



# STOCKAGE ET PCA/PRA

Pierre-Charles WAGREZ – Cabinet Solucom

**mots-clés : STOCKAGE / PCA / PRA**

**L**es données d'une entreprise sont une ressource critique qui doit être préservée pour assurer la continuité de l'entreprise. À ce titre, tout projet de Plan de Continuité d'Activité doit prendre en compte les données. Cet article présente les différentes manières d'assurer la survie des données de manière à pouvoir reprendre ses activités suite à un sinistre.

## 1 Besoins et solutions

La continuité, ou la reprise d'activité introduit deux notions importantes : RTO et RPO, parfois remplacées par DIMA et PDMA en français même si ces notions sont légèrement différentes :

- Le RTO (Recovery Time Objective) ou DIMA/DMIA (Durée d'Interruption Maximale Acceptable). La DIMA est la durée maximale acceptée pendant laquelle le service (ou composant) concerné ne sera pas accessible. Une DIMA de 0 nécessite des mécanismes de rétablissement automatiques sans aucune interruption ;
- Le RPO (Recovery Point Objective) ou PDMA (Perte de Données Maximale Acceptable). La PDMA représente la durée maximale acceptée d'enregistrements de données susceptibles d'être perdues suite à un incident. Une PDMA de 0 implique de récupérer les données dans leur état au moment exact de la coupure, donc sans aucune perte de modification.

À noter que les termes anglais et français sont utilisés de manière identique alors qu'ils diffèrent sur un point important : les termes anglais indiquent un objectif, qui peut ne pas être atteint, et les termes français indiquent une valeur maximale. En toute logique la valeur objectif dans chacun des cas devra évidemment être inférieure à la valeur maximale admissible.

Comme dans tout projet informatique, le Plan de Continuité d'Activité (PCA) de l'entreprise doit formuler des besoins en termes de DIMA et PDMA et le résultat sera un compromis entre les besoins formulés et la réalité technico-économique, c'est-à-dire les solutions qui existent et dont le coût est acceptable en regard du

risque. Les moyens techniques permettant d'atteindre une DIMA et une PDMA à 0 sont évidemment les plus coûteux, voire inexistant dans certains cas.

Dans la pratique, différents besoins existent pour différents domaines du SI, et différentes offres de services internes sont construites, permettant de limiter le coût global.

Deux familles de technologies existent et sont en général combinées, car elles couvrent des types de panne différents :

- La sauvegarde, effectuée à intervalles réguliers, permet de se prémunir contre la perte ou la corruption de données quelle qu'en soit la cause, mais avec une perte de données en général d'une journée, voire plus. Plusieurs jeux de sauvegarde permettent de revenir plus ou moins loin en arrière ;
- La réPLICATION, effectuée en temps réel ou quasi réel, permet d'apporter une perte de données de 0, ou proche de 0, mais ne permet quant à elle que de protéger d'une perte de données liée à une panne, mais pas liée à une mauvaise manipulation, comme une suppression de fichiers, ni contre la corruption suite à un bug logiciel.

## 2 Technologies de sauvegarde

Deux technologies sont rencontrées, et souvent combinées :

- la sauvegarde classique sur bandes, VTL (Virtual Tape Library), disques ou dans le Cloud ;
- les snapshots (locale sur les disques).



## 2.1 La sauvegarde classique

Cette sauvegarde s'effectue à distance à travers le réseau, LAN ou SAN selon les cas, et, outre la nécessité souvent d'arrêt des applicatifs pour déverrouiller les fichiers, elle se caractérise également par des volumes importants et de longues durées, posant parfois problème vis-à-vis des créneaux de maintenance des infrastructures.

Elle est déclinée typiquement en sauvegarde intégrale le week-end et sauvegardes incrémentielles toutes les nuits de la semaine pour réduire le RPO atteignable.

## 2.2 Les snapshots

Ce mécanisme, qui complète les backup plutôt que les remplacer, est basé sur des capacités internes des baies de stockage pour conserver localement une version des données à un moment précis, ce qui permet une grande rapidité et l'absence de flux volumineux sur le réseau de l'entreprise.

On distingue plusieurs variantes principales :

- copy-on-write : ne recopier un bloc que lors d'une opération d'écriture sur celui-ci ;
- clone ou split-mirror : un miroir est créé puis est détaché du volume source au moment souhaité.

De par leur aspect pratique, les snapshots font maintenant partie des fonctions couramment présentes sur les systèmes de stockage.

