

No part of this product may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without written permission from the IB.

Additionally, the license tied with this product prohibits commercial use of any selected files or extracts from this product. Use by third parties, including but not limited to publishers, private teachers, tutoring or study services, preparatory schools, vendors operating curriculum mapping services or teacher resource digital platforms and app developers, is not permitted and is subject to the IB's prior written consent via a license. More information on how to request a license can be obtained from <http://www.ibo.org/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

Aucune partie de ce produit ne peut être reproduite sous quelque forme ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris des systèmes de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite de l'IB.

De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation commerciale de tout fichier ou extrait sélectionné dans ce produit. L'utilisation par des tiers, y compris, sans toutefois s'y limiter, des éditeurs, des professeurs particuliers, des services de tutorat ou d'aide aux études, des établissements de préparation à l'enseignement supérieur, des fournisseurs de services de planification des programmes d'études, des gestionnaires de plateformes pédagogiques en ligne, et des développeurs d'applications, n'est pas autorisée et est soumise au consentement écrit préalable de l'IB par l'intermédiaire d'une licence. Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour demander une licence, rendez-vous à l'adresse <http://www.ibo.org/fr/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

No se podrá reproducir ninguna parte de este producto de ninguna forma ni por ningún medio electrónico o mecánico, incluidos los sistemas de almacenamiento y recuperación de información, sin que medie la autorización escrita del IB.

Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso con fines comerciales de todo archivo o fragmento seleccionado de este producto. El uso por parte de terceros —lo que incluye, a título enunciativo, editoriales, profesores particulares, servicios de apoyo académico o ayuda para el estudio, colegios preparatorios, desarrolladores de aplicaciones y entidades que presten servicios de planificación curricular u ofrezcan recursos para docentes mediante plataformas digitales— no está permitido y estará sujeto al otorgamiento previo de una licencia escrita por parte del IB. En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una licencia: <http://www.ibo.org/es/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

Informatique

Niveau supérieur

Épreuve 3 – Étude de cas : nouveau système de répartition assistée par ordinateur pour Bangbai

A utiliser en mai et novembre 2019

Instructions destinées aux candidats

- Ce livret d'étude de cas est indispensable pour l'épreuve 3 du niveau supérieur.

Introduction

Depuis l'introduction du *numéro d'urgence (emergency number)* "999" en 1937, de nombreux pays ont mis leurs services d'urgence à disposition du public par le biais d'un numéro de téléphone national. Les appels à ces numéros d'urgence sont acheminés à un centre d'appels connu sous le nom de *Centre de régulation (ECC – Emergency Control Centre)* dans lequel un personnel formé répond aux appels et envoient les équipes de secours appropriées. Bien souvent, les opérateurs utilisent des systèmes de *Répartition assistée par ordinateur (CAD – Computer Aided Dispatch)* pour coordonner le détournement de la police, des pompiers et des ambulances vers le lieu de l'urgence. La CAD est un système *essentiel à la sécurité (safety-critical) et en temps réel (real-time)* qui ne doit subir aucune interruption (*zero downtime*). Autrement dit, des vies peuvent être menacées si le système de CAD est indisponible ou lent, s'il ne fonctionne pas correctement ou si ses données sont erronées.

Figure 1 : écran de système de CAD utilisé par un assistant de centre de contrôle pour envoyer plusieurs camions de pompiers



[Source : image adaptée (retailée) : CAD 8-12 paint.png (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CAD_8-12_paint.png). Image par MPD01605 disponible sous licence Creative Commons : https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/.]

Avant l'utilisation généralisée des smartphones et des tablettes, les systèmes de CAD communiquaient avec la police, les pompiers et les services ambulanciers au moyen de terminaux mobiles, de radios bidirectionnelles et de téléavertisseurs. Les messages étaient parfois transmis par radio UHF ou VHF car à l'époque, les technologies de communications de données sans fil comme la 3G n'étaient pas répandues ou n'étaient pas fiables.

