entre un noeud et un autre. La variable $CH_{nn'}$ donne la liste ordonnée des noeuds composant le chemin entre n et n' (inclusivement), avec $CH_{nn'}(i)$ le $i^{\text{ème}}$ élément de la liste et $\|CH_{nn'}\|$ le nombre de noeuds qui composent le chemin. S'il existe plusieurs chemins, ou possibilités, pour accéder aux ressources disponibles sur un noeud, seul le chemin le moins coûteux¹ est considéré. L'utilisation d'un noeud intermédiaire n'' , lors de la transmission d'un enregistrement de classe D entre n et n' , prend un temps $T_{Dnn'n''}$. Ce temps est équivalent au délai moyen de communication en lecture/écriture sur disque au noeud n'' si $n'' \in CH_{nn'}$, soit $K_{n''}$ et vaut 0 dans le cas contraire.

Le tableau 9 présente les principales caractéristiques des lignes de communication entre les noeuds de l'exemple; ce tableau suppose que ces caractéristiques sont symétriques, c'est-à-dire que les coûts et la vitesse de communication d'un noeud A vers un noeud B sont les mêmes que du noeud B vers le noeud A.

¹ On pourrait aussi considérer le chemin le plus rapide.

Noeud d'origine (A)	Noeud de destination (B)	Vitesse de la ligne (kbps)	Coûts pour transmettre 1000 octets (\$)
1	4	16 000	0,00
2	4	16 000	0,00
3	5	14,4	0,00
4	5	144	0,0002546
5	6	16 000	0,00
5	7	16 000	0,00

Tableau 9- Caractéristiques des lignes

Les lignes servent à transmettre des données entre les noeuds, et les caractéristiques du chemin entre deux noeuds dépendent des caractéristiques des lignes qui font partie du chemin entre ces noeuds. Ainsi, le chemin qui serait franchi pour transmettre des données du noeud 1 vers le noeud 5 serait formé de la portion entre le noeud 1 et le noeud 4 et de la portion entre le noeud 4 et le noeud 5; le coût total serait le total des coûts de toutes les portions, soit 0,0002546\$ pour 1000 octets. Cette dernière valeur semble faible, mais représente le coût d'une ligne RNIS utilisée 15 heures par jour ayant un coût mensuel d'environ 600 \$.

3.2.7- Utilisation des ressources

Les accès en lecture et en mise à jour aux diverses données ne sont pas seulement fonction des processus mais aussi du type d'épisodes qui utilise ces processus, les privilèges d'accès à certaines données pouvant être limités selon le type d'épisodes. Ainsi, un même processus n'accèdera pas nécessairement aux mêmes données, en fonction de l'épisode. En conséquence, nous définissons FL_{DEp} et FW_{DEp} comme étant respectivement la fréquence moyenne d'accès en lecture et en mise à jour, via un processus, pour un type d'épisodes. Ces variables ont les formes respectives suivantes :

$$FL_{DEp} = FP_{pE} \cdot AL_{Dp}$$

$$FW_{DEp} = FP_{pE} \cdot AW_{Dp}$$

où FP_{pE} , AL_{Dp} et AW_{Dp} représentent respectivement la fréquence d'appel d'un processus p par un épisode E et les nombres d'accès en lecture et en écriture d'un ensemble de données D par une exécution d'un processus p .

On peut étendre cette logique aux utilisateurs. On désignera par FL_{Dup} et FW_{Dup} le nombre d'accès par l'utilisateur u aux données de classe D , via le processus p au cours d'une période, en lecture et en mise à jour, respectivement. Ces deux dernières variables sont calculées par les formules :

$$FL_{Dup} = \sum_{E \in \mathcal{E}} FE_{uE} \cdot NR_{Nu_u} \cdot FL_{DEp}$$

$$FW_{Dup} = \sum_{E \in \mathcal{E}} FE_{uE} \cdot NR_{Nu_u} \cdot FW_{DEp}$$

Un utilisateur u emploie une machine précise, pour accéder à certaines données, selon des droits qui lui sont attribués, par le biais d'un ou plusieurs processus de traitement, en vue de réaliser un épisode. La transmission de ces données (correspondant à une classe précise) pour l'utilisateur u implique un coût CD_{Du} calculé de la façon suivante:

$$CD_{Du} = L_D \cdot \min_{n \in N} \{CR_{NU_{un}} \cdot ND_{Dn} \mid ND_{Dn} \neq 0\}$$