## 3 Technologies de réPLICATION de données

La réPLICATION consiste à répliquer les données d'une source vers une ou plusieurs cibles. Ce n'est donc pas un mécanisme bidirectionnel comme la synchronisation. Dans la pratique, c'est le mode de réPLICATION des données qui va jouer le rôle le plus important dans l'atteinte du RTO et du RPO visé.

Plusieurs approches sont disponibles et étudiées dans les chapitres qui suivent :

- réPLICATION portée par le stockage (les disques, les baies, le SAN...) ;
- réPLICATION portée par le système de fichiers ;
- réPLICATION portée par le serveur ou son système d'exploitation.

Les cas particuliers des Systèmes de Gestion de Bases de Données et des solutions de virtualisation serveurs, qui amènent tous deux des besoins et des solutions spécifiques, sont également abordés.

## 3.1 RéPLICATION portée par le stockage

### 3.1.1 RéPLICATION portée par les disques

Cette réPLICATION, plutôt portée par le contrôleur des disques que par les disques eux-mêmes, par ailleurs nécessairement locale et ne couvrant ainsi que contre des pannes de disques, va mettre en œuvre les technologies RAID (*Redundant Array of Inexpensive Disks*) [RAID], et plus particulièrement RAID 1 (écriture miroir) et RAID 5 (entrelacement avec parité), voire RAID 6 (entrelacement avec double parité) ou les variantes de RAID 5 et 6.

La figure 1 présente le principe des modes RAID les plus courants.

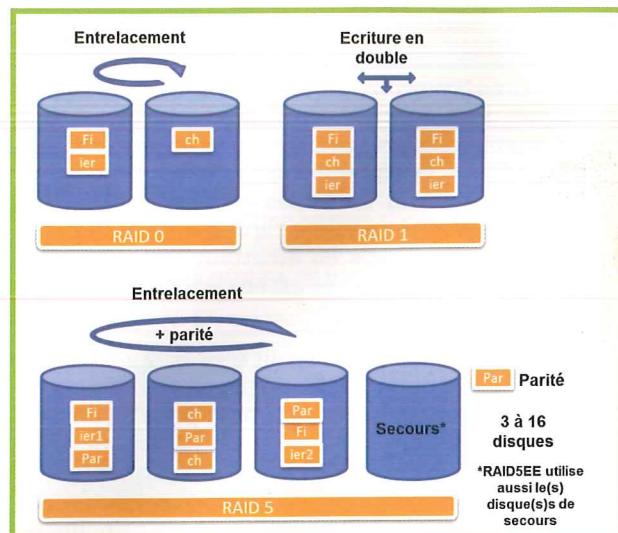


Figure 1 : Modes RAID les plus courants.

Les modes RAID peuvent être combinés. Par exemple RAID 10 correspond à un mode 1+0, c'est-à-dire des grappes de disques en RAID 1 combinées ensuite en RAID 0.

### 3.1.2 RéPLICATION portée par les baies

La réPLICATION portée par les baies s'effectue généralement depuis des volumes ou des groupes de volumes sources, qui sont en lecture/écriture, vers des volumes ou groupes de volumes d'une baie distante et qui sont en général verrouillés en écriture.

Les mécanismes de réPLICATION introduisent la notion de synchronisme [Disaster Recovery] :

- la réPLICATION synchrone est une réPLICATION où l'acquittement d'une écriture n'est envoyé au client que lorsque la donnée a été écrite également sur le volume distant. C'est la solution garantissant

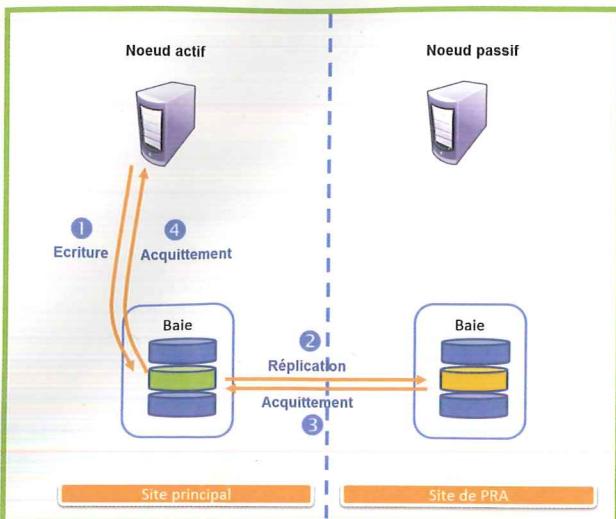


Figure 2 : Fonctionnement de la réPLICATION synchrone.

la perte de données la plus faible. On y retrouve les offres Truecopy de Hitachi, SRDF d'EMC ou encore PPRC d'IBM. La réPLICATION synchrone ajoutant nécessairement une latence lors des allers/retours vers la baie distante, elle est en général limitée à 70-80km. Certaines solutions introduisent un mécanisme « semi-synchrone » qui cherche à optimiser la latence en émettant l'acquittement distant dès que la donnée est en cache sans attendre qu'elle soit sur disque.

