

Connectivité en zone rurale : quelles options pour les institutions de microfinance ?

Note technique

Septembre 2008

David Bridge et Ignacio Mas



© 2008, Groupe consultatif d'assistance aux pauvres/Banque mondiale

Tous droits réservés.

CGAP

1818 H Street, N.W., MSN P3-300

Washington, D.C., 20433 USA

www.cgap.org

cgap@worldbank.org

Table des matières

TK

Introduction

L'objectif du présent document est d'informer les responsables de l'informatique et des systèmes d'information des institutions de microfinance (IMF) rurales sur les options technologiques qui s'offrent à eux, pour faciliter leur mise en relation et leur discussion avec les fournisseurs de solutions de connectivité. Les limites éventuelles de ces solutions au regard des exigences des IMF sont également décrites, afin de permettre à ces dernières d'aborder les questions appropriées avec les fournisseurs.

Cette note technique est axée sur les systèmes (technologies) d'accès mis en œuvre par les fournisseurs pouvant servir à assurer la connectivité d'un équipement ou d'une application d'IMF. Il s'agit de la connexion dite du dernier kilomètre (*last mile* en anglais), qui constitue essentiellement le lien entre l'équipement ou le site distant et le réseau principal (central téléphonique local ou point d'accès (PoP) du fournisseur de services par exemple)¹.

Dans un premier temps, nous examinerons les différents cas de figure dans lesquels une IMF peut avoir besoin d'une connectivité en zone rurale. En effet, les exigences techniques varient d'une application à l'autre et les divers systèmes présentent différentes caractéristiques. Pour déterminer l'adéquation des systèmes avec l'application voulue, nous définirons un ensemble restreint de caractéristiques clés pouvant servir de base à une analyse comparative. Nous présenterons ensuite les divers systèmes de connectivité envisageables en fonction des caractéristiques définies. Le dernier chapitre contient une synthèse des performances de ces différents systèmes pour chacune des applications qu'une IMF est susceptible de mettre en œuvre en milieu rural.

Utilisations de la connectivité : exigences des IMF suivant l'application concernée

Une IMF a avant tout besoin de connectivité pour mettre en œuvre un ensemble d'applications (voir ci-après). S'il semble évident que ces dernières requièrent une connectivité permettant la circulation des données, la possibilité d'utiliser une connectivité vocale (éventuellement *via* un seul et même équipement portable) n'est pas exclue.

1. Il convient de distinguer le « dernier kilomètre » du « *backhaul* », qui correspond généralement au lien entre le réseau principal et l'« extrémité » du réseau, c'est-à-dire normalement l'élément du réseau d'accès de l'opérateur (installations partagées) qui est le plus proche du client.

Autorisation des transactions en temps réel

Tout agent doit pouvoir effectuer des transactions en temps réel. Il doit ainsi être à même a) de lancer un service en l'espace de quelques secondes et b) d'interagir en temps réel (quel que soit le processus concerné). Cela implique un temps d'installation réduit et un temps d'interaction extrêmement court. Tout délai supérieur à quelques secondes, quelle que soit l'activité, serait considéré comme inacceptable.

Pour cette application, un périphérique portatif utilisé comme terminal de paiement électronique (TPE) ou un périphérique mobile servant à effectuer des transactions bancaires mobiles sont envisageables. Autre solution possible : un périphérique portatif utilisé, éventuellement avec d'autres, comme simple outil de saisie et de transmission des données client recueillies sur le terrain. Cette dernière solution peut également inclure une connectivité vocale avec un service de réponse vocale interactive (RVI) pour traiter les données client et les transactions financières. Dans de nombreux cas, il peut se révéler nécessaire d'exécuter une application client qui utilise le réseau d'accès pour communiquer avec les systèmes de base de données ou de traitement des transactions de l'IMF.

Synchronisation des données recueillies sur le terrain

Un agent de crédit détaché sur le terrain doit être en mesure de synchroniser un périphérique portatif (dans lequel ont été enregistrées les données sur les demandes de prêt et les remboursements). Cela n'implique pas une connexion permanente, mais l'agent doit pouvoir effectuer une synchronisation *via* un équipement sans fil ou filaire et transmettre des données en l'espace de quelques minutes.

Cette solution est considérablement plus simple que la précédente. Une simple possibilité de transmission des données est requise, avec un système de sécurité et un logiciel adaptés pour autoriser et accepter la synchronisation. Bien entendu, dans le cas d'une synchronisation hors ligne, il peut y avoir plusieurs jeux de données à transmettre, mais la bande passante requise n'est pas forcément très importante.

Interface avec le système bancaire central

L'intégration d'agences dans des systèmes *back-end* centraux doit pouvoir être réalisée à la fois suivant un mode de synchronisation permanent, automatique et en temps réel, et aussi suivant un mode périodique et hors ligne. Les solutions pour agences concernent le plus souvent un nombre de transactions très élevé : il peut être pertinent de mettre en œuvre une infrastructure de réseau filaire (fixe) capable de gérer un gros volume de transactions en temps réel. L'agence sera équipée de systèmes basés sur PC ou sur ardoise

électronique (*tablet PC*), avec des guichets bancaires automatiques ou des terminaux TPE adaptés. Les exigences en matière de connectivité sont similaires que le système bancaire central soit implanté au siège ou hébergé par un fournisseur de services d'application (ASP) externe.

Services d'assistance (*help desk*)

Les services vocaux sont assurés en temps réel, en direct, *via* un chargé de clientèle, par RVI ou par messagerie vocale. Pour l'accès à des données en temps réel, Internet et une foire aux questions, un avatar ou encore un chargé de clientèle distant utilisant un logiciel de messagerie instantanée sont autant de solutions envisageables. Cela implique des capacités de réponse interactives en temps réel, mais aussi de faibles volumes de données. La fonction d'assistance peut aussi englober une aide non pas en temps réel mais en différé (sous forme de données et de RVI) pour le personnel ou les clients de l'IMF. On peut ainsi envisager l'utilisation d'un système de rappel téléphonique, de chat, de messagerie vocale ou encore de courrier électronique pour correspondre avec le demandeur. La seule exigence à remplir est de disposer d'une connectivité et d'un accès à ces services.

