



## **EBOOK**

**Pourquoi vous devriez  
probablement déménager  
votre Datacenter.**



## QUELLES SONT ACTUELLEMENT LES SOLUTIONS ADOPTÉES PAR LES ENTREPRISES POUR LEUR DATACENTER ?

Elles dépendent évidemment de la taille de l'entreprise, de son implantation géographique, des composants de son infrastructure informatique, de son historique et de sa stratégie d'évolution.

En pratique on rencontre un paysage reposant sur de multiples combinaisons des formes suivantes d'hébergement :

- > Petites salles machines privées dans les locaux de l'entreprise avec des équipements qui sont rarement aux normes et dont l'alimentation électrique et le refroidissement sont peu ou pas redondés. Il s'agira soit de l'unique salle d'une petite entreprise soit d'une salle de site décentralisé d'une plus grosse organisation ;
- > Des salles privées plus importantes avec des équipements respectant les normes et disposant d'une redondance de l'alimentation électrique et du refroidissement, ainsi que d'un groupe électrogène pour faire face aux coupures électriques ;
- > Une salle ou une cage privée louée chez un hébergeur ;
- > Un groupe de racks en collocation dans une salle mutualisée multi-clients chez un hébergeur neutre ;
- > Une salle ou une cage ou un groupe de racks loué à une ESN dans le cadre d'un contrat de services comprenant, au-delà de l'hébergement pur, des services de pilotage et/ou d'infogérance pour l'infrastructure et éventuellement les applications métier ;
- > Un contrat de PRAI (Plan de Reprise d'Activité Informatique) reposant sur l'offre d'un spécialiste avec du matériel le plus souvent mutualisé entre plusieurs clients ;
- > Des contrats d'hébergements Cloud IaaS (+ éventuellement PaaS) avec comme usage les plus fréquents : le PRAI, le débordement de capacité, les environnements de développement.



## QUELS SONT LES FACTEURS ET LES AXES LES PLUS COURANTS DE TRANSFORMATION ACTUELS ?

Dans les dix années passées les entreprises ont massivement adopté la migration des systèmes vers Linux et Windows et la virtualisation des serveurs X86 qui atteint en moyenne 70 à 80%. L'impact sur le Datacenter est une forte réduction du volume des équipements rackés et de la consommation électrique. Malgré une croissance très importante d'environ 20 à 30% par an, les baies de stockage ne voient pas leur volume ni leur consommation électrique augmenter grâce aux gains de densité des disques et à la combinaison stockage flash + disques capacitifs.

Notons au passage que cette contraction par virtualisation a, dans la majorité des cas, produit un effet de « gruyérisation » dans les salles machines avec de nombreux vides et une dégradation du système de câblage, l'effort et le budget de réorganisation étant très rarement prévu.

Au cours de ces mêmes dix années, les plus grandes entreprises se sont lancées dans un double mouvement de consolidation et de recentralisation de leurs Datacenters, l'objectif étant le plus souvent de se limiter à 2 ou 3 Datacenters par continent. La mise en place de solutions de PRA (Plan de Reprise d'Activité) ou PCA (Plan de Continuité d'Activité) a été et reste encore actuellement un axe d'évolution majeur et structurant vis-à-vis des Datacenters.



## **QUEL EST L'IMPACT DE L'ADOPTION DU CLOUD SUR LES DATACENTERS INTERNES ?**

Il dépend du schéma d'adoption du Cloud. Pour les applications passant en mode SaaS, l'impact sera la disparition des équipements associés (serveur et stockage). Les cas les plus classiques sont l'adoption de la messagerie, du collaboratif en général, du CRM et des applications RH. Pour l'adoption du Cloud en mode IaaS ou PaaS dont la logique d'adoption sera différente, on retrouvera néanmoins le même effet de réduction des équipements dans le Datacenter. Le premier impact de l'adoption du Cloud est donc une accentuation du phénomène de « gruyérisation » du Datacenter interne déjà provoqué auparavant par la virtualisation des serveurs.

Un second impact important de l'adoption du Cloud concerne le fonctionnement en Cloud hybride. En effet les nouvelles chaînes applicatives développées directement dans le Cloud nécessiteront d'accéder aux applications et données de l'entreprise restées dans le Datacenter interne. Le fonctionnement fiable et performant de ces communications du Cloud hybride exige des liens réseau redondés à haut débit et faible latence. Il pourra s'agir soit de liaisons dédiées entre le Datacenter interne et le fournisseur de Cloud ou de liaisons génériques vers l'Internet.