**Note :** la latence induite peut être estimée à partir de la vitesse de la lumière dans une fibre optique (~200 000km/s), la distance et la prise en compte de l'aller-retour. Soit 1ms pour 100km de fibre. Du fait des équipements traversés et du cheminement des fibres, on est plus souvent limité à 30 ou 50km à vol d'oiseau. La figure 2 présente le principe de la réPLICATION synchrone.

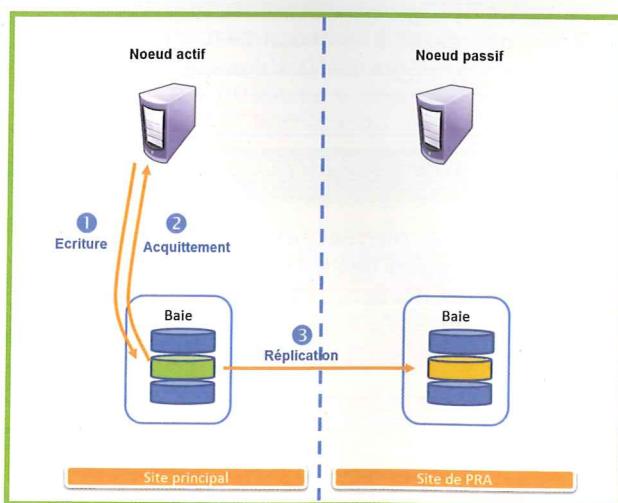


Figure 3 : Fonctionnement de la réPLICATION asynchrone.

- la réPLICATION asynchrone décorelle quant à elle l'écriture sur le distant, qui peut être légèrement décalée. Certains vendeurs implémentent un timestamp et un numéro de séquence pour chaque opération d'écriture afin d'assurer la cohérence des données, tandis que d'autres transmettent des « delta-set » à intervalles réguliers [Disaster Recovery].

La figure 3 présente le principe de la réPLICATION asynchrone.

- la réPLICATION PiT (*Point in Time*) s'appuie sur la création de snapshots à intervalles réguliers (le « point in time ») et la réPLICATION de ce snapshot sur une baie distante. À des fins d'optimisation, c'est en général le delta entre ce snapshot et le précédent qui est répliqué. La figure 4 présente le principe de la réPLICATION Point-in-Time.

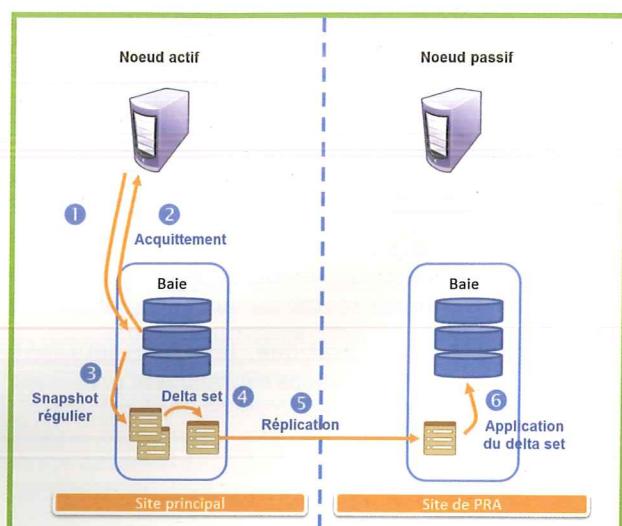


Figure 4 : Fonctionnement de la réPLICATION Point-in-Time.

### 3.1.3 RéPLICATION portée par le SAN

Le SAN, transportant les paquets SCSI, est à même de répliquer lui-même les ordres d'écriture en envoyant une copie vers une deuxième baie de stockage. L'utilisation du SAN pour cette copie a pour avantage d'être indépendant du constructeur et du modèle de baie de stockage.