Principales caractéristiques techniques des services de connectivité

Voici une présentation des grandes caractéristiques d'un système d'accès à un service donné.

Débit ou bande passante

Il s'agit de la vitesse de téléchargement en amont (*upload* ou UL) ou en aval (*download* ou DL) des informations, généralement exprimée en bits par seconde (bps). Cette vitesse peut être spécifique à l'UD ou au DL, ou encore symétrique. Les kilobits et les mégabits par seconde (kbps et Mbps) désignent respectivement des milliers et des millions de bits par seconde. Cette mesure s'applique aussi bien à la communication vocale qu'à la transmission de données. En général, une communication vocale (y compris la voix sur IP ou VoIP) exige entre 8 kbps et 64 kbps (en symétrique) selon le type de CODEC utilisé².

2. Un CODEC est un appareil ou un programme capable de coder et de décoder un signal analogique/numérique. La voix, par définition analogique, doit être transmise comme un flux de bits (numérique) et donc convertie par un CODEC. Il existe plusieurs CODECS sur le marché, certains étant normalisés (le PCM G711 est le principal CODEC utilisé dans les RTPC), d'autres spécifiques à un constructeur (CODECS propriétaires). Le CODEC a une incidence considérable sur la qualité de transmission de la voix en mode paquet (latence et gigue) et sur le coût de la formule par rapport à la bande passante nécessaire (le G711 consomme 64 kbps alors que le GSM VCELP ne nécessite que 5,6 kbps). Dans les réseaux cellulaires, le type de CODEC choisi est capital pour la capacité du système. En effet, en optimisant la qualité de la voix tout en minimisant la bande passante nécessaire, on peut influencer considérablement la capacité et donc le coût du réseau radio.

En principe, la communication de données peut s'effectuer à n'importe quelle vitesse. Le fournisseur de services propose toutefois généralement une vitesse précise pour la connectivité de données. C'est donc un paramètre intéressant. Bien entendu, chaque système a ses limites en termes de vitesse de transmission des données³.

Capacité

La capacité mesure le nombre de clients qu'une entité donnée peut gérer. Les mesures varient d'une entité ou d'un élément du réseau à l'autre. En général, elles désignent a) le nombre de clients en termes absolus, b) la bande passante totale, c) le nombre de canaux de trafic ou d) l'erlang (soit un nombre précis de canaux de trafic assorti d'un indice spécifique exprimant le niveau de service : le GoS [*grade of service*]). La capacité est un terme et un facteur d'analyse propre aux ingénieurs des fournisseurs de services et ne figure pas dans la proposition commerciale faite au client. Toutefois, la capacité disponible du réseau affecte directement l'aptitude à fournir la qualité de services requise (nous y reviendrons) et l'expérience de l'utilisateur final.

Couverture

La couverture mesure la capacité d'accès au service par la population visée. Elle concerne surtout les systèmes d'accès sans fil. Les opérateurs l'expriment généralement sous la forme du pourcentage de la population d'une zone géographique donnée qui a accès au service ou de la part de cette zone, dans un pays donné, à l'intérieur de laquelle le service est disponible. Concernant les réseaux filaires, la principale mesure de la couverture est probablement le nombre de points d'accès (*point of presence* ou PoP en anglais) mesuré soit en nombre de connexions de clients soit en nombre de connexions entre opérateurs en termes absolus.

Mobilité

Un système d'accès sans fil mobile permet à l'utilisateur de se déplacer avec un terminal à l'intérieur d'une zone de couverture précise, sans interruption du service (c'est-à-dire que

3. Souvent, les particuliers souscrivent à un ensemble de services précis incluant la bande passante (avec parfois des engagements sur la qualité du service et des taux de contention précis – voir ci-après) et une limite supérieure de téléchargement dans les deux sens (généralement exprimée en mégaoctets ou gigaoctets disponibles pour un utilisateur à l'intérieur d'une plage temporelle précise, à un prix donné). Il s'agit là d'un arrangement purement commercial, d'une tactique à laquelle les opérateurs ont souvent recours pour limiter le volume de données qu'un client peut consommer, afin de réduire la possibilité d'un dépassement de la capacité disponible du système (ou des entités qui le constituent).

la continuité de la session vocale ou de données est maintenue durant le déplacement). La zone de couverture définie comprend de nombreuses zones de couverture plus petites, ou cellules. Le réseau permet à l'utilisateur de « transférer » la session vocale ou de données d'une cellule à l'autre. Un système d'accès sans fil nomade permet quant à lui d'entamer une session vocale ou de données et de la poursuivre au sein de différentes zones de couverture ou cellules. Le service est toutefois temporairement interrompu au passage d'une zone à l'autre⁴.

Latence

La latence (ou temps de réponse) désigne le temps nécessaire pour qu'un paquet d'informations transmis par une entité ou par un utilisateur soit réceptionné par une autre entité ou un autre utilisateur⁵. À l'évidence, il est préférable que ce temps soit le plus faible possible. Les services vocaux en particulier risquent de se dégrader fortement en cas de temps de latence élevé. Ainsi, certains systèmes commandés par satellite souffrent d'un retard de transmission non négligeable qui produit un effet d'écho. La latence est un paramètre intéressant notamment pour la VoIP et pour la transmission par paquets, où le temps d'interaction est important.

Un autre paramètre étroitement lié à ce qui précède est la **gigue** (*jitter* en anglais), à savoir la variabilité du temps de latence. La gigue résulte d'une suite non séquentielle de paquets d'information. Elle ne concerne pas les systèmes à commutation de circuits (nous y reviendrons ultérieurement), mais ceux qui fonctionnent par paquets. Dans ces systèmes, la gigue peut rendre la voix ou les données inexploitable et nécessiter le recours à un logiciel pour en rétablir la séquence et pouvoir les utiliser aux fins initialement prévues.