En plus de ces deux variables, le modèle de répartition permet également de calculer le temps total de transmission des données entre les noeuds n et n' .

$$TR_{Dnn'} = \begin{cases} \frac{LD}{V_{nn'}} & \text{si } n \text{ et } n' \text{ sont directement connectés} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Pour poursuivre dans la même veine, le modèle permet aussi de déterminer le temps réseau sur le segment entre les noeuds n et n' ($TC_{nn'}$). Ainsi, pour chaque segment, on calcule le temps réseau. Pour évaluer ce temps, on calcule le volume de données transférées (en lecture et en mise à jour) lors de l'exécution de tous les processus, pour chacun des utilisateurs. On peut alors évaluer le temps nécessaire pour transférer ces données pour chaque segment du réseau impliqué dans l'exécution de ces processus. Le temps par segment est obtenu en divisant le temps total d'utilisation pour tous les segments identiques, par le nombre de copies distinctes de ce segment. Le calcul est obtenu par l'opération suivante :

```

for  $D \in \mathcal{D}$ 
  for  $u \in U$ 
    for  $p \in P$ 
      for  $i = 1$  and  $i < \| CH_{NU_u NP_D} \|$ 
         $n = CH_{NU_u NP_D}(i)$ 
         $n' = CH_{NU_u NP_D}(i + 1)$ 
         $TC_{nn'} = TC_{nn'} + FW_{Dup} \cdot TR_{Dnn'} / \max\{NR_n, NR_{n'}\}$ 
         $TC_{n'n} = TC_{n'n} + FW_{Dup} \cdot TR_{Dnn'} / \max\{NR_n, NR_{n'}\}$ 
      end-for
      for  $i = 1$  and  $i < \| CH_{NO_{Du} NU_u} \|$ 
         $n = CH_{NO_{Du} NU_u}(i)$ 
         $n' = CH_{NO_{Du} NU_u}(i + 1)$ 
         $TC_{nn'} = TC_{nn'} + FL_{Dup} \cdot TR_{Dnn'} / \max\{NR_n, NR_{n'}\}$ 
         $TC_{n'n} = TC_{n'n} + FL_{Dup} \cdot TR_{Dnn'} / \max\{NR_n, NR_{n'}\}$ 
      end-for
    end-for
  end-for
  for  $n \in N$  and  $n \neq NP_D$ 
    for  $i = 1$   $i < \| CH_{n NP_D} \|$ 
       $n' = CH_{n NP_D}(i)$ 
       $n'' = CH_{n NP_D}(i + 1)$ 
       $TC_{n'n''} = TC_{n'n''} + FW_{Dup} \cdot TR_{Dn'n''} / \max\{NR_{n'}, NR_{n''}\}$ 
       $TC_{n''n'} = TC_{n''n'} + FW_{Dup} \cdot TR_{Dn'n''} / \max\{NR_{n'}, NR_{n''}\}$ 
    end-for
  end-for
end-for

```

De manière plus spécifique encore, chaque noeud est aussi considéré individuellement quant à son utilisation. Ainsi, le coût d'utilisation d'un ordinateur au noeud n (CT_n) est fonction du coût d'acquisition (CA_n) et de l'estimation du temps d'utilisation au cours d'une certaine période (TM_n)

$$CT_n = \frac{CA_n}{TM_n} \quad \text{si } TM_n > 1 \text{ et } CA_n \text{ défini}$$

avec

$$TM_n = \begin{cases} \frac{T_u}{NR_n} + \sum_{u \in U} \sum_{P \in P} \frac{TL_{nuD} + TW_{nuD}}{NR_n} & \text{si } \exists u \mid NU_u = n \\ \sum_{D \in \mathcal{D}} \sum_{\substack{n' \in N \\ n' \neq NP_D}} \frac{TD_{NP_D n'} \cdot FM_D}{NR_n} + \sum_{u \in U} \sum_{P \in P} \frac{TL_{nuD} + TW_{nuD}}{NR_n} & \text{sinon} \end{cases}$$