L'Application Platform de Brocade ou la fonctionnalité SANTap de Cisco [SANTap] permettent de s'intercaler entre les clients et les baies pour ensuite dupliquer les écritures vers un équipement tiers, comme les appliances RecoverPoint d'EMC.

La figure 5 présente le principe de la réPLICATION via le SAN en utilisant SANTap.

Il est également possible de s'appuyer sur des équipements spécifiques placés dans le SAN en coupure entre les clients et les baies permettant d'apporter une couche de virtualisation supplémentaire entre les

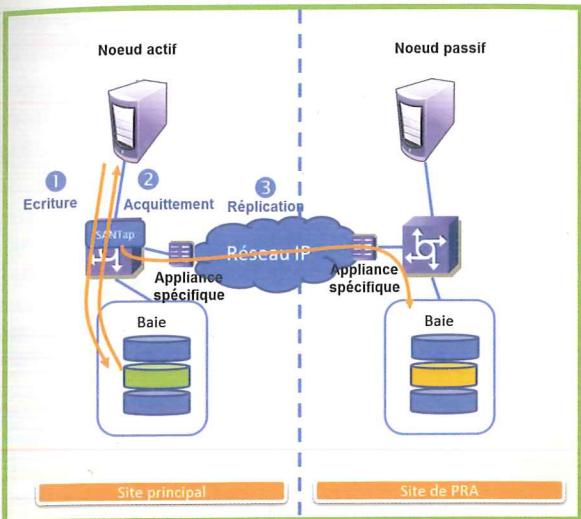


Figure 5 : Fonctionnement de la réplication avec SANTap.

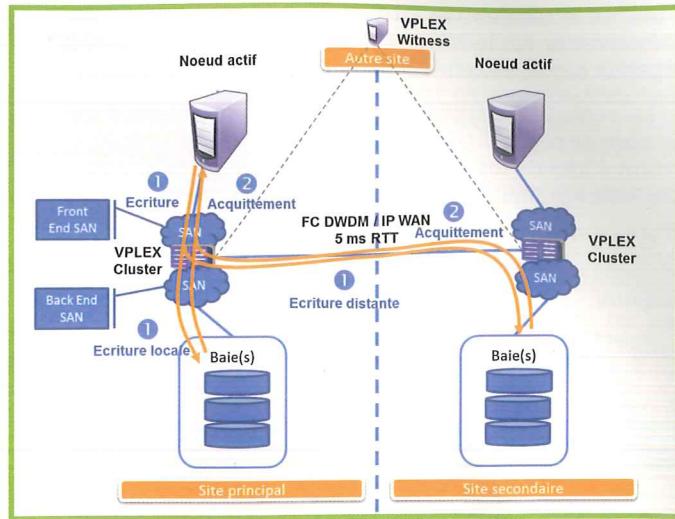


Figure 6 : Fonctionnement de VPLEX Metro.

clients et les baies de disques, qui peuvent dès lors être hétérogènes.

Un exemple de ces solutions est VPLEX d'EMC [**VPLEX**] :

- VPLEX virtualise complètement le stockage effectif, qui peut être réparti sur plusieurs baies différentes localisées sur plusieurs sites dans le cas du VPLEX Metro (RTT max 5ms, soit x dizaines de km) ou Geo (RTT max 50ms, soit x centaines de km).

L'architecture Metro et Geo se distingue par le mode d'écriture : en « write-through » pour le VPLEX Metro (écriture à travers le cache et acquittement par la baie) et « write-back » pour le VPLEX Geo : acquittement par le cache puis écriture sur la baie ;

- une redondance est introduite au niveau du groupe de volumes par un mécanisme de type RAID1 distribué sur les différentes baies (« Distributed RAID1 ») ;
- les deux membres du RAID1 sont accessibles en lecture/écriture et la cohérence des données est assurée par une synchronisation temps réel entre les caches des appliances VPLEX et le passage par le cache pour toute opération ;
- optionnellement, un « VPLEX Witness », situé sur un 3ème site, peut être introduit dans les architectures Métro ou Géo pour traiter les cas de Split-brain.

La figure 6 présente le principe de VPLEX Metro.

## 3.2 Réplication portée par le système de fichiers

De nombreux systèmes de fichiers distribués implémentant de la réplication existent, mais tous ne sont pas déployés à grande échelle dans les entreprises. Un tri est donc effectué pour ne retenir que ceux qui semblent les plus pertinents ou représentatifs.