Les systèmes de CAD ont été conçus pour traiter un nombre donné d'utilisateurs simultanés. Cette limite était imposée par l'architecture, les protocoles des systèmes et leur recours à diverses technologies. Il est difficile d'augmenter la capacité des systèmes de CAD anciens au-delà de leurs limites supérieures sans remplacer complètement le système et risquer des défaillances ou une panne (comme il est arrivé au système de répartition assistée par ordinateur du service ambulancier de Londres en 1992).

Figure 2 : terminal mobile à bord d'une voiture de police recevant des instructions provenant d'un système de CAD par radio UHF



[Source : Terminal de données portable, photo de DAP Technologies, publiée à l'origine sur <https://commons.wikimedia.org> sous la licence CC 1.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/1.0/deed.fr>]

Système de CAD de Bangbai

25 La ville de Bangbai a connu une expansion rapide au cours des 10 dernières années. Il est maintenant manifeste que sa CAD n'est plus suffisante. Cette situation a été révélée grâce à plusieurs articles publiés dans la presse locale et sur les médias sociaux. Par exemple, dans le cas d'un vol de banque, une voiture de police a été envoyée à la mauvaise adresse. Un autre incident a vu deux camions de pompiers supplémentaires envoyés pour lutter contre un incendie déjà éteint depuis une heure. Bien que la majorité des urgences soient traitées correctement, le nombre des erreurs augmente et celles-ci pourraient entraîner des pertes de vie. Ces incidents ont poussé la maire Tania Gupta à demander une enquête auprès d'une

30 équipe dirigée par le directeur technique Rahul Pandey afin de mener une enquête et de proposer une solution au problème.

35 Problèmes d'échelle

Rahul a commencé par étudier les incidents et a conclu que presque tous ont été causés par un niveau d'utilisation dépassant la capacité de traitement du système. Dans un petit nombre de cas, leur cause était une défaillance matérielle qui a occasionné le remplacement d'un composant, mais la plupart des erreurs étaient tout simplement dues au manque de capacité du

40 système qui ne peut plus répondre aux besoins croissants d'une population en expansion, en raison d'un nombre plus important d'accidents.

Rahul a étudié plusieurs systèmes efficaces en place dans des villes plus grandes qui ont bien supporté l'augmentation de la population. Il a découvert que ces systèmes ont pu s'adapter à cette croissance parce que l'extensibilité de leur architecture a été conçue depuis le début

45 du projet. Ils utilisent également des normes et des protocoles communs afin d'assurer leur *pérennité (future-proof)* et leur compatibilité avec d'autres systèmes d'informations. Dans les exemples de réussite, on peut trouver des *logiciels commerciaux (commercial software)*, des SaaS basés sur le cloud et des *logiciels personnalisés (custom software)*, mais tous les systèmes s'appuient sur une *architecture évolutive (scalable architecture)*. Le choix ultime du

50 produit, service ou développement dépend des besoins de chacune des villes.