La **note MOS** (de l'anglais *mean opinion score*, littéralement « note moyenne d'opinion ») est un indicateur important de la qualité de la voix. Cette note qualitative est définie par la Recommandation P.800 de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui décrit une méthode permettant de dégager l'opinion des auditeurs sur la qualité de la voix. La note obtenue est comprise entre 1 et 5. Toute note supérieure à 4 est

4. À l'heure actuelle, un fournisseur de services a la possibilité de proposer un système mobile permettant de passer d'un système d'accès à un autre. Les équipements utilisés à cet effet prennent en charge plusieurs systèmes d'accès sans fil nomades ou mobiles.

5. Il est important de signaler que le temps de latence indiqué concerne uniquement le réseau et non la latence de bout en bout, qui intègre l'ensemble des applications ou des serveurs qui mettent en œuvre les services côté client et serveur. Ces temps de latence peuvent être importants et doivent être examinés dans le cadre de l'analyse globale de la solution.

considérée comme acceptable pour un service vocal. La note type d'une connexion par réseau téléphonique public commuté (RTPC) est 4,3⁶.

Qualité de service

La qualité de service englobe plusieurs caractéristiques clés. La **disponibilité** correspond à la durée réelle de mise à disposition du service, exprimée en pourcentage du temps théorique de mise à disposition du service, ce dernier excluant généralement les plages de maintenance programmées et les autres activités de ce genre. La **fiabilité** d'un système s'exprime de différentes manières selon les constructeurs et les opérateurs. Elle peut se mesurer, par exemple, à la durée moyenne entre deux pannes (MTBF), exprimée en années. L'**indice GoS** (*grade of service*) correspond à un pourcentage indiqué par l'opérateur décrivant le potentiel d'indisponibilité d'un canal de trafic pour cause de saturation (nombre de canaux insuffisant en raison d'une surcharge ou d'une indisponibilité, pour gérer l'ensemble des sessions vocales ou de données). Des statistiques sont établies pour prévoir la quantité de canaux de trafic nécessaires au sein d'un système donné. Cependant, plus l'indice GoS est élevé, plus les coûts de déploiement seront importants⁷. Le **taux de contention** concerne principalement les réseaux de données et indique le nombre potentiel d'utilisateurs pouvant se partager la bande passante⁸.

Ces facteurs ne sont pas tant des contraintes inhérentes aux systèmes d'accès proprement dits, mais sont plutôt déterminés par la conception de la solution. Par conséquent, ils sont liés au modèle de coûts de l'opérateur qui met le réseau en œuvre. Ainsi, un opérateur peut considérablement améliorer la fiabilité d'un système en multipliant les composants et en supprimant les points individuels de défaillance. Cependant, cela n'est pas toujours la façon la plus rentable de constituer et de déployer un réseau. Le résultat obtenu dépend donc largement de l'opérateur.

6. La note MOS est un indicateur utile pour l'évaluation, surtout dans le cadre du déploiement d'un système de VoIP. Si la note MOS est inférieure au GoS du RTPC, l'expérience de l'utilisateur risque d'être décevante. Notamment, si des services RVI sont intégrés à un système transactionnel, il risque d'y avoir de gros problèmes de reconnaissance vocale. Or, une mauvaise expérience de l'utilisateur rendra le système inutile.

7. Un indice GoS élevé se traduit par une faible probabilité que l'appel passe. Le GoS est généralement exprimé en pourcentage, le chiffre habituel étant 1 %.

8. Le fait que le canal soit multiplexé signifie que la bande passante réellement disponible pour l'utilisateur peut être considérablement réduite. Ainsi, le taux (ou ratio) de contention classique d'un réseau ADSL est 50:1. Pour 50 utilisateurs potentiels souscrivant chacun à un service de téléchargement (DL) de 1 Mbps au sein d'un réseau conçu pour fournir 10 Mbps seulement, un accès simultané de chacun des 50 utilisateurs aurait pour effet de ramener la vitesse maximale à seulement 200 kbps par utilisateur (soit 20 % du débit requis).

Commutation de circuits ou commutation de paquets

Dans les systèmes de commutation de circuits (CC) le chemin physique entre les deux points d'une connexion (voix ou données) est alloué et réservé pendant toute la durée de la connexion. C'est le cas par exemple du service de téléphonie analogique de base (RTC), par lequel transitent la plupart des communications téléphoniques aujourd'hui. Dans les systèmes de commutation de paquets (CP), des unités de données relativement peu volumineuses – les fameux paquets – sont acheminées *via* un réseau en fonction de l'adresse de destination qu'elles renferment. Plusieurs utilisateurs peuvent ainsi partager le même chemin physique. Il s'agit du principe de communication sans connexion (mode datagramme), dont l'exemple type est la communication *via* Internet.

Les réseaux de télécommunications actuels sont principalement des systèmes CC. Les réseaux filaires se convertissent rapidement aux systèmes CP, lesquels sont généralement moins chers à déployer (en raison du multiplexage des chemins physiques). Récemment encore, la latence et les capacités de gestion de la qualité du service inhérentes à ces systèmes étaient cependant limitées. Il était en effet difficile de prioriser le trafic sensible au délai (communications vocales notamment), au détriment du trafic de données – avec des répercussions évidentes sur la note MOS. Ainsi, l'évolution d'un fournisseur de services en matière d'infrastructure de réseau peut jouer sur l'expérience d'une IMF en modifiant certaines caractéristiques clés.

Fondamentalement, l'infrastructure des réseaux filaires et sans fil est la même. Par conséquent, les opérateurs qui exploitent les deux systèmes se retrouvent avec une infrastructure commune et convergente. Il n'en va pas encore de même pour la connexion du dernier kilomètre ou pour les systèmes d'accès, que ce soit pour le *backhaul* ou pour l'utilisateur final, et nous sommes encore très loin d'un réseau CP de bout en bout (ou tout IP).