## **FAUT-IL PRÉFÉRER UN HÉBERGEUR NEUTRE À UN CONTRAT GLOBAL AVEC UNE ESN ?**

Le marché de l'hébergement classique (hors Cloud) se répartit en effet entre plusieurs catégories de fournisseurs dont principalement : Les hébergeurs neutres, les ESN et les opérateurs de télécommunications.

Les hébergeurs neutres fournissent les services basiques suivants :

- > Espace physique d'hébergement (salles, cages, racks) ;
- > Alimentation électrique et refroidissement redondés des équipements ;
- > Protection incendie ;
- > Gestes de proximité élémentaires sous le pilotage du client (« Eyes & Hands ») ;
- > En option : services de design d'urbanisation, de rackage, de câblage des équipements, ces services étant généralement confiés à des sous-traitants spécialisés.

Un hébergeur neutre est indépendant et n'est donc pas en concurrence ni avec les opérateurs de télécommunications, ni avec les opérateurs de Cloud, ni avec les sociétés de services ni aucun des clients qu'il héberge. De ce fait on trouvera en particulier chez un hébergeur neutre une offre très large de solutions de télécommunications soit sous forme de fibres noires soit sous forme de liens opérés ainsi que des adductions à l'Internet. En Île-de-France les deux hébergeurs neutres les plus importants du marché sont EQUINIX et INTERXION.

Les opérateurs de télécommunications et les ESN proposent également des services d'hébergement dans leurs Datacenters mais, sauf à de rares exceptions, ces services sont associés à un ensemble d'autres services, notamment l'infogérance de l'infrastructure et des applications pour les ESN.

Outre le fait qu'ils apportent les meilleures garanties de qualité de service sur l'hébergement pur, l'avantage principal que nous voyons à opter pour un hébergeur neutre est de séparer les contrats d'hébergement pur des contrats d'infogérance. Cela permet en effet de remettre en compétition à chaque échéance contractuelle les fournisseurs pour chacun des deux aspects séparément et de choisir les meilleures offres pour chaque besoin.

Il sera par exemple possible de renouveler le contrat d'hébergement neutre tout en changeant de contrat d'infogérance. Le changement de fournisseur des services d'infogérance pouvant par exemple découler du passage en Cloud hybride.

## **QUELLES SONT LES DIFFÉRENCES EN MATIÈRE DE MODÈLE TARIFAIRE D'HÉBERGEMENT ?**

Le modèle tarifaire varie en fonction des types d'hébergeur ainsi que du format d'hébergement retenu. Pour un format de salle ou de cage privative le modèle tarifaire se décompose en deux parties. La première correspond à la fourniture de l'énergie électrique d'une part pour alimenter les équipements informatiques et d'autre part pour leur refroidissement.

L'autre partie du modèle tarifaire concerne la location de l'espace et de tous les moyens techniques associés y compris le renouvellement et l'entretien des équipements d'alimentation électrique et de refroidissement.

Ce découpage en deux parties résulte notamment du fait qu'un hébergeur n'a pas le droit de faire de profit sur la revente de l'énergie électrique qui est une activité réglementée et réservée à un petit nombre d'acteurs agréés. L'hébergeur est donc tenu de revendre l'énergie à prix coûtant. Ce prix du kWh variera néanmoins d'un hébergeur à l'autre en fonction de ses conditions d'achat et du PUE de son Datacenter (voir définition ci-après). Dans ce modèle tarifaire l'énergie sera donc une partie variable de la facturation basée sur la consommation réelle constatée.

Néanmoins pour le format rack en collocation, utilisé en général pour de petites configurations limitées à quelques racks, les hébergeurs proposent également un tarif forfaitaire comprenant la mise à disposition du rack et d'une puissance électrique donnée par rack dans la fourchette de 2 à 8 kW en général. Cela permet une facturation plus simple et stable dans le temps. L'intérêt du client sera alors de s'approcher au mieux de la puissance maximale souscrite par rack.