$$T_u = \sum_{E \in \mathcal{E}} TE_E \cdot NR_{NU_u} \cdot FE_{uE}$$

$$TL_{nuD} = \sum_{p \in P} FL_{Dup} \cdot T_{DNO_{Du} NU_u n}$$

$$TW_{nuD} = \sum_{p \in P} FW_{Dup} \cdot T_{DNU_u NP_D n}$$

où T_u est le temps que les utilisateurs de type u consacrent à l'exécution des épisodes, TL_{nuD} et TW_{nuD} sont les temps de transfert des données D au noeud n , lorsqu'utilisées par l'utilisateur u , en lecture et en mise à jour, respectivement.

La duplication des données entraîne (1) des coûts de stockage des données à un noeud (CS_{Dn}), basés sur les coûts d'utilisation du média (CM_n), la matrice de localisation des données à ce noeud (ND_{Dn}) et l'espace disque utilisé par la classe de données (c.-à-d. $L_D \cdot \|D\|$); et (2) des coûts de mise à jour des copies (CC_D) à partir de la copie principale, basés sur la fréquence de mise à jour des données (FM_D) et les coûts du réseau pour la transmission des données à un noeud n , à partir de la copie principale (CR_{nNP_D}). Avec

$$CS_{Dn} = L_D \cdot CM_n \cdot \|D\| \cdot ND_{Dn}$$

$$CC_D = FM_D \cdot L_D \cdot \sum_{\substack{n \in N \\ n \neq NP_D}} \left[CR_{nNP_D n} \cdot NR_n + \sum_{i=1}^{i \leq \|CH_{nNP_D n}\|} K_{CH_{nNP_D n}(i)} \cdot CT_{CH_{nNP_D n}(i)} \right] \cdot ND_{Dn}$$

Ce modèle de répartition présente d'autres caractéristiques intéressantes. Par exemple, il offre la possibilité d'identifier parmi les noeuds du système d'information le noeud minimisant le coût de transfert des données d'une classe D , pour l'usager u , c'est-à-dire NO_{Du} .

$$NO_{Du} = n \mid CR_{NU_u n} \cdot L_D = CD_{Du} \text{ et } ND_{Dn} \neq 0$$

La mise en place d'un système d'information, la modification du fonctionnement ou la configuration du système en place entraînent un investissement. Comme nous l'avons vu précédemment, cet investissement se traduit par des coûts divers et se justifie par les bénéfices futurs du système. Ainsi, le but de notre modèle est de proposer une solution pour la répartition des données et des traitements qui permettrait de tirer le maximum de bénéfices de l'investissement consenti. Le modèle permet de calculer les bénéfices nets (\mathfrak{B}) de la solution proposée, qui sont calculés à partir du coût total de la solution proposée (C) et des bénéfices bruts de cette solution (B). Ces derniers sont évalués comme suit :

$$B = \sum_{E \in \mathcal{E}} B_E \cdot \|E\|$$

Le coût total de la solution intègre les coûts de sauvegarde des données (CS_{Dn}), les coûts de copie des données (CC_D), les coûts d'utilisation de l'ensemble des ordinateurs, les coûts de copie du réseau pour la transmission des données entre les différents noeuds et les coûts d'utilisation de l'ordinateur au noeud n (CT_n) et du système d'information (notés CU_u), par tous les usagers du système. Ces derniers coûts font intervenir dans leur calcul les coûts (1) de main-d'oeuvre, (2) d'utilisation de l'ordinateur pour un

utilisateur donné et un noeud précis, et (3) le temps d'utilisation du système au cours de la période par l'utilisateur qui se trouve à ce noeud. L'expression générale de la fonction de coût est donc:

$$C = \sum_{D \in \mathcal{D}} \left\{ \sum_{u \in U} \left[\sum_{P \in \mathcal{P}} (FL_{Dup} \cdot CD_{Du} + FW_{Dup} \cdot CR_{NU_uNP_D} \cdot L_D) \right] \right. \\ \left. + \sum_{n \in N} CT_n \cdot \sum_{u \in U} [TL_{nuD} + TW_{nuD}] + CC_D + \sum_{n \in N} CS_{Dn} \right\} \\ + \sum_{u \in U} CU_u$$

où

$$CU_u = CP_u + CT_{NU_u} \cdot T_u$$

Cette expression intègre tous les paramètres importants à la configuration d'un système d'information. Finalement, les bénéfices nets d'utilisation du système d'information pour une période donnée sont calculés par la formule :

$$\mathcal{B} = B - C$$

Ce modèle de répartition des ressources dans un système réparti est donc essentiellement basé sur l'évaluation des coûts et des performances d'utilisation. Une répartition optimale des ressources, en l'occurrence les données et les processus pour le cas que nous avons étudié, doit donc tenir compte de ces deux principaux critères. Dans la section suivante, nous présentons une analyse des critères ayant servi à l'élaboration du modèle.

4- Critères de répartition des ressources

Nous avons identifié les critères mesurables propres au modèle de répartition. Les critères que nous utilisons pour (1) déterminer la localisation de la copie principale et (2) justifier la duplication d'une donnée sur un noeud reposent essentiellement sur deux aspects : le coût et le temps. Il s'agit donc de mesurer l'influence de la modification de nos variables de décision sur ces deux éléments, nos variables de décision étant NP_D et ND_{Dn} .

Dans le cas de la variable ND_{Dn} , on remarque que pour améliorer la performance du système, il est souvent avantageux d'avoir plusieurs copies de la même donnée. Cependant, il s'avère que cet avantage peut n'être qu'apparent, car si l'intérêt de la duplication est le rapprochement des données du poste de travail de l'utilisateur, elle ne se fait pas sans conséquences sur les deux aspects que nous mesurons : coût et temps. La duplication d'une donnée (1) implique l'augmentation des coûts de sauvegarde et des coûts de copie, et (2) influence potentiellement à la baisse les coûts d'utilisation de cette donnée par un utilisateur lorsque le coût unitaire de transmission entre ce nouveau noeud et l'utilisateur est plus petit que dans la répartition précédente. Globalement, pour dupliquer une donnée, on doit s'assurer que l'inégalité suivante est vérifiée :

$$CU_u - (CS_{Dn} + CC_D) > CU'_u - (CS'_{Dn} + CC'_D)$$

Cette équation traduit le fait que pour dupliquer une donnée, la somme de l'ensemble des coûts du système doit être plus petite dans la nouvelle répartition que dans la précédente. Il s'agit donc de calculer la valeur du coût correspondant à une répartition initiale et la valeur du coût d'une autre répartition, dans le but de comparer ainsi les coûts de plusieurs répartitions.

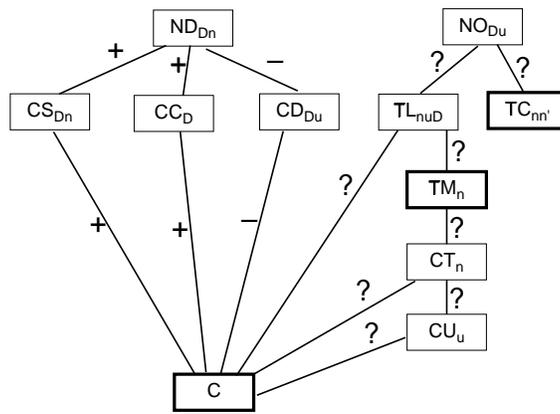


Figure 4- Influence de la modification de ND_{Dn} sur d'autres variables

De plus, la duplication d'une donnée entraîne en général la baisse des temps d'utilisation des connexions et d'accès aux données. Elle entraîne parallèlement l'augmentation du temps d'utilisation d'une machine. En résumé, pour dupliquer une donnée sur un noeud, on doit s'assurer que la nouvelle répartition n'entraîne pas des coûts et des temps plus élevés que dans la répartition précédente. La figure 4 illustre l'influence à la hausse (+), à la baisse (-) ou non-mesurable (?) qu'apporte la duplication d'un ensemble de données aux coûts globaux (C), au temps d'utilisation d'un noeud (TM_n) et au temps d'utilisation des différents segments de réseau ($TC_{nn'}$).