Spectre de radiofréquences

Le spectre de radiofréquences concerne les systèmes sans fil. Son utilisation est régie par l'UIT et par les autorités nationales compétentes dans chaque pays. L'UIT s'attache à obtenir une normalisation à échelle mondiale dans ce domaine. Les autorités nationales s'efforcent de se conformer à cette volonté tout en gérant l'utilisation du spectre de radiofréquences au niveau national, y compris les questions de réutilisation, les droits de licence et les obligations des opérateurs. Les principaux aspects à prendre en compte en la matière sont les suivants :

Fréquence. La couverture géographique fournie avec les systèmes basses fréquences tend à être meilleure que celle des systèmes hautes fréquences. Les premiers permettent

généralement à l'opérateur d'obtenir un taux de couverture satisfaisant avec un nombre réduit de stations de base et d'antennes pour un investissement en capital et des charges d'exploitation moindres. Par opposition, les systèmes hautes fréquences nécessitent une infrastructure plus étendue pour parvenir à la même couverture et entraînent donc un surcoût. En contrepartie, la capacité offerte est bien plus grande. Il ne serait cependant pas tout à fait exact de dire que, pour atteindre un taux de couverture géographique donné avec un système GSM 900 MHz, il faudrait moitié moins de stations de base qu'avec un GSM1800 (voir Technologies cellulaires). Encore une fois, si ce dernier requiert une infrastructure plus grande, il offre une capacité bien plus importante.

Licences d'utilisation. Les bandes de fréquence soumises à licence sont attribuées et gérées par les autorités de réglementation. Les fournisseurs de services perçoivent souvent une commission pour mettre à disposition et gérer une bande de fréquence donnée. Cela signifie généralement qu'il existe un ensemble de directives à respecter et des besoins de gestion active du spectre de radiofréquences, visant à garantir une utilisation optimale de celui-ci et à éviter toute répercussion négative pour les clients, notamment des interférences. Des spectres de radiofréquences non soumis à une licence d'utilisation sont définis par les autorités de réglementation. Ils ne sont attribués ni à un opérateur, ni à un usage particulier et peuvent être utilisés librement. L'une des bandes de fréquence les plus connues est la bande industrielle, scientifique et médicale (ISM) de 2,4 GHz affectée à des applications génériques. Ce spectre de radiofréquences est celui d'un grand nombre de systèmes radio. Dans la mesure où son utilisation n'est pas réglementée, aucune autorisation particulière n'est requise pour acheter et mettre en œuvre les équipements opérant sur cette fréquence. Ceci a des conséquences notables sur les services mis en place avec ce type d'équipement et les structures de coût associées, qui résultent notamment des interférences.

Interférences. Les interférences sont propres aux systèmes sans fil et peuvent se traduire par une détérioration sensible de la qualité du service ou une panne des systèmes radio. Il existe plusieurs formes d'interférences, des perturbations de fréquence (champs électromagnétiques ou autres) aux perturbations climatiques. Elles sont une réalité et il revient aux responsables de la conception de l'infrastructure radio de les réduire au minimum⁹.

9. De nouvelles techniques, telles que les antennes intelligentes et les réseaux maillés, sont actuellement mises en place. Elles atténuent les effets des interférences et améliorent la capacité des systèmes et les taux de couverture. Ces techniques ne sont pas décrites en détail dans le présent document.

Tableau 1. Vue d'ensemble des exigences relatives aux applications des IMF

Caractéristiques	Applications des IMF				
	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données (en différé)	Interface avec le système informatique central (données en temps réel et en différé)	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données (temps réel et différé)	Voix (temps réel)
Bande passante	< 100 kbps	< 100 kbps	< 1 Mbps	< 100 kbps	Variable
Capacité	< 50 Ko par transaction	< 1 Mo par synchronisation	< 1 Go par jour	< 100 Ko par utilisateur	Variable
Couverture et mobilité	Nomade, sur place	Nomade, selon les besoins	Fixe	Nomade	Nomade
Latence	< 500 ms	< 10 s	< 500 ms	< 500 ms	< 480 ms
Qualité du service	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Indice GoS < 1 % Disponibilité > 99,9 %

Systèmes d'accès disponibles

La figure 1 présente la gamme des systèmes d'accès disponibles sur le marché en fonction de la vitesse de transmission de données (bande passante – vitesse de téléchargement type) et du degré de mobilité offerts. Ce chapitre contient une brève description de chaque système, accompagnée d'une évaluation qualitative de chacune des caractéristiques clés décrites précédemment. Les systèmes sont classés par taux de couverture, dans l'ordre

Figure 1. Systèmes d'accès présentés par bande passante et degré de mobilité

Typical end-user data rate : Vitesse de transmission des données à l'utilisateur final (cas général)

UWB : UWB

WLAN : Réseaux locaux sans fil (WLAN)

BWA : Accès hertzien à large bande (BWA)

Fixed BWA : Accès hertzien à large bande fixe

Proprietary systems : Systèmes propriétaires

xDSL : xDSL

Dial-up : Accès commuté

Cable : Câble

Satellite : Satellite

Bluetooth : Bluetooth

3D cellular : Cellulaire 3D

2G/2.5G cellular : Cellulaire 2G/2,5G

Fixed : Fixe

Short-range mobility : Courte portée

Wide area mobility : Longue portée

End-user mobility : Mobilité de l'utilisateur final

décroissant. Les systèmes commandés par satellite arrivent en tête. Ils couvrent une vaste part de la planète avec un seul satellite. Suivent les technologies cellulaires et autres systèmes sans fil de grande portée, les réseaux fixes et, enfin, les systèmes d'accès sans fil de courte portée, qui couvrent moins de 100 mètres.