## QU'EST CE QUE LE PUE ? QUEL EST LE COÛT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ?

Le PUE est le ratio entre l'énergie totale consommée par l'ensemble du centre d'exploitation (avec la climatisation) et la partie qui est effectivement consommée par les systèmes informatiques que ce centre exploite (serveurs, stockage, réseau). Le système de climatisation est l'enjeu principal pour obtenir un PUE le plus proche possible de 1.

La moyenne de l'industrie se situe à environ 1,7. Les bons Datacenters neutres en Île-de-France utilisant le « free cooling », qui consiste à utiliser l'air extérieur lorsque la température est inférieure à environ 15°C, obtiennent des PUE de l'ordre de 1,4 lorsque le remplissage des salles est important. Les Datacenters les plus performants se situent à 1,1 par utilisation d'eau de mer ou de refroidissement par huile (1,12 pour Google depuis 2014).

A l'autre extrémité du spectre, une salle mal conçue, mal entretenue et « gruyérisée » dans les locaux de l'entreprise peut avoir un PUE de 2,0 à 2,5 du fait d'un système de climatisation peu efficace.

Le PUE est un élément de décodage et d'analyse du prix du kWh facturé au client par l'hébergeur. En théorie l'hébergeur devrait facturer le prix du kWh acheté multiplié par le PUE. Donc si par exemple il achète le kWh à 0,10€ et affiche un PUE de 1,4 il facturera 0,14€ le kWh d'équipement « refroidi ». Cela dit, l'hébergeur est assez rarement transparent sur la justification de ses coûts et dans la pratique la fourchette de prix est assez vaste, entre 0,13€ et 0,20€ le kWh d'équipement refroidi.

En 2016 un particulier paiera au mieux 0,14€ le kWh (0,13€ en heures creuses), un industriel gros consommateur et donc un hébergeur paiera entre 0,08 et 0,10 € selon le fournisseur.

Il faut néanmoins apprécier l'offre d'un hébergeur dans sa globalité, car l'énergie ne sera qu'une fraction du coût total d'hébergement comprise entre 25 et 50%.



## QUEL EST L'IMPACT DU TAUX DE VIRTUALISATION DES SERVEURS SUR LE COÛT D'HÉBERGEMENT ?

Il est extrêmement important car il impacte à la fois la consommation d'énergie électrique et l'espace au sol ou le nombre de racks nécessaires pour la salle machine.

Prenons l'exemple d'un client ayant 300 serveurs logiques initialement virtualisés à 70%. Avec un PUE de 2 dans un Datacenter situé dans ses locaux, ce client aura une facture annuelle d'électricité de 41.5 k€ euros (sur la base des hypothèses détaillées dans le tableau ci-dessous). Le TCO complet de ce Datacenter pourra être trois fois plus élevé si l'on tient compte des coûts d'amortissement des équipements électriques, des équipements de climatisation, des équipements de protection incendie et des contrats d'entretien et de maintenance.

Un projet combinant une augmentation de la virtualisation de 70% à 95% et le déménagement de son infrastructure dans un Datacenter neutre lui permettra de réduire son coût Datacenter de 43% avec une facturation d'hébergement annuel de 23.7 K€ sans tenir compte des autres coûts mentionnés ci-dessus.

Cet exemple simple montre que la virtualisation des serveurs produit pleinement ses effets lorsque l'on approche du 100 % virtuel. Il montre que le passage de 70% à 95 % divise par 4,5 la consommation d'électricité des serveurs !

En revanche, cet exemple, par souci de simplification, ne prend pas en compte les équipements réseau et le stockage. Les équipements réseau seront réduits du fait de l'augmentation de la virtualisation des serveurs avec une réduction de consommation électrique moindre, mais le plus souvent au moins d'un facteur 2. Côté stockage une démarche de rénovation combinant stockage Flash et disques magnétiques à haute capacité apportera également une réduction de consommation électrique significative. La solution la plus efficace sur le plan énergétique sera l'adoption d'une architecture hyperconvergente fusionnant les serveurs et le stockage.