Par ailleurs, on peut également augmenter la performance d'un système d'information en changeant la localisation de la copie principale d'une donnée. L'adoption de cette stratégie sera justifiée par la baisse (1) du temps d'utilisation des connexions et d'accès aux données, et (2) des coûts d'utilisation du système et de copie des données. Pour tirer le maximum de profit de ce déplacement dans notre modèle, il faudrait localiser la copie principale sur tous les noeuds afin de calculer et de comparer les gains ou pertes en fonction du temps et du coût. Suite à cet exercice, on serait en mesure de savoir lequel des noeuds optimise la localisation de ladite copie.

La figure 5 présente les liens entre les coûts du système (C) et la localisation de la copie principale (NP_D). Contrairement à la figure précédente, celle-ci étudie l'impact de la position d'une copie particulière (copie principale) sur d'autres variables du modèle, sans indiquer si cet impact est positif ou négatif.

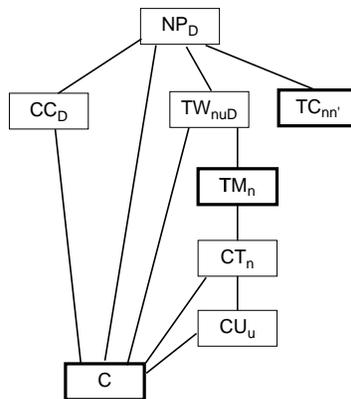


Figure 5- Influence du changement de NP_D sur d'autres variables

5- Application du modèle

L'application du modèle vise à déterminer la répartition optimale des données et des processus sur les différents noeuds. Différents facteurs peuvent être considérés pour juger de l'optimalité d'une répartition,

par exemple la maximisation des bénéfices, la minimisation des coûts et la maximisation de la performance locale à certains noeuds ou de la performance globale du système. En fait, l'application du modèle dans un cas spécifique demanderait l'expression d'une fonction objectif qui comprendrait une combinaison de ces facteurs. Dans le cas de l'exemple, on a considéré la maximisation de la performance du système, au niveau des ordinateurs et au niveau des lignes, et la minimisation des coûts au niveau des données et au niveau des utilisateurs.

Après avoir défini les principales composantes du système, il est utile de présenter tout d'abord la répartition initiale des ensembles de données de type information et de type logiciel afin de pouvoir étudier les améliorations possibles qui permettront d'obtenir la répartition optimale. La répartition initiale est présentée dans le tableau 10.

L'optimalité d'une répartition dépend évidemment de la charge de travail que le système doit prendre en compte. Cette charge de travail est caractérisée par la répartition des épisodes au cours d'une période donnée. Une telle répartition est présentée dans le tableau 11 en terme des épisodes dont chacun des utilisateurs est responsable au cours d'une journée; cette répartition hypothétique a été construite pour illustrer le fonctionnement du modèle appliqué à l'exemple, et certaines des valeurs sont très imprécises en regard d'une distribution réelle.

Noeud	Ensembles de données
3	9
5	4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
6	2, 3, 7
7	1

Tableau 10- Répartition initiale des ensembles de données

Types d'épisodes		Classes d'utilisateurs		Fréquence des épisodes par utilisateur par jour
No de l'épisode	Identification	No de la classe	Identification	
1	Vente spécialisée	1	Conseillers à la clientèle	50,0
2	Autre vente	1	Conseillers à la clientèle	5,0
2	Autre vente	2	Caissiers ou commis	270,0
3	Crédit ou retour	1	Conseillers à la clientèle	0,184
3	Crédit ou retour	2	Caissiers ou commis	18,216
4	Services spéciaux	1	Conseillers à la clientèle	25,0
5	Traiter les commandes	4	Agents administratifs	1,0
6	Changer les prix	4	Agents administratifs	1,0
7	Vérifier la disponibilité	3	Représentants	1,0
7	Vérifier la disponibilité	4	Agents administratifs	4,0