Le tableau 2 figurant à la fin du présent document décrit l'adéquation de chacun des systèmes d'accès décrits précédemment pour les applications des IMF, compte tenu du degré de satisfaction aux critères définis. Pour les systèmes les plus connus, les données correspondantes et une évaluation sommaire sont fournis. Dans les tableaux qui suivent, le terme « viable » signifie que le système dont il est question est techniquement viable pour gérer l'application concernée. Des mentions complémentaires permettent d'indiquer les restrictions relatives à chaque système.

Systèmes fonctionnant par satellite

Le satellite reste l'une des alternatives les plus intéressantes au câble pour la téléphonie, la télévision et d'autres services multimédias, tant au niveau de l'utilisateur final – notamment dans les régions isolées – qu'en termes de transfert de données à travers le monde. Diffusion mise à part, elle se prête beaucoup plus aux applications de stockage et de transmission, comme le transfert de signaux vidéo, qu'à la téléphonie. Cela s'explique principalement par une latence généralement élevée. Autrement dit, les communications téléphoniques sont sujettes aux échos. En général, pour les services aux utilisateurs finaux, la vitesse de transmission des données n'excède pas 64 kbps. Toutefois, certains satellites récents prennent en charge des fonctions GPRS (de l'anglais *general packet radio service*, ou « service général de radiocommunication en mode paquet ») et de diffusion IP pouvant atteindre 492 kbps. Les systèmes fonctionnant par satellite sont, par nature, plus onéreux à déployer et leur capacité est limitée. Ils présentent ainsi le coût de transfert par bit le plus élevé. En revanche, il n'y a pas mieux en matière de mobilité, la zone de couverture étant déterminée par l'empreinte d'un seul satellite. Cependant, s'agissant de systèmes à hautes fréquences, les interférences environnementales sont forcément très importantes, particulièrement celles des arbres et des immeubles.

Les satellites GEO (de l'anglais *geosynchronous earth orbit*, ou « orbite géostationnaire ») font le tour de la Terre à vitesse constante par l'équateur toutes les 24 heures. Les satellites GEO d'Intelsat, d'Inmarsat et de Thuraya sont parmi les plus connus. L'opérateur Thuraya vient concurrencer Globalstar en proposant un téléphone par satellite en bimode (satellite/GSM). Il offre néanmoins une couverture plutôt régionale que mondiale et ne nécessite pas de transfert de la communication au passage d'un satellite à un autre. Le système Inmarsat permet une connexion de données *via* IP pouvant atteindre 492 kbps.

Les **microstations terriennes** (*very small aperture terminals* en anglais ou « VSAT ») sont des systèmes autonomes (fixes dans la plupart des cas) qui font transiter les communications *via* des satellites GEO. Ces microstations comprennent deux parties : un émetteur-récepteur et une antenne parabolique pouvant atteindre 2,4 m de diamètre, directement orientée vers le satellite, et une interface avec l'outil de communication de l'utilisateur final, généralement un PC. Le satellite émet et reçoit des signaux vers et depuis une station terrienne qui fait office de hub pour le système. Chaque utilisateur final est connecté au hub *via* le satellite. Le hub contrôle toutes les activités du réseau. Pour qu'un utilisateur final puisse communiquer avec un autre, chaque transmission passe d'abord par le hub, qui la retransmet ensuite par satellite au VSAT de l'autre utilisateur final. Ces systèmes sont une variante particulière de la technologie GEO. Ils sont principalement utilisés par des entreprises qui ont besoin d'une liaison à distance (souvent temporaire) avec leur maison mère. Ils sont adaptés à des services vocaux, vidéo ou de données. Ces solutions sont néanmoins onéreuses, du point de vue tant de la mise de fonds initiale requise pour l'acquisition de la microstation que de l'utilisation du service. Elles sont souvent installées à bord d'un véhicule et utilisées par les journalistes de télévision.

Les **satellites LEO** (de l'anglais *low earth orbit*, « ou orbite basse ») se déplacent généralement en orbite circulaire, à environ 400 km au-dessus de la surface de la Terre. Ils sont moins chers à placer dans l'espace que les satellites GEO. Qui plus est, étant plus proches de la Terre, ils nécessitent une intensité de signal moindre. À titre d'exemple, Iridium et Globalstar fournissent ainsi des services de communication par satellite (voix et données à bas débit) essentiellement aux régions isolées.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
Satellite	Viable, longue mise en place de l'appel	Viable, mais qualité médiocre	Viable mais déconseillé	Viable	Viable, VoIP exceptée
Les technologies par satellite sont mieux à même de répondre aux besoins des utilisateurs finaux, mais doivent être réservées aux zones montagneuses ou extrêmement reculées, où aucune autre solution n'est viable. La raison est simple : le coût extrêmement élevé de toute transmission vocale ou de données. Ces systèmes sont à exclure pour les applications très consommatrices de bande passante.					

Technologies cellulaires

Dans un premier temps, nous examinerons une série de normes décrites par le groupe du projet de partenariat de 3^e génération (3GPP), qui réunit des organisations de normalisation européennes et asiatiques chargées d'élaborer des spécifications techniques pour

les technologies mobiles (GSM). Nous passerons ensuite à la série de normes 3GPP2, définie par un groupe d'organisations de normalisation d'Amérique du Nord et d'Asie chargées de mettre au point des spécifications techniques concurrentes pour les technologies mobiles, basées sur la norme provisoire IS-95 (CDMA, de l'anglais *code division multiple access*, ou « accès mobile par répartition en code »). Les technologies décrites offrent une couverture et une mobilité généralement équivalentes. Les différences résident principalement dans les structures de coût ainsi que dans la disponibilité et dans la capacité des appareils.

Le GSM (de l'anglais *global system for mobile communication*, ou « système global pour les communications mobiles ») est une norme d'origine européenne et constitue actuellement la technologie mobile numérique prédominante. À l'origine, le GSM a été conçu spécialement pour les communications vocales à commutation de circuits (CC) (ainsi que pour des services restreints et peu rapides de transmission de données et de télécopie) et les fonctions complémentaires (transfert et blocage d'appels, mise en relation, téléconférence et SMS). Le SMS (de l'anglais *short message service*, ou « service de messages courts ») permet d'échanger des messages texte entre téléphones portables. Il est le précurseur des services de données.