Tableau détaillant notre exemple client avec 300 serveurs

	INTERNE	Optimisé - externalisé	
Nombre de serveurs logiques	300	300	serveurs
Taux de virtualisation des serveurs logiques	<b>70%</b>	<b>95%</b>	
Nombre de VM par hôte de virtualisation	60	60	VM
Watt par serveur physique non virtualisé	250	250	watt
Watt par hôte de virtualisation	300	300	watt
Nombre de serveurs par rack	8	12	serveurs
Nombre de serveurs restés physiques	90	15	serveurs
Nombre de VM	210	285	VM
Nombre de serveurs hôtes de virtualisation	4	5	racks
Nombre de rack nécessaires pour les serveurs	12	2	racks
Consommation des serveurs restés physiques	22.5	3.75	kW
Consommation des serveurs de virtualisation	1.2	1.5	kW
Consommation totale serveurs	23.7	5.25	kW
Consommation annuelle serveurs	207 612	45 990	kWh
PUE hébergement interne en entreprise	2.0		
Consommation annuelle totale serveur+clim	415 224		kWh
Prix du kWh en DC interne	0.10		€
<b>Cout annuel en interne</b>	<b>41.5</b>		<b>K€ par an</b>
Prix du kWh refroidi hébergeur neutre		0.15	€
Coût de l'énergie chez l'hébergeur		6.9	k€ par an
Coût de l'hébergement des racks hors énergie		16.8	k€ par an
<b>Cout annuel externalisé hébergeur neutre</b>		<b>23.7</b>	<b>k€ par an</b>
<b>Réduction du coût d'hébergement</b>		<b>43%</b>	



## **POURQUOI NE PAS CONSERVER L'INFRASTRUCTURE À VIRTUALISATION ACCENTUÉE EN INTERNE ?**

L'effondrement de la consommation électrique liée à l'accentuation de la virtualisation fait que la salle machine de ce client va devenir extrêmement surdimensionnée en particulier pour la climatisation. En conséquence le PUE de sa salle va se dégrader fortement et il devra toujours financer l'entretien et les contrats de maintenance des équipements électriques et de climatisation. Au final son TCO sera dans tous les cas supérieur à un hébergement en Datacenter neutre. Les spécialistes s'accordent à estimer qu'il n'est pas possible d'avoir un coût interne de Datacenter concurrentiel par rapport à un hébergeur pour une puissance hébergée inférieure à 200 kW. Or seules de très grandes entreprises dépassent aujourd'hui ce seuil.



## **QU'EN EST-IL DES CAS OÙ LE CLIENT A DÉJÀ EXTERNALISÉ SON HÉBERGEMENT ?**

Lorsqu'un client a effectué la transformation de virtualisation de son infrastructure dans le cadre d'un hébergement externalisé, il faudra distinguer plusieurs cas de figure selon le niveau de « gruyérisation » de son infrastructure et les conditions techniques et financières de son contrat d'hébergement.

Dans le cas le plus extrême, un client peut souffrir d'une part d'un contrat d'infogérance dans des conditions tarifaires anciennes pouvant être deux fois plus élevées que les prix du marché concurrentiel actuel, et d'autre part d'une emprise en mètres carrés ou d'un nombre de racks très important du fait de la « gruyérisation » consécutive à sa démarche de virtualisation des serveurs. Dans cette situation le client peut espérer réduire son TCO d'un facteur 3 à 5. Il s'agit là de la situation la plus favorable car la réduction du TCO va permettre de financer le projet de transformation comprenant l'accentuation de la virtualisation et le déménagement des équipements avec un ROI rapide le plus souvent compris entre douze et vingt-quatre mois.

Le changement d'hébergeur ne sera pas absolument impératif mais il faudra néanmoins réaliser le projet technique de transformation en adoptant un nouvel emplacement chez l'hébergeur (salles, cages, nouveaux racks), car restructurer l'infrastructure sur place est nettement plus complexe, risqué et coûteux. Il faudra par ailleurs obtenir un alignement du nouveau contrat sur les meilleurs prix du marché.

Dans cette situation la plus extrême il faut noter que le client n'aura pas nécessairement besoin d'augmenter son taux de virtualisation des serveurs pour réduire son TCO. Nous avons le retour d'expérience d'un client qui a divisé par 3 son coût d'hébergement en changeant d'hébergeur sans améliorer son infrastructure. Le ROI du projet a été atteint en moins de vingt-quatre mois.