Tableau 11- Charge de travail: fréquence des épisodes par utilisateur par jour

Performance du système (temps d'utilisation)				
Ordinateurs		Lignes		
Noeud	Heures/jour	Noeud A	Noeud B	Heures/jour
1	9,61	1	4	0,10
2	10,59	2	4	0,05
3	0,09	3	5	61,27
4	2,75	4	5	47,53
5	0,19	5	6	0,01
6	0,13	5	7	0,00
7	0,03			

Tableau 12- Performance initiale du système

Coûts quotidiens d'utilisation du système			
Données		Utilisateurs	
Ensemble de données	Coûts (\$)	Classe d'utilisateurs	Coûts (\$)
1	0,68	1	1713,46
2	5,48	2	600,36
3	13,61	3	9,22
4	0,16	4	95,45
5	0,71		
6	0,00		
7	0,08		
8	2,03		
9	19,17		
10	20,04		
11	13,69		
12	1,39		
13	0,04		
14	6,15		
15	5,11		
16	73,22		
Total:	161,56	Total:	2418,50
Coûts quotidiens totaux: 2580,06\$			

Tableau 13- Coûts initiaux du système

La performance initiale du système en ce qui a trait aux ordinateurs et aux lignes est présentée dans le tableau 12, alors que les coûts du système, respectivement pour les données et les utilisateurs, sont présentés dans le tableau 13.

Cette distribution initiale ne résulte pas d'une recherche formelle de l'efficacité maximale, mais peut avoir été décidée à la suite de perceptions des responsables ou traduire des pratiques de l'entreprise. La vérification des tableaux 12 et 13 permet de constater que dans ces conditions, le système engendre des temps et des coûts d'utilisation importants, et on peut supposer que la répartition n'est pas optimale. Il faut noter que dans la répartition des ressources, on n'a pas tenu compte de certaines propriétés des noeuds telles que le taux de mise à jour des données stockées et les temps de transfert entre les noeuds. Lorsqu'il est nécessaire de prendre beaucoup de temps pour transférer des données entre deux noeuds, il est probable qu'il en résultera une augmentation des coûts d'utilisation du lien réseau utilisé. En définitive, les résultats de la répartition initiale sont tels que le coût global quotidien d'utilisation du système est de 2580,06\$, et que les plus grands temps réseau moyen sont 61,27 heures par jour entre les noeuds 3 et 5 et de 47,53 entre les noeuds 4 et 5, ce qui n'a évidemment pas de sens et devrait être corrigé.

Pour être optimale, la distribution des données et des logiciels ne doit pas résulter dans des temps réseau qui dépassent certaines limites telles que celles imposées par la disponibilité des ressources et dans des coûts supérieurs à la partie du budget de l'organisation disponible pour de telles dépenses. Pour localiser une donnée, un logiciel, un programme ou un ensemble de données ou de programmes sur un ordinateur donné, il faut que les coûts ne soit pas élevés et aussi que les temps d'accès et de traitement en lecture ou en écriture à ces données soient raisonnables. En fait, la répartition optimale serait celle qui optimiserait une fonction objectif qui combinerait des facteurs de performance et de coûts.

La répartition finale a été obtenue en déplaçant les fichiers clients et produits, qui étaient sur les noeuds 6 et 7, vers le serveur de réseau local de type 5 pour la simple raison que les appareils sur lesquels ils se trouvaient étaient sous-utilisés (temps d'utilisation très faible et appareils servant uniquement au stockage de ces fichiers). Suite à ce déplacement, les noeuds 6 et 7 n'interviennent plus directement dans le fonctionnement du système. De plus, il est avantageux de dupliquer les ensembles de données et de placer les copies le plus près possible des utilisateurs, dans la mesure où les coûts de stockage et de mise à jour sont inférieurs aux coûts de transmission pour des fichiers centralisés.