Tournez la page

Un système d'information pour la gestion des urgences (EMIS) pour Bangbai

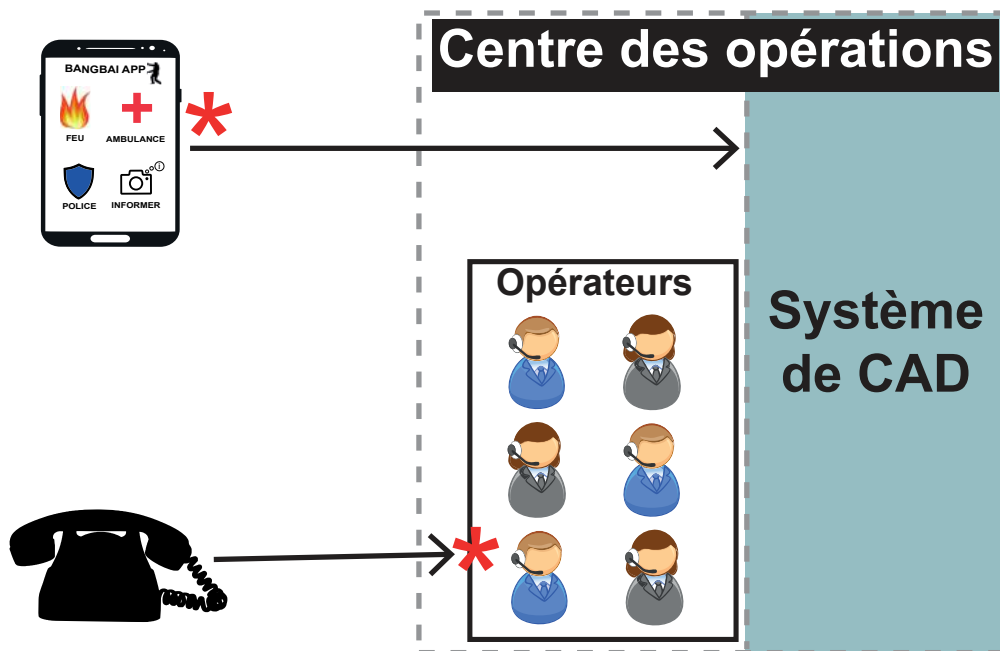
Rahul a appris que la plupart des villes se dirigeaient vers un EMIS (Emergency Management Information System – Système d'information pour la gestion des urgences) plutôt qu'une CAD. Un EMIS permettrait à la ville de mieux gérer les sinistres car en plus de traiter les urgences, celui-ci englobe également la préparation (élaboration préalable de plans d'intervention), la réduction des risques (détection du danger, analyse des menaces potentielles futures) et le rétablissement (calcul des coûts d'un sinistre et de la planification de la reprise des activités, reconstruction etc.) Rahul souhaite que Bangbai dispose à terme d'un EMIS complet mais a compris que la première priorité est de remplacer le système actuel par un autre système de CAD mieux adapté et extensible.

Rahul a commencé par faire la synthèse des éléments dont il a pris connaissance et à faire l'ébauche d'un cahier des charges. Il avait la conviction d'avoir rencontré assez d'exemples pour lui permettre d'établir les fonctionnalités nécessaires d'un système efficace pour la ville de Bangbai. Rahul et son équipe ont présenté leurs recommandations, ainsi qu'une estimation des coûts de conception, développement, mise en œuvre et tests à Tania.

Une application de services d'urgence pour les citoyens

Rahul a informé Tania que la signalisation des incidents et l'apport d'informations au moyen d'une application mobile plutôt que par appel téléphonique ont permis la réduction du centre de régulation de certaines villes, tout en assurant une amélioration de la vitesse et de la qualité des données reçues des utilisateurs. En effet, dans de nombreuses situations, les applications mobiles sont capables d'enregistrer des informations *Système de géolocalisation* (GPS – *global positioning system*) et de fournir directement au serveur le positionnement précis de l'urgence. Ce dernier est critique pour une intervention réussie, étant donné qu'une mauvaise adresse peut retarder l'arrivée des secours.

Figure 3 : utilisation d'une application mobile (en haut) par rapport à un appel téléphonique traditionnel (en bas) pour signaler les incidents



* Moment auquel les informations de localisation sont ajoutées à la demande

[Source : Organisation du Baccalauréat International 2019]