### 3.2.1 DFS (Distributed File System)

Microsoft dissocie le service DFS du service de réplication (DFSR), chacun pouvant être utilisé séparément de l'autre. DFSR effectue une réplication asynchrone avec quelques limitations importantes : les fichiers ouverts ne sont pas répliqués d'une part et d'autre part il n'y a pas de gestion de verrouillage de fichier entre les membres du cluster et des conflits de mises à jour peuvent exister.

De manière à assurer l'intégrité des données, il est donc primordial d'imposer un fonctionnement en mode actif/passif alors que le système de fichiers ne permet pas nativement d'effectuer ce contrôle.

### 3.2.2 GlusterFS

GlusterFS est un système de fichiers du monde libre, mais propriété de Red Hat via le rachat d>Inktank, qui permet de créer des volumes logiques portés par des serveurs Linux, dénommés des « brick ». Le système de fichiers permet de distribuer les volumes et de les sécuriser en spécifiant un nombre de réplicas [**GlusterFS**].

Le gros des tâches est effectué par le client et il n'y a pas de « Master ». Lors d'une écriture, c'est donc le client qui va pousser les différents réplicas sur les différents serveurs « brick ». Des mécanismes de réplication intersites existent, basés sur un Maître sur le site principal et un Esclave sur le site secondaire.

GlusterFS est disponible dans une offre packagée de Red Hat (Red Hat Gluster Storage) aux côtés de l'offre Red Hat Ceph Storage basée sur Ceph.

### 3.2.3 GPFS (General Parallel File System) / Spectrum Scale

GPFS est un système de fichiers intégré à AIX, le système d'exploitation d'IBM, qui peut être exposé à



d'autres systèmes via NFS. GPFS permet des accès concurrents en lecture/écriture aux mêmes fichiers répartis sur des nœuds différents.

La réPLICATION GPFS se base sur la définition d'un nombre de réPLICAS (jusqu'à 3) et sur la notion de « failure group » afin de distribuer des réPLICAS sur des DISQUES non susceptibles d'être touchés par une même panne.

GPFS s'appuie sur le service AFM (*Active File Management*) pour gérer la concurrence d'accès aux fichiers.

Spectrum Scale est la solution de virtualisation du stockage d'IBM basée sur GPFS.

### 3.2.4 HDFS (Hadoop File System)

HDFS [**HDFS**] est un composant du framework Apache Hadoop, qui vise à faire fonctionner des applications sur de gros clusters basés sur du hardware commun à bas coût, et reprend les principes de GFS (*Google File System*) [**GoogleFS**] développé par Google début des années 2000 pour ses besoins particuliers, mais avec quelques différences.

HDFS tente d'optimiser les performances tout en assurant la disponibilité globale en intégrant la localisation physique du disque (serveur et baie) de manière à distribuer les réPLICAS suffisamment tout en gardant une copie au plus près du client.

Le processus d'écriture d'un fichier sur HDFS est particulier :

- le client HDFS crée un fichier temporaire localement jusqu'à atteindre la taille d'un bloc au sens HDFS. Note : si une panne du serveur survient avant d'avoir atteint cette taille les données sont perdues.
- à ce moment, le fichier va être créé au niveau HDFS et écrit sur le Datanode désigné par le Namenode ;
- les réPLICAS supplémentaires sont transmis par « pipelining » aux Datanodes suivants. L'acquittement

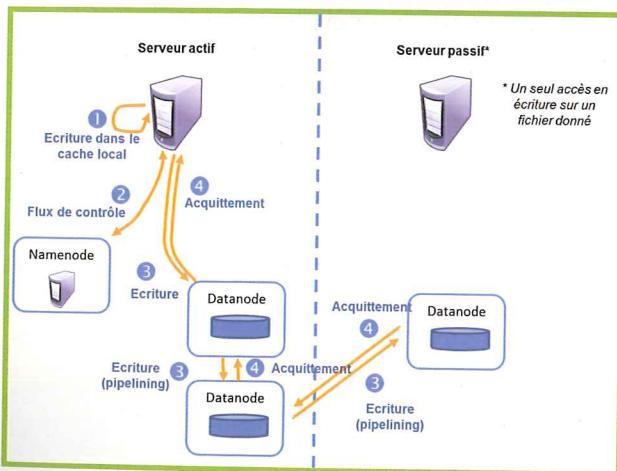


Figure 7 : Fonctionnement d'une écriture avec HDFS.

est effectué en fin de réPLICATION, assurant une réPLICATION de type synchrone.