## **SI CELA S'AVÈRE NÉCESSAIRE, COMMENT PASSER DE 70% À 95% DE VIRTUALISATION ?**

La démarche s'appuiera principalement sur la virtualisation des serveurs de bases de données et des serveurs d'applications critiques. En effet l'évolution des serveurs et des processeurs d'une part mais surtout l'adoption du stockage « full-Flash » pour les bases de données permet aujourd'hui de virtualiser ces serveurs sans aucun risque ni sur les performances ni sur la fiabilité de production. De nombreux cas clients en témoignent désormais. En complément, l'accentuation de la migration vers Linux et Windows permettra de s'approcher, voire d'atteindre le 100 % virtuel.



## **QUELS SONT LES ENJEUX AUTOUR DU CÂBLAGE ET DE L'URBANISATION DU DATACENTER ?**

Il n'est pas simple, au fil des années, de maintenir un système de câblage en bon état, bien structuré et, bien documenté. Nous faisons le constat qu'un grand nombre de Datacenters plus ou moins anciens présentent un système de câblage, très dégradé, qui induit de nombreux inconvénients et fait courir des risques opérationnels. On pourra citer principalement les 3 problématiques suivantes :

- > Difficultés, voire quasi impossibilité, lors d'une intervention de maintenance pour changer des équipements ou des cartes dans les équipements du fait d'une câblage mal conçu et mal positionné. Forts risques d'erreurs et d'incidents lors de ces maintenances ;
- > Étiquetage incorrect ou absence d'étiquetage occasionnant des risques d'erreurs lors d'opérations de changement ou d'évolutions ;
- > Faux plancher obstrué par de grandes quantités de câbles rendant difficile voire impossible le dépoussiérage périodique de la salle et diminuant l'efficacité du refroidissement par flux d'air dans le faux plancher.

Déménager son Datacenter ouvre donc l'opportunité de repartir sur un système de câblage neuf structuré, évolutif dans le cadre d'une ré-urbanisation du Datacenter qui permettra de densifier les équipements pour réduire l'empreinte en salle machine et les coûts d'hébergement.



## **QUELLE EST LA PLACE DU PRA DANS LA TRANSFORMATION DU DATACENTER ?**

La solution de PRA traditionnelle consiste à disposer d'équipements de stockage, de serveurs et de réseaux de secours permettant de restaurer les données et les serveurs au plus près de leur état au moment de l'incident. Ces équipements peuvent être la propriété du client dans un site de secours qui lui est propre ou bien sur un site en location chez un hébergeur, ou encore faire l'objet d'un contrat de PRA spécifique proposée par un fournisseur spécialisé qui mutualise ces équipements entre différents clients.



Ce format de PRA « historique » est particulièrement coûteux principalement parce qu'il impose des exercices périodiques pour valider le bon fonctionnement des procédures de bascule. Avec l'accentuation de la virtualisation des serveurs et l'apparition des offres IaaS du Cloud, de nouvelles solutions viennent remplacer à moindre coût le PRA historique :

La première consistera à disposer d'un contrat IaaS auprès d'un fournisseur de Cloud offrant une tarification à l'usage effectif des VMs et de répliquer son stockage ou ses sauvegardes dans ce Cloud. Cette solution sera très économique mais nécessitera un temps de redémarrage (RTO) assez long et ce en fonction des volumétries de données concernées. Si la réplication des données n'est pas synchrone vers le fournisseur de Cloud une perte de données (RPO) est à envisager dans le pire des cas.

La seconde solution consiste à disposer d'une architecture dual-site, c'est-à-dire d'une architecture avec laquelle les données modifiées par les applications sont mises à jour de manière synchrone en temps réel sur deux Datacenters de deux sites distants. Cette fonctionnalité sera proposée à travers des offres de stockage en « stretched cluster ». Les VMs elles-mêmes pourront être redondées sur les deux sites sous le contrôle d'un cluster de virtualisation étendue aux deux sites. Grâce à ces deux clusters étendus de stockage et de serveurs virtuels, le niveau d'automatisation de la reprise après incidents pourra être très élevé. La perte de données sera alors nulle (RPO = 0) et le temps de redémarrage très court (quelques minutes ou dizaines de minutes). Avec une bonne conception et une mise en œuvre minutieuse, cette architecture ne nécessitera plus de tests lourds et complexes de bascule, mais de simples vérifications minimalistes. Il en résulte une très forte réduction du TCO de la solution.