75 Une application mobile serait également en mesure d'améliorer la communication entre les
appelants et les unités d'intervention en maintenant les deux parties constamment informées
de l'évolution de la situation. Une fois que l'application a envoyé l'emplacement de l'appareil
et le type d'urgence (incendie, accident de la circulation, etc.), elle peut continuer à informer le
80 serveur de toute modification de lieu et notifier l'utilisateur de l'application du temps d'arrivée
des services d'urgence. Le personnel du centre de régulation peut effectuer le suivi des
demandes faites à l'aide de l'application et à tout moment, appeler l'utilisateur de l'application
au moyen de la VoIP pour demander des précisions ou donner des instructions. L'application
simplifierait l'expérience utilisateur en traitant tous les types de communication entre l'utilisateur
85 de l'application et le service de gestion des urgences de manière indépendante aux autres
applications installées sur le smartphone. Rahul a indiqué que cela pourrait nécessiter la
création d'un protocole spécial qui utiliserait plusieurs canaux de communication (p. ex.
plusieurs *points de connexion TCP/IP*) (*TCP/IP sockets*) pour transmettre simultanément
plusieurs types de données. Ce système nécessiterait également une *interface de*
programmation d'application (API – application programming interface) pour que l'application
90 puisse utiliser les services du système de CAD. L'architecture de *transfert d'état représentatif*
(REST – *Representational state transfer*) est la plus adaptée à cet objectif.

Les utilisateurs qui ne disposent pas de l'application mobile auraient à appeler le numéro
d'urgence et le personnel du centre de régulation leur demanderait où ils se trouvent avant
d'envoyer la demande via l'application de bureau. Le nombre des assistants a toujours été
95 suffisant pour répondre au nombre actuel d'appels. L'équipe de Rahul, composée d'experts, a
modélisé que l'utilisation de l'application réduirait considérablement la charge de travail
des assistants du centre d'appels. Par conséquent, Rahul a décidé d'effectuer un suivi de
l'utilisation du numéro d'urgence et de réaffecter le personnel du centre de régulation à d'autres
rôles si l'utilisation de l'application venait à réduire le nombre d'appels téléphoniques. En
100 parallèle, il a annulé les futures enquêtes de faisabilité de mise à niveau de la technologie
actuelle du centre d'appels.

Signalement d'un problème non urgent et renseignements

L'application, à l'instar d'un EMIS, pourrait également réduire les risques, c'est-à-dire
anticiper les problèmes et agir avant qu'ils deviennent sérieux. En plus d'appeler les services
105 d'urgence, l'application mobile permettrait aux citoyens de signaler les problèmes non urgents :
embouteillages, activités suspectes, risques pour la sécurité et la santé publique, ou même
suggestions d'amélioration des services.

Figure 4 : exemple de poster de promotion de la fonction « Informer »
de l'application Bangbai App



[Source : image de trafic de Max Pixel]

110 En mode « Informer », l'application transmettrait une photo et une description textuelle ou un fichier son en plus du lieu du problème non urgent (qui peut être différent du lieu actuel du téléphone). Le serveur recevrait également d'autres données concernant l'appareil pouvant éventuellement comprendre des données identifiant personnellement la personne à qui il appartient. Certains utilisateurs potentiels ont demandé que les services de localisation soient désactivés ou qu'ils accèdent à l'EMIS via un *réseau privé virtuel* (VPN – *Virtual Private Network*) ou un *serveur proxy* (*proxy server*).

115 **Véhicules de secours**

Rahul a continué à expliquer dans son rapport qu'à la réception d'une demande de secours, le nouveau système rechercherait l'équipe la plus proche en mesure de répondre à la situation. Cette équipe serait alors envoyée automatiquement sur le lieu de l'urgence.

120 Le système de CAD existant comporte déjà un grand nombre d'appareils dédiés dotés d'un système d'exploitation embarqué et installés dans la majeure partie des véhicules de secours. Jusqu'à présent, ces appareils patrimoniaux ont été utilisés pour signaler leurs emplacements au serveur central à intervalles réguliers. Cette communication est sans état. Cependant et étant donné que les appareils utilisent le protocole *HTTP*, Rahul a décidé qu'ils pouvaient fournir davantage de fonctionnalités aux agents d'intervention. Celles-ci pourraient inclure
125 des systèmes de messagerie et des requêtes nécessitant une communication *à état* (*stateful*) utilisant soit des *cookies*, soit la *réécriture d'URL* (*URL rewriting*) pour tenir à jour l'état entre les demandes.