À l'instar de GFS, HDFS est donc très orienté large quantité de données (Big Data) et sans doute peu adapté au stockage de données plus traditionnelles et critiques : l'utilisation sur le client d'un cache local non répliqué prohibe de nombreux usages.

La figure 7 présente le principe d'une écriture avec HDFS.

### 3.2.5 NFS (Network File System)

NFS supporte la réPLICATION depuis la version 4 sous la forme d'un réPLICA en lecture/écriture et les autres réPLICAS en lecture seule. Néanmoins, NFS ne fournit pas les moyens de synchronisation des réPLICAS entre eux et des outils supplémentaires sont nécessaires, à l'instar de la commande **rdist** associée à une planification via **cron**, pour une réPLICATION asynchrone, ou bien de GPFS [**NFS**].

## 3.3 RéPLICATION portée par le serveur

### 3.3.1 Mirroring distribué

Une solution simple de réPLICATION synchrone portée par le serveur est le plus souvent disponible au niveau du système d'exploitation sous la forme d'un mirroring, sur la base de disques basés sur 2 baies SAN de 2 sites différents, que le SAN soit FC ou IP.

Cette solution est notamment employée dans les architectures de clusters Oracle de type Extended RAC.

La figure 8 présente le principe d'une écriture en Oracle Extended RAC.

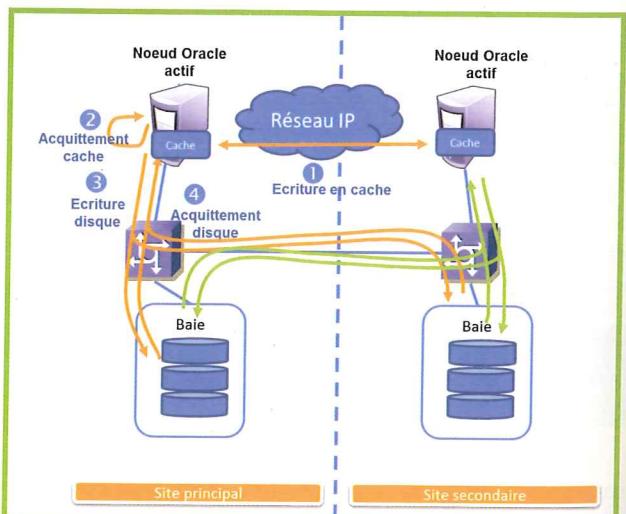


Figure 8 : Fonctionnement d'une écriture avec Oracle Extended RAC.



### 3.3.2 Clustering de serveurs

Une solution de clustering se distingue des solutions de réPLICATION du stockage par l'intégration au plus près des applications et donc la possibilité d'assurer la cohérence des données de manière plus pertinente.

La solution Double-Take, couramment rencontrée en environnement Microsoft, effectue une réPLICATION asynchrone à distance octet par octet des fichiers protégés en assurant leur intégrité par le séquencement. Cette solution est par ailleurs capable de faire du PiT et des snapshots sous VMware. Double-Take ne se contente pas de faire de la réPLICATION de fichiers, mais couvre tous les aspects de la vie du cluster : réPLICATION, bascule, mais également tests hors ligne de l'intégrité des données avant bascule.

## 3.6 Cas particulier des bases de données

Les bases de données présentent des exigences particulières :

- utilisation parfois de disques en accès direct sur lesquels elles utilisent leur propre système de fichiers ;
- écriture de données dans de multiples tables simultanément, souvent réparties sur plusieurs blocs et qui ne peuvent être séparées afin d'assurer la cohérence des données.

Les Systèmes de Gestion de Bases de Données viennent de ce fait souvent avec leur solution propre de réPLICATION, plutôt serveur à serveur et de type asynchrone :

- Oracle Dataguard : réPLICATION asynchrone par transmission du Redo Log de la base primaire à la base secondaire ;
- MS SQL Server Replication [**MSSQL**] : réPLICATION par transaction, réPLICATION par snapshot, réPLICATION par fusion. Toutes ces méthodes sont des réPLICATIONS asynchrones de serveur à serveur.

## 3.5 Cas particulier de la virtualisation serveurs

Les solutions de virtualisation serveurs ont introduit une simplification du PCA/PRA des serveurs entre deux sites en permettant des bascules automatiques de VM entre sites. Ces solutions s'appuient sur le stockage pour l'hébergement des enveloppes de VM et de ce fait sur les mécanismes de réPLICATION du stockage entre sites.