On notera que cette solution nécessite d'interconnecter deux Datacenters avec des liens à haut débit et faible latence (fibres noires et liens à 10GbE) pour le bon fonctionnement des clusters étendus. En conséquence ces deux Datacenters ne devront pas être séparés par une distance supérieure à 40 km de fibre, le mieux étant de rester dans la fourchette de 10 à 20 km.

Réaliser ce type d'architecture avec deux Datacenters privés internes à l'entreprise est le plus souvent complexe et coûteux. Voilà donc de nouveau une évolution qui incite à adopter un hébergement externalisé chez un fournisseur de Datacenters neutre. En effet ces fournisseurs, particulièrement en Île-de-France, proposent des offres d'hébergement qui comprennent des options de liens en fibres noires dédiées et redondées par deux chemins différents dans des



## **EN RÉSUMÉ ET CONCLUSION, POURQUOI FAUT-IL DÉMÉNAGER ET EXTERNALISER SON DATACENTER ?**

En synthèse se dégagent les **cinq principales raisons** de se lancer dans un projet de déménagement et de restructuration de son Datacenter. Elles se complètent pour constituer une évolution d'ensemble cohérente vers une infrastructure nettement plus compacte, très fortement virtualisée, consommant un minimum d'énergie, ouverte dans les meilleures conditions au Cloud hybride et étendue à deux sites pour offrir un PCA implicite très automatisé :

1. Mettre en place un PCA dual-site fortement automatisé à bas coût ;
2. Passer en Cloud hybride dans les meilleures conditions technico-économique ;
3. Dissocier les différents contrats d'hébergement et d'infogérance pour optimiser l'ensemble ;
4. Réduire le TCO (coût de possession global) du Datacenter ;
5. Rénover l'urbanisation et le câblage des équipements hébergés dans le Datacenter.

Les meilleures opportunités de déclenchement de ce projet sont les suivantes :

- > Echéance du contrat d'hébergement ;
- > Renouvellement d'infrastructure serveur/stockage ;
- > Virtualisation des serveurs de bases de données.

Nous observons que beaucoup de clients utilisateurs n'ont pas conscience des opportunités de réductions de coûts — et d'améliorations de qualité — que le déménagement de leur Datacenter leur offrirait.



## **UN PROJET DE DÉMÉNAGEMENT EST-IL COMPLEXE ET COÛTEUX ? COMMENT S'Y PRENDRE AU MIEUX ?**

En fonction de l'importance de l'infrastructure, un projet de déménagement s'étalera sur une durée d'environ six à dix-huit mois depuis l'après étude jusqu'à la bascule finale. La complexité d'un tel projet reste raisonnable mais sa réussite devra être sécurisée par l'intervention de prestataires expérimentés.

Dans tous les cas nous recommandons vivement de se faire accompagner par des professionnels ayant un retour d'expérience de projets équivalents pour pouvoir réutiliser les meilleures pratiques établies et éviter les écueils.

VIALIS a développé une très forte expertise sur toutes les étapes, en partant de l'étude préalable et de l'établissement du bilan économique cible (« business-case », TCO et ROI cible) en passant par les phases de design, d'urbanisation et de câblage, pour aller jusqu'au pilotage et à la mise en œuvre du nouveau Datacenter ainsi que des opérations de déménagement.

VIALIS a accompagné ses clients sur plusieurs projets pour différentes tailles d'infrastructures, de quelques dizaines de serveurs et jusqu'à quatre mille serveurs pour le plus gros projet. Dans une première étape VIALIS pourra élaborer pour vous le chiffrage de l'opportunité de réduction de coûts que représente dans votre contexte précis une externalisation ou le changement d'hébergeur de votre Datacenter.

### **A PROPOS DE VIALIS GROUPE QUODAGIS**

VIALIS groupe QUODAGIS, société de conseils et services de transformation d'infrastructures accompagne ses clients vers la réduction drastique du coût de possession, tout en renforçant résilience, performance et agilité de l'infrastructure. Grâce à son indépendance des fournisseurs VIALIS groupe QUODAGIS apporte à ses clients le résultat hors normes d'une virtualisation optimale des réseaux, des serveurs, du stockage et des bases de données. VIALIS groupe QUODAGIS combine une parfaite maîtrise technique de tous les composants de l'infrastructure, du Datacenter à l'hyperviseur, des offres du marché et de l'étude économique des transformations d'infrastructure.