Architecture à plusieurs niveaux (multitier architecture) et évolutivité

130 Pour pouvoir traiter la charge de travail grandissante occasionnée par le signalement de nombreux problèmes non urgents et par les demandes automatiques de déploiement des services d'urgence, l'architecture du nouveau système doit être évolutive, ainsi que compatible avec les futurs développements qui seront apportés dans les autres parties de l'EMIS. L'équipe d'experts de Rahul a signalé que la meilleure solution était de séparer le système en niveaux qui pourraient alors être distribués sur autant de serveurs que nécessaire pour répondre à la
135 demande des utilisateurs. Cela permettrait aux composants principaux d'être réutilisables. Par ailleurs, il serait possible d'ajouter relativement facilement, par exemple, une interface Web de signalement des urgences et de demande d'assistance, car elle utiliserait les mêmes services de niveau logique que les applications mobiles et de bureau.

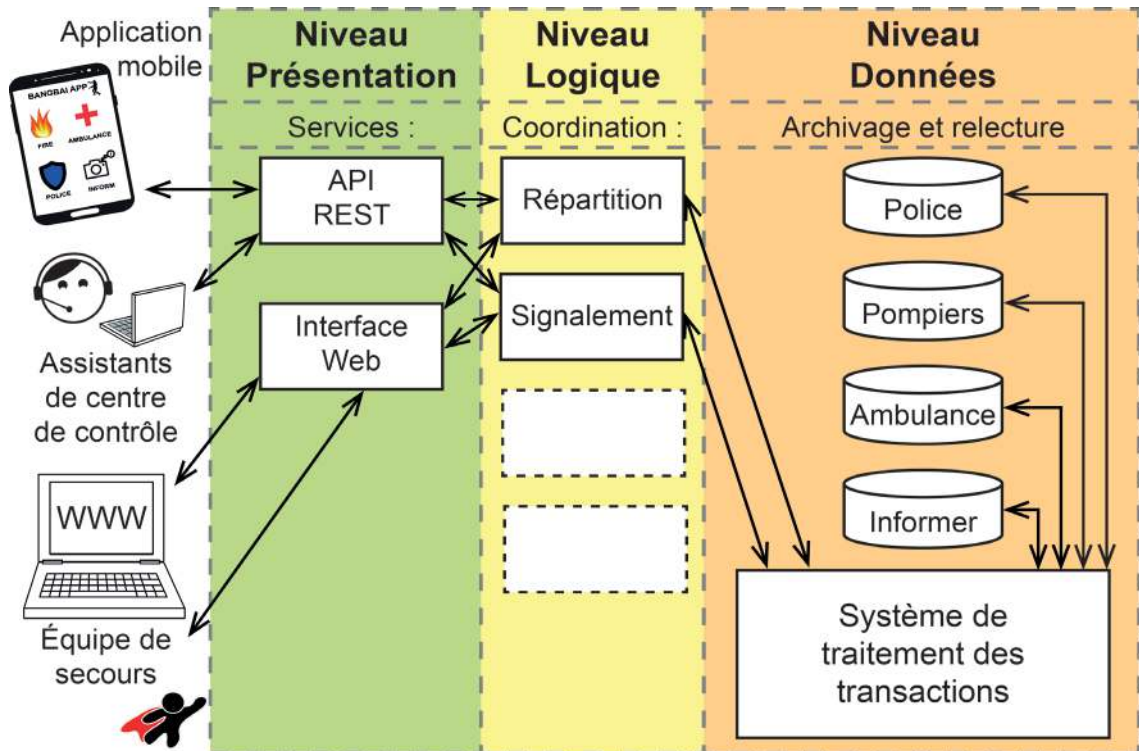
140 Le nouveau système de CAD (la partie « Intervention » du nouveau système EMIS de Bangbai) sera mis en œuvre sur une *grappe de serveurs* (*cluster of servers*) qui répondent ensemble aux requêtes et fournissent les services dont les utilisateurs ont besoin. Les diverses parties du système seront divisées en niveaux selon une architecture « n-niveaux » afin qu'elles puissent être réparties au fil du temps sur plusieurs serveurs dans le but d'augmenter la capacité. Les trois niveaux principaux seront appelés « Présentation », « Logique » et « Données ».