Les solutions déjà présentées s'appliquent aux solutions de virtualisation serveur, même si des limitations apparaissent sur certaines. À titre d'exemple, une solution OpenStack sera beaucoup plus ouverte en termes de stockage et pourra indifféremment s'appuyer sur du SAN ou des systèmes de fichiers distribués comme GPFS, GlusterFS, ou Ceph, alors que les solutions VMware et Microsoft seront beaucoup plus restrictives.

En complément sont apparues les solutions liées aux systèmes hyper convergés, intégrant une couche de virtualisation du stockage dans les hyperviseurs eux-mêmes. On peut notamment citer la Distributed Storage Fabric de Nutanix [**Nutanix**] ou l'offre VSAN [**Virtual SAN**] de VMware [**VSAN**].

Ces solutions reposent sur les principes suivants :

- agrégation des disques locaux des hyperviseurs pour exposer un ou plusieurs volumes logiques aux hyperviseurs en iSCSI, NFS ou autres protocoles ;
- utilisation de disques flash pour le cache ou les données souvent accédées et de disques classiques pour les données moins couramment utilisées ;
- communication entre nœuds pour assurer une réPLICATION synchrone, sous réserve de la présence d'un RTT inférieur à 5ms. Dans le cas de Nutanix, la réPLICATION synchrone s'effectue via l'OpLog (buffer d'écriture persistant), présent sur le disque SSD de chaque nœud : l'écriture n'est acquittée que lorsqu'elle a correctement répliquée dans l'OpLog des nœuds identifiés pour porter un réplica ;
- solutions de réPLICATION asynchrone pour des besoins de PRA distants (au-delà de 5ms de RTT). Nutanix propose plusieurs types de topologie de réPLICATION (de site à site à full mesh) et se base sur les fonctions de snapshot et de déduplication pour limiter les échanges. VMware propose un service du même type au travers du produit vSphere Replication.

## 4 Continuous Data Protection

Contrairement à la réPLICATION, qui aboutit à une cible dans le même état que la source, y compris une éventuelle corruption de données, et avec un delta potentiel si la réPLICATION est asynchrone, les technologies de Continuous Data Protection sont capables de revenir à n'importe quel point en arrière puisqu'elles journalisent toutes les opérations d'écriture intervenues sur la source. Il est donc possible de revenir en arrière du nombre d'opérations nécessaires pour retrouver les données avant un événement ayant provoqué une corruption. À noter que certains vendeurs n'offrent que du « Near-Continuous » Data Protection en effectuant des snapshots à intervalles certes resserrés, mais pas sur chaque écriture et on se rapproche plus de réPLICATION PiT.

Plusieurs solutions de réel CDP existent, dont l'offre RecoverPoint d'EMC. Un « splitter » est utilisé pour intercepTER les écritures et en envoyer une copie vers l'équipement CDP. Ce splitter peut être situé au niveau du serveur, de l'hyperviseur [**CDP EMC VCM**], du SAN [**SANTap**] ou de la baie de disques.

RecoverPoint collecte toutes les opérations d'écritures puis les inscrit dans un journal.

Conserver une trace de chaque écriture consomme avec le temps beaucoup d'espace, d'autant plus si les mêmes blocs sont souvent modifiés et que les modifications sont nombreuses. Afin de limiter la taille du journal des copies, RecoverPoint effectue une consolidation des snapshots



au-delà de 2 jours pour ne conserver qu'un snapshot journalier et plus un snapshot par écriture atomique.

La figure 9 présente le principe de fonctionnement de RecoverPoint.

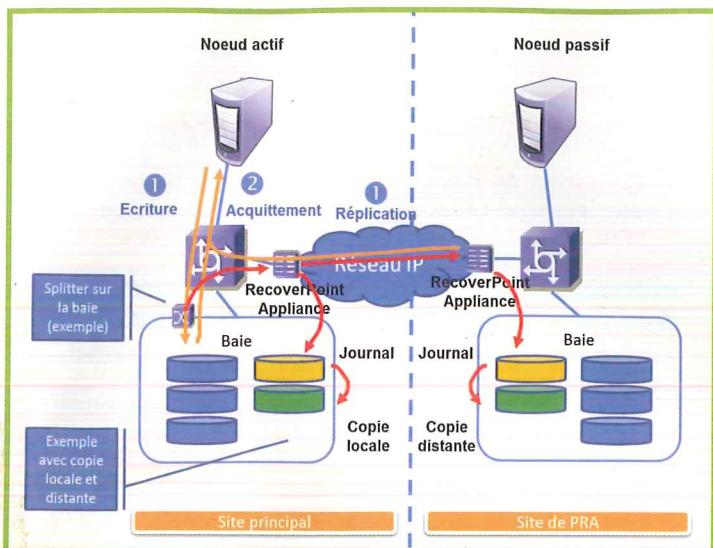


Figure. 9 : Fonctionnement de EMC RecoverPoint.