En plus de la mise à disposition d'une vaste gamme de services supplémentaires, le GSM se distingue des technologies antérieures et concurrentes à deux titres. D'abord, il permet à l'utilisateur de passer librement d'un réseau à un autre. L'utilisateur peut ainsi utiliser les services de son réseau d'origine au sein d'un autre, qui est relié à celui-ci. Il peut s'agir de services de communication vocale, mais aussi des services de texte additionnels. Ensuite, il offre une sécurité intégrée qui permet authentification et codage. Les appareils GSM fonctionnent avec une carte à puce, appelée « carte SIM » (de l'anglais *subscriber identity module*, ou « module d'identification d'abonné »), qui contient les données spécifiques à l'opérateur et personnelles de l'utilisateur, permet d'authentifier ce dernier et de coder les sessions (voix ou données). Il faut savoir que seule la liaison entre l'appareil et la station de base est codée (et non pas la session de bout en bout).

Le GSM utilise un spectre de radiofréquences sous licence et a été normalisé. Il fonctionne habituellement avec 900 MHz, 1 800 MHz et 1 900 MHz. Cette dernière bande de fréquence est essentiellement utilisée en Amérique du Nord. Dans certaines parties du monde, le GSM fonctionne également avec 450 MHz et 850 MHz, notamment à mesure que les anciens systèmes mobiles analogiques sont abandonnés et que le spectre est libéré (ou redéployé).

Le HSCSD (de l'anglais *high-speed circuit switched data*, ou « données à commutation de circuits à haut débit ») est un prolongement de la norme GSM permettant au réseau d'utiliser des créneaux temporels supplémentaires pour augmenter la vitesse

de transmission des données, qui peut atteindre 115 kbps en théorie. Cette technologie reste marginale.

Le **GPRS**, précédemment évoqué, est un système mobile de transmission de données en mode paquet, dont la capacité théorique peut atteindre 115 kbps. Il exige toutefois le recours à un appareil spécial, ainsi qu'une modernisation des composants matériels et logiciels du réseau radio, sans oublier une nouvelle infrastructure de réseau centrale. Il utilise toutefois des bandes de fréquence déjà exploitées sous licence. Le GPRS a été conçu pour fonctionner avec des applications basées sur le Web et des données. S'agissant d'un système de transmission en mode paquet ne disposant pas d'une méthode adéquate pour prioriser les sessions d'utilisateur, le GPRS est sujet à une latence élevée et à une bande passante irrégulière. Il a donc été doté d'une capacité de connexion permanente. Autrement dit, il suffit d'allumer l'appareil ou d'appuyer sur un bouton pour être connecté, ce qui permet de réduire l'impact de la latence sur les applications installées. Ces dernières doivent habituellement ouvrir une session, puis se connecter à une application ou à un service en *peer-to-peer*. Bien que le système soit connecté en permanence, peu d'opérateurs facturent le temps de connexion. La plupart d'entre eux choisissent de facturer au volume de données transféré (UL ou DL)¹⁰.

Le système **EDGE** (de l'anglais *enhanced data rates for GSM evolution*, ou « débits de données améliorés pour l'évolution du GSM ») a été initialement conçu pour rehausser la capacité du HSCSD et du GPRS en matière de bande passante. Les composants matériels et logiciels de la station de base doivent être modernisés pour pouvoir prendre en charge la technologie EDGE, mais ces mises à niveau sont considérablement moins chères que la construction d'un nouveau réseau 3G. Il faut aussi prévoir un appareil spécial. Le système EDGE est principalement exploité par des opérateurs privés de spectre 3G ou qui ont rencontré des problèmes avec les délais ou la disponibilité des technologies 3G. Dans certains cas, le système a été considéré comme une alternative peu onéreuse au 3G, notamment lorsque l'opérateur avait utilisé la bande 900 MHz pour déployer un réseau GSM en zone rurale pour une vitesse de transmission de données requise de 100 à 200 kbps seulement. En théorie, EDGE peut gérer des débits de données atteignant 474 kbps. Grâce à l'évolution du produit, à l'avenir, ce chiffre pourrait atteindre près d'1 Mbps. Bien qu'il n'offre pas d'avantage sur le GPRS en termes de priorisation du trafic, sa bande passante et sa capacité sont considérablement supérieures, au bénéfice de l'expérience des utilisateurs.

10. Il existe divers types d'appareils GPRS, qui se distinguent par leur capacité à gérer non seulement plusieurs débits, mais aussi des sessions voix et données simultanées. Ce dernier aspect est important si l'utilisateur souhaite accéder à une application de transfert de données et téléphoner en même temps.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
EDGE	Viable	Viable	Viable	Viable	Non viable pour la VoIP
L'atout principal du système EDGE est sa couverture élargie (utilisation du spectre 900 MHz par exemple) et sa disponibilité accrue, qui le rendent plus viable d'un point de vue commercial que des technologies moins matures. L'inconvénient éventuel est le suivant : là où les applications des IMF requièrent une bande passante et une capacité élevées, l'aptitude du réseau cellulaire à répondre à la demande peut être affectée par d'autres utilisateurs du réseau radio. Cet obstacle est surmontable, à condition d'établir des objectifs de performance avec les fournisseurs de services concernés. Le prix risque cependant d'en souffrir.					

La technologie CDMA à large bande mobile de 3^e génération (3G), ou WCDMA, est le système 3G prédominant dans le monde actuellement¹¹. Il est mis en œuvre principalement dans la bande de fréquence 2 100 MHz, exploitée sous licence. Dans plusieurs régions, les opérateurs sont désormais autorisés à déployer cette technologie en utilisant les bandes 900 MHz ou 850 MHz existantes, principalement pour atteindre une plus large population. La bande passante et la capacité accrues offertes par les réseaux WCDMA sont telles que des services additionnels peuvent être proposés (par ex. appels vidéo, diffusion vidéo en temps réel, télévision mobile ou encore appels téléphoniques et transferts de données simultanés). Bien que le modèle économique de ces services n'ait pas encore été éprouvé et que le type et la qualité (durée de vie de la batterie) de l'appareil soient déterminants, cette technologie mobile n'offre pas moins la possibilité de mettre à disposition de plus en plus de services de données et d'applications.