Le critère utilisé pour déterminer le nombre maximum de copies d'un ensemble de données est basé sur les résultats de Casey [Casey 72], qui conclut que le nombre maximal de copies est proportionnel au ratio des accès en lecture sur les accès en écriture. Dans notre contexte, le nombre maximal de copies (M_D) de l'ensemble D est obtenu par

$$M_D = 1 + \left\lfloor \frac{\sum_{p \in P} \sum_{u \in U} FL_{Dup}}{\sum_{p \in P} \sum_{u \in U} FW_{Dup}} \right\rfloor$$

Le tableau 14 donne la répartition finale des ensembles de données, alors que le tableau 15 donne le nombre maximal de copies pour chaque ensemble de données et le nombre réel de copies.

Noeud	Ensembles de données
1	1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 16
2	1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16
3	2, 3, 7, 9
4	2, 3, 7, 9, 13, 14, 15
5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16

Tableau 14- Répartition finale des ensembles de données

Ensemble de données	Nombre maximal de copies	Nombre réel de copies
1	60	3
2	22	5
3	6	5
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	5	5
8	infini	3
9	infini	5
10	infini	2
11	infini	3
12	infini	3
13	infini	2
14	infini	2
15	infini	2
16	infini	3

Tableau15- Nombre maximal de copies par ensemble de données

On remarque que les ensembles de données correspondant aux logiciels peuvent être dupliqués à l'infini, ces derniers n'étant jamais mis à jour. Les caractéristiques de performance et de coûts de la répartition finale sont présentées respectivement dans les tableaux 16 et 17.

Performance du système (temps d'utilisation)				
Ordinateurs		Lignes		
Noeud	Heures/jour	Noeud 1	Noeud 2	Heures/jour
1	9,61	1	4	0,00
2	10,59	2	4	0,00
3	0,08	3	5	0,27
4	2,68	4	5	0,12
5	0,09			
6	0,00			
7	0,00			

Tableau 16- Performance finale du système

Les coûts globaux de cette répartition sont de 2424,21\$/jour, soit une diminution de 155,85\$ par rapport à la répartition initiale. De plus, le plus grand temps réseau moyen est de 0,27 heures par jour, encore entre les noeuds 3 et 5, soit une diminution de 61,00 heures par rapport à la configuration initiale. On note donc une amélioration significative sous l'angle de la performance. On pourrait poursuivre la recherche de la distribution optimale, car dans certains cas, il est possible d'apporter des améliorations supplémentaires à l'un des deux facteurs pris séparément, mais cela peut aussi se traduire par une

détérioration de l'autre facteur. Tout repose en fait sur la définition de l'optimalité considérée dans le cas traité.

Coûts quotidiens d'utilisation du système			
Données		Utilisateurs	
Ensemble de données	Coûts (\$)	Classe d'utilisateurs	Coûts (\$)
1	0,04	1	1713,46
2	0,55	2	600,36
3	2,51	3	9,72
4	0,20	4	95,86
5	1,36		
6	0,00		
7	0,03		
8	0,00		
9	0,00		
10	0,01		
11	0,00		
12	0,00		
13	0,01		
14	0,03		
15	0,04		
16	0,02		
Total:	4,81	Total:	2419,40
Coûts quotidiens totaux: 2424,21\$			

Tableau 17- Coûts finals du système

6- Conclusion

Cet article présente un modèle pour obtenir la répartition optimale des données et des processus dans les systèmes répartis. Ainsi, par le biais d'un modèle mathématique, on a établi que la détermination de la meilleure localisation et du nombre des données et des processus dans un système réparti peut entraîner une baisse des coûts d'utilisation du système, et par conséquent une augmentation des bénéfices.

L'exemple qui a été analysé permet de conclure qu'une bonne répartition des données et des processus est nécessaire pour garantir une exploitation judicieuse et rentable de l'ensemble des ressources informatiques disponibles. Ainsi, après avoir procédé à une répartition initiale basée sur un ensemble de critères spécifiques à une entreprise particulière, il est possible d'améliorer cette première répartition afin d'augmenter les bénéfices et de diminuer les coûts d'exploitation. La répartition finale aura essentiellement pour but de rentabiliser l'utilisation des liens entre les noeuds (diminuant ainsi les coûts de transmission), et même de reconsidérer les composantes physiques du système. Dans le cas spécifique de l'exemple, il y a eu diminution du nombre de machines utilisées. Dans d'autres cas, il peut s'agir de changement du type de lien (par exemple, le passage d'un réseau privé à un réseau public) ou d'une composante physique du système (par exemple, la vitesse d'une ligne de communication ou la puissance d'un ordinateur, etc.).