## 5 Intégrité des données

Même la meilleure et plus rapide des technologies de réPLICATION ne pourra garantir l'intégrité des données puisque les transactions atomiques sont rares et typiquement une transaction sur une base de données entraînera souvent plusieurs écritures sur disque. Si l'interruption intervient au milieu de la séquence, il est nécessaire de pouvoir faire retour arrière sur le début de la séquence pour retrouver des données intégrées. Sans compter qu'il est peu probable que tous les systèmes s'arrêtent en même temps, ce qui peut également nuire à la cohérence des données.

C'est dans ce cadre que les technologies de snapshot, PiT ou simplement de sauvegarde prennent tout leur sens, l'une permettant de prendre une photo des disques après « quiesce » (pause en quelque sorte) [QUIESCE] des bases de données pour empêcher momentanément toute écriture, et l'autre pour permettre de revenir en arrière à un moment où les données étaient intégrées. À défaut d'un lien avec l'applicatif permettant de maîtriser la cohérence des données au plus près, de nombreuses solutions de réPLICATION ont recours à des « consistency groups » permettant de regrouper des ressources disques dont l'état doit être synchronisé dans le temps, notamment pour les snapshots ou les réPLICATIONS PiT.

## 6 Cas d'un troisième site

Les dernières normes et bonnes pratiques poussent les entreprises à envisager 3 sites dans le cadre d'un PCA :

- 2 sites proches pour faire face à un sinistre local impliquant un seul des 2 sites et entre lesquels des

techniques fortement impactées par la distance peuvent être mises en œuvre, permettant un redémarrage automatique sans perte en utilisant des technologies synchrones ;

- 1 site éloigné pour faire face à un sinistre régional, permettant une reprise plus lente avec potentiellement une perte de données par l'utilisation de technologies asynchrones.

L'entreprise sera alors amenée à panacher les technologies pour obtenir les meilleurs résultats en fonction des contraintes de distance... et de son budget.

La question de la stratégie de réPLICATION se pose alors :

- Répliquer en synchrone depuis le site nominal vers le site secondaire puis en asynchrone du site secondaire vers le troisième site ? Cette stratégie peut permettre une optimisation des flux et décharge les ressources du site nominal de la charge de réPLICATION supplémentaire ;
- Répliquer directement depuis le site vers les 2 autres sites ? Cette stratégie permet d'éviter l'obsolescence des données du troisième site en cas de sinistre sur le site secondaire.

Dans tous les cas, le Plan de Continuité d'Activité devra prendre en compte la poursuite des réPLICATIONS vers le troisième site, quels que soient la stratégie adoptée et le sinistre survenant, qu'il soit la perte du site principal ou celle du site secondaire.

## Conclusion

Les systèmes de réPLICATION via les baies ou le SAN sont les plus sophistiqués et performants, mais pour un coût non négligeable : les quelques minutes grappillées sur l'objectif de temps de retour et surtout de point de retour coûtent cher.

Les systèmes de fichiers distribués ont comme but premier la performance en multipliant les sources de données et une attention moins importante est apportée à la performance de la réPLICATION. Néanmoins certains systèmes de fichiers très sophistiqués, y compris dans le monde du logiciel libre, apportent à la fois distribution, performance et forte résilience par une réPLICATION synchrone intersites et n'ont rien à envier aux mécanismes les plus coûteux des baies SAN.

Les solutions doivent être pensées autour des données, selon leur type et leurs besoins particuliers, en gardant à l'esprit le besoin primordial de cohérence fonctionnelle de celles-ci.

Chaque entreprise doit toutefois faire avec son existant et rechercher les technologies les plus adaptées à ses infrastructures. Ensuite, le choix se fera en fonction des besoins réels eu égard au coût des solutions, qui devra être mis en regard du coût d'un arrêt plus ou moins long du SI. ■

**Retrouvez toutes les références accompagnant cet article sur <http://www.miscomag.com/>.**