Le WCDMA met à disposition des services vocaux à CC et des services de données à CP. Ces derniers offrent généralement des débits allant jusqu'à 384 kbps pour le DL et 64 kbps pour l'UL dans les réseaux WCDMA actuellement déployés. Grâce au HSDPA (de l'anglais *high-speed downlink packet access*, ou « accès descendant à haute vitesse en mode paquet ») et à son pendant, le HSUPA (de l'anglais *high-speed uplink packet access*, ou « accès ascendant à haute vitesse en mode paquet »), des performances atteignant respectivement 14 Mbps (DL) et 11,5 Mbps (UL) arrivent actuellement sur le marché. La latence du système HSDPA est d'environ 120 ms, contre 300 ms pour le WCDMA.

11. Selon la définition de l'UIT, les technologies 3G englobent le WCDMA, le CDMA2000 (successeur du CDMA 2G IS-95), le TD-CDMA (de l'anglais *time division-code division multiple access*, ou « accès multiple à répartition en code et dans le temps ») et le TD-SCDMA (accès multiple à répartition en code synchrone et dans le temps), EDGE, les télécommunications numériques sans fil améliorées (DECT), et le WiMax (de l'anglais *worldwide interoperability of microwave-access*). Le WCDMA est utilisé au Japon dans le système FOMA (de l'anglais *freedom of mobile multimedia access*, ou « liberté d'accès au multimédia mobile ») et dans le système européen de télécommunications mobiles universelles (UMTS, de l'anglais *universal mobile telecommunications system*), ce dernier constituant la technologie 3G la plus déployée dans le monde aujourd'hui. Les systèmes CDMA2000, WiMax et EDGE sont présentés dans d'autres chapitres. Quant au TD-SCDMA, il est fortement impulsé en Chine. Toutes les autres technologies constituent actuellement des niches de marché.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
WCDMA	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP avec HSDPA et HSUPA
<p>À court terme, le WCDMA reste une technologie relativement immature, donc plus chère à mettre en œuvre que les systèmes concurrents. Sa grande capacité et sa bande passante considérable, ainsi que l'évolution des normes en la matière, en font une application viable pour les IMF à plus longue échéance. Le déploiement du WCDMA avec 900 MHz ou des fréquences inférieures amélioreront considérablement le taux de couverture et, ainsi, la viabilité commerciale du recours à ces technologies pour l'ensemble des applications des IMF.</p>					

Les versions révisées A et B du CDMA IS-95 (ou CDMAOne) sont l'œuvre de la société Qualcomm. La norme IS-95 est généralement déployée avec 800 MHz ou 1 900 MHz, plus rarement avec 450 MHz, 900 MHz et d'autres bandes de fréquence. Elle offre des possibilités à la fois pour la CC et la CP, avec des services vocaux et de données allant jusqu'à 14,4 kbps pour la norme IS-95-A et 115 kbps pour IS-95-B. Elle soutient donc la comparaison avec le GSM et le GPRS. Il n'y a pas de carte SIM. De ce fait, il est un peu plus difficile pour l'utilisateur de changer de réseau et d'appareil tout en conservant ses services et son numéro (nécessite l'intervention de l'opérateur). La diversité des appareils n'est pas aussi grande qu'avec le GSM. Bien que CDMAOne prenne en charge l'utilisation de SMS, ses performances en termes de gestion de services supplémentaires ont toujours été médiocres. Ce problème a été en partie corrigé par des solutions spécifiques au fournisseur (IS41) basées sur des réseaux intelligents. De plus, le système CDMAOne a mis du temps à intégrer une fonction nomade standard, ce qui a contrarié sa capacité à fournir des services aux voyageurs.

Systèmes CDMA2000 3G 1xRTT, EV-DV (de l'anglais *evolution-data/voice*, ou « services vocaux et de données de demain ») et EV-DO (de l'anglais *evolution-data optimized*, ou « services de données optimisés »). 1xRTT est le prolongement de la norme IS-95. Ce système double réellement la capacité du réseau et se caractérise par une vitesse de transmission de données potentielle de 144 kbps. Le CDMA2000 EV-DV gère des débits de données pouvant atteindre 3,1 Mbps (DL) et 1,8 Mbps (UL). Il est compatible avec les réseaux CDMAOne. Cependant, en 2005, Qualcomm a suspendu le développement du système EV-DV pour une durée indéterminée en raison du manque d'intérêt des opérateurs. Les services EV-DO ont été conçus comme une technologie d'avenir capable de gérer des débits de données élevés avec une latence très faible, susceptible d'être déployée parallèlement aux services vocaux d'un opérateur de services sans fil (ce qui impliquerait la construction d'un réseau en superposition). Le réseau transmet ses données

entièrement en mode paquet. Il a été conçu comme un réseau tout IP. Bien que n'étant pas destinée à la transmission de voix, la qualité de service intrinsèque permet d'envisager la réalisation de services de VoIP¹².

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
CDMA2000 EV-DO	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP avec la version révisée A
La technologie CDMA2000 est plus mature que le WCDMA et fonctionne généralement avec des fréquences inférieures (800 MHz par ex.), ce qui tend à en faire un modèle commercial extrêmement viable dans les zones rurales. Cependant, l'absence d'un vaste déploiement en dehors de l'Amérique du Nord signifie que l'équipement est plus cher et que sa longévité est incertaine.					