145 *Le niveau Présentation (The Presentation Tier)* contiendra le code de l'interface utilisateur, qui est la partie du système communiquant directement avec l'application mobile, le personnel du centre de régulation et les appareils utilisés par les équipes d'agents d'intervention.

150 *Le niveau Logique (The Logic Tier)* sera doté d'algorithmes contenant les procédures et services principaux de l'EMIS, par exemple, toutes les opérations requises pour coordonnées les véhicules de secours.

155 *Le niveau Données (The Data Tier)* encapsulera le code qui accède aux bases de données ou autres sources de données. Dans un système aussi complexe, il est possible que les données soient réparties dans de nombreux types de bases de données qui sont hébergées à divers emplacements physiques. Toute modification de données doit être effectuée au sein d'une transaction et contrôlée par un *système transactionnel (TPS – transaction processing system)*, ce qui signifie que lorsqu'une erreur survient et qu'elle empêche l'aboutissement d'une opération, toutes les données sont rétablies à leur état initial. Si tous les stades d'une transaction sont effectués avec succès, alors toutes les modifications apportées aux diverses bases de données sont enregistrées (validées).

Figure 5 : l'architecture à plusieurs niveaux



[Source : © Organisation du Baccalauréat International 2019]

160 Dans des programmes utilisant une architecture à plusieurs niveaux, un niveau ne devrait
 communiquer avec d'autres programmes qui si ils sont au même niveau ou à un niveau
 adjacent. Par exemple, une application côté client ne devrait pas pouvoir demander des
 données directement auprès du niveau Données sans faire passer la requête par le niveau
 Logique. Cette dernière effectuerait les vérifications appropriées de sécurité et d'informations
 165 d'identification, et s'assurerait également que le reste est en règle avant de passer la requête
 au niveau Données au moyen du système transactionnel.

Algorithmes d'équilibrage de charge (load balancing algorithms)

170 Une des préoccupations de Rahul est qu'étant donné la croissance rapide de Bangbai, la
 sollicitation accrue de l'application peut entraîner une surcharge des serveurs lors des pics
 d'utilisation. Il a sélectionné plusieurs algorithmes d'équilibrage de charge qui remédieraient au
 problème en redirigeant les requêtes à n'importe quel serveur d'un groupe (*grappe – cluster*)
 qui serait capable de les traiter.

175 Les serveurs qui sont ajoutés à un système ne remplissent pas nécessairement tous les mêmes
 fonctions ou services. Par exemple, si un service particulier est utilisé de façon très intensive,
 d'ajouter plusieurs serveurs supplémentaires qui traiteront ce type de requêtes particulier.

La distribution des utilisateurs simultanés sur ces serveurs peut éventuellement prendre en compte les services auxquels les clients tentent d'accéder ainsi que d'autres facteurs comme la charge de travail actuelle des différents serveurs disponibles pour ce type de demande ou service.

180 Rahul a enquêté sur les algorithmes d'équilibrage de charge suivants :

- *aléatoire côté client (client side random)* ;
- *Round-Robin pondéré (weighted round robin)* ;
- hachage de source (*source IP hash*).