Les critères à utiliser pour caractériser l'optimalité d'une répartition à rechercher doivent être précisés dans chaque cas, et les travaux réalisés par les auteurs ont permis de dégager quelques principes généraux pour déterminer ces critères. Par exemple, pour maximiser la performance du système et diminuer les coûts de traitement, de stockage et de transmission, il semble préférable qu'une copie des logiciels servant aux processus de traitement exécutés par chaque utilisateur soit stockée en permanence sur le poste de travail de l'utilisateur et que cette copie soit mise à jour lorsque des modifications sont apportées aux logiciels.

En outre, il paraît avantageux de stocker la plupart des ensembles de données le plus près possible de l'endroit où ces données seraient utilisées. Toutefois, la taille et la fréquence de modification de certains ensembles de données, tels que les bases de données sur les clients ou sur les produits, sont beaucoup plus grandes que celles des logiciels, et les travaux ont conduit à tenir compte de ces facteurs dans l'élaboration de règles pour déterminer la répartition optimale.

Finalement, pour chaque ensemble de données et chaque logiciel, suite à la vérification de la meilleure possibilité entre le stockage sur les postes de travail des utilisateurs, sur les serveurs de réseau locaux (ou l'équivalent) auxquels sont attachés ces postes de travail, ou sur un (ou des) ordinateur(s) centralisé(s), il semble que le meilleur critère de répartition à appliquer pour tous les ensembles de données, y compris les logiciels, devrait tenir compte de l'importance relative du nombre de transactions d'écriture par rapport au nombre de transactions de lecture dans les accès aux données.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier la Société de portefeuille du Groupe Desjardins, assurances générales, pour le soutien financier apporté aux activités de recherche qui ont résulté dans l'élaboration du modèle présenté dans cet article.

7- Bibliographie

- [Ardouin 95] P. Ardouin et G. Babin, «*Répartition optimale des processus et des données dans un environnement distribué*», Rapport d'expertise à distribution restreinte, Département d'informatique, Université Laval, septembre 1995.
- [Casey 72] R.G. Casey, «Allocation of Copies of a File in an Information Network», *Proceedings of the Spring Joint Computer Conference* (pp. 617-625), 1992.
- [Chu 69] W. Chu, «Optimal File Allocation in a Multiple Computer System», *IEEE Transactions on Computers*. C-18 (10) (pp. 885-889), October 1969.
- [Coffman 81] E.G. Coffman, E. Gelenbe and B. Plateau, «Optimization of the Number of Copies in a Distributed Data Base», *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-7 (1), January 1981.
- [Gavish 86] B. Gavish and H. Pirkul, «Computers and Database Location in Distributed Computer Systems», *IEEE Transactions on Computers*. C-35 (7) (pp. 583-590), July 1986.
- [Laning 83] L.J. Laning and M.S. Leonard, «File Allocation in a Distributed Computer Communication Network», *IEEE Transactions on Computers*. C-32 (3) (pp. 232-244), March 1983.
- [Morgan 77] H.L. Morgan and K.D. Levin, «Optimal Program and Data Locations in Computer Networks», *Communications of the ACM*, 20 (5) (pp. 315-321), 1977.
- [Ngaining 94] M.M. Ngaining, G. Babin et P. Ardouin, «Un modèle d'évaluation de la répartition des données et des processus dans un environnement distribué», Communication au 63^e Congrès de l'ACFAS, Chicoutimi (Québec), mai 1994.

- [Ngaining 96] M.M. Ngaining, «*Approche dynamique de la répartition optimale des données et des processus dans les systèmes répartis*», Mémoire de maîtrise, Département d'informatique, Université Laval, mars 1996.
- [Whitney 70] V.K.M. Whitney, «*A Study of Optimal File Assignment and Communication Network Configuration in Remote Access Computer Message Processing and Communications Systems*», Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor (Michigan), March 1970.