185 Une autre préoccupation de Rahul est que de nombreux citoyens de Bangbai utiliseront la fonction de signalement de l'application pour signaler des informations relativement triviales, par exemple photos d'ordure sur les trottoirs, pneus crevés, chats errants *etc.*

Basculement (failover)

190 Si un serveur n'est plus disponible pour quelque raison que ce soit lors du fonctionnement normal du système, ses fonctions sont prises en charge par un autre serveur en mesure de poursuivre les tâches. Dans certains cas, le deuxième serveur devra disposer des données actuelles de l'état des interactions avec les utilisateurs du premier serveur afin qu'il puisse prendre le relai de manière transparente.

Fiabilité

195 Tania a répondu positivement aux idées de Rahul. Elle lui a cependant demandé d'assurer que le nouveau système EMIS soit aussi fiable que possible en :

- (a) permettant l'augmentation facile de la capacité du système (c.-à-d. son évolutivité) selon les besoins par l'ajout de nouveaux serveurs ;
 - (b) incorporant du matériel en double (c.-à-d. du matériel redondant) prêt à assumer immédiatement le rôle du matériel actuellement utilisé en cas de dysfonctionnement (c.-à-d. le basculement).
- 200

Défis rencontrés

Plusieurs défis sont à relever dans le cadre du développement de l'EMIS de Bangbai :

- la planification d'un système qui effectue l'ensemble du travail de la CAD actuelle mais de manière plus évolutive ;
- 205 • l'élaboration d'un plan pour faire face à la sollicitation grandissante des serveurs grâce à l'étude de méthodes éprouvées, notamment la *redondance (redundancy)*, le basculement et l'équilibrage de charge ;
- le développement d'une application mobile permettant le signalement des urgences, ainsi que celui des problèmes non urgents ;
- 210 • l'utilisation des appareils patrimoniaux déjà présents dans les véhicules de secours tout en répondant aux exigences du système proposé ;
- l'exposé des implications du projet en ce qui concerne les principaux intervenants, comprenant une synthèse des conséquences juridiques et éthiques les plus évidentes.

Terminologie ne figurant pas dans le guide

À état / sans état / tenue à jour de l'état (*stateful / stateless / maintaining state*)
Aléatoire côté client (*client side random*)
Algorithme d'équilibrage de charge (*load balancing algorithm*)
Architecture à plusieurs niveaux (*multitier architecture*)
Basculement (*failover*)
Centre de régulation (ECC – *Emergency control centre*)
Cookies
En temps réel (*real-time*)
Essentiel à la sécurité (*safety-critical*)
Évolutivité / Architecture évolutive (*scalability / scalable architecture*)
Gestion de session (*session management*)
Grappe (*cluster*)
Grappe de serveurs (*cluster of servers*)
Hachage d'adresse IP de session (*session IP address hash*)
Hachage de source (*source hash*)
HTTP ou HTTP/2
Interface de programmation d'application (API – *application programming interface*)
Logiciel commercial (*commercial software*)
Logiciel personnalisé (*custom software*)
Numéro d'urgence (*emergency number*)
Pérennité (*future-proof*)
Point de connexion (*socket*)
Points de connexion TCP/IP (*TCP/IP sockets*)
Redondance (*redundancy*)
Réécriture d'URL (*URL rewriting*)
Répartition assistée par ordinateur (CAD – *computer aided dispatch*)
Réseau privé virtuel (VPN – *virtual private network*)
Round-Robin pondéré (*weighted round robin*)
Serveur proxy (*proxy server*)
Session
Système de géolocalisation (GPS – *global positioning system*)
Système d'information pour la gestion des urgences (EMIS – *Emergency management information system*)
Système transactionnel (TPS – *transaction processing system*)
Transfert d'état représentatif (REST – *representational state transfer*)
Voix sur IP (VoIP – *voice over internet protocol*)
Zéro panne (*zero downtime*)

Certains produits, sociétés et individus mentionnés dans cette étude de cas sont fictifs. Toute ressemblance avec des entités réelles ne saurait être que fortuite.