Pour tous les systèmes décrits ici, la conception du réseau mobile est un facteur crucial pour que l'expérience de l'utilisateur final et les performances d'une application donnée soient fidèles aux attentes en la matière. La mise à disposition de services mobiles dans la localité voulue ne garantit pas le bon fonctionnement de l'application de l'IME. La fourniture de services vocaux va certes de pair avec celle de services comme le SMS (et l'USSD). Cela n'implique pas pour autant que l'utilisateur aura accès aux systèmes de transmission de données par paquets requis, comme le GPRS ou EDGE¹³.

Technologies sans fil de longue portée à mobilité réduite

L'accès hertzien (*wireless local loop* ou WLL en anglais) est un terme générique qui correspond à la fourniture de services internet et de RTC sur le dernier kilomètre. La technologie exploitée en réalité peut être n'importe laquelle de celles décrites dans le présent document, comme le LMDS, le GSM ou le CDMA.

Le LMDS (de l'anglais *local multipoint distribution service*, littéralement « service de distribution local multipoint ») EEE 802.16 désigne un système d'accès à large bande sans

12. Il existe deux versions révisées d'EV-DO : la version A offre des vitesses de téléchargement allant jusqu'à 3,1 Mbps (DL) et 1,8 Mbps (UL). La version B est une variante multiopérateur de la version A, avec une vitesse de téléchargement de 4,9 Mbps par opérateur (DL). En théorie, un débit de 14,7 Mbps (DL) est donc envisageable. Cette technologie est plus souple pour les services asymétriques et peut gérer des services vidéo haute définition. La version A est actuellement déployée et prend en charge des services de VoIP.

13. Certains appareils portatifs indiquent effectivement la présence d'une telle fonction, mais sans préciser la bande passante ou la capacité disponible dans la partie concernée du réseau. Seul un entretien direct avec l'opérateur permet de déterminer la bande passante habituellement disponible pour chaque utilisateur.

fil en visibilité directe. Ce service est régi par la norme IEEE 802.16 et a été conçu comme un système à large bande de point à multipoint, fixe et sans fil, pour le dernier kilomètre. Il sert le plus souvent de technologie de *backhaul* et n'est pas destiné à l'utilisateur final. Le système LMDS fonctionne généralement avec des fréquences à micro-ondes (bandes de 26 et 29 GHz) mais peut théoriquement utiliser n'importe quelle fréquence comprise entre 10 et 66 GHz. La bande passante et le degré de fiabilité dépendent de la longueur de la liaison hertzienne et de la méthode de modulation utilisée. En général, des liaisons pouvant atteindre 8 km à partir de la station de base sont envisageables. La plupart du temps, cette distance est toutefois limitée à environ 2 km en raison des contraintes d'atténuation dues à la pluie. Ce système n'a pas rencontré un grand succès et sera probablement remplacé par le WiMax.

Le MMDS (de l'anglais *multichannel multipoint distribution service*, littéralement « service de distribution multipoint et multicanal ») a été initialement conçu pour des services de télévision par câble. Le MMDS utilise une fréquence inférieure à celle du LMDS. Sa capacité est moindre, mais il offre une couverture plus large. À l'instar du LMDS, le MMDS ne répond pas aux attentes en termes de mobilité ou de portabilité. En cela, il n'offre pas de valeur ajoutée par rapport aux services par câble à large bande. De surcroît, dans la plupart des régions industrialisées, la structure des coûts tend à être plus élevée que pour un service par câble équivalent. Le spectre de radiofréquences du MMDS ne peut être utilisé pour fournir des services mobiles. De même que le LMDS, le MMDS n'a pas connu un franc succès.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
LMDS	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Viable	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé
MMDS	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Viable	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé
Le LMDS et le MMDS doivent être considérés comme des solutions réservées à de petits segments de marché et à une connectivité entre agences uniquement. Ils ne se prêtent pas particulièrement à des systèmes destinés aux utilisateurs finaux. Leur forte consommation de bande passante et l'utilisation d'une fréquence élevée les rendent onéreux pour ce type de services. Le WiMax risque de rendre ces technologies obsolètes. Par conséquent, il est préférable de ne pas les retenir pour l'instant, même si rien n'est définitif.					

Les **hyperfréquences** (ou micro-ondes) sont généralement comprises entre 300 MHz et 300 GHz (ondes décimétriques, centimétriques et millimétriques). La plupart des technologies radioélectriques décrites dans le présent document fonctionnent en réalité avec

des hyperfréquences. Il est question ici, plus précisément, de l'exploitation des ondes hyperfréquences dans le cadre de la mise en place de liaisons point à point. Il peut s'agir de liaisons haut débit (de 64 kbps à plusieurs dizaines de Mbps) s'étendant sur une centaine de kilomètres. La latence est parfois faible, mais en partie liée aux effets et aux perturbations climatiques. Avant l'apparition de la fibre optique, les liaisons hyperfréquences étaient très couramment utilisées pour relier des réseaux et des composants réseau. Aujourd'hui, elles constituent une solution essentiellement rentable pour relier les composants réseau de systèmes de *backhaul*. Dans les systèmes multiplexés, elles servent également très souvent à relier un ou plusieurs autocommutateurs téléphoniques privés à un central téléphonique.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
Hyperfréquences	Déconseillé	Déconseillé	Viable	Déconseillé	Déconseillé
Les hyperfréquences restent une technologie viable, mais doivent être évaluées au cas par cas (à la fois en termes d'intérêt commercial et de performances), notamment en fonction des effets climatiques et de la distance que les liaisons hertziennes doivent parcourir. Elles sont à envisager de préférence pour des agences isolées, mais peuvent aussi être employées pour le <i>backhaul</i> d'un système d'accès de courte portée, comme le Wi-Fi, qui pourrait ainsi être mis en œuvre pour certaines applications sur terminal portable. Utilisé seul, le Wi-Fi n'est pas viable, mais l'association avec un service de transmission de données au sein d'une agence rend l'intérêt commercial bien plus solide.					

Le **WiMax IEEE 802.16** est un système de transmission de données à large bande de longue portée, qui utilise généralement un spectre de radiofréquences sous licence pour fournir une connexion internet point à point. Pour cela, il relie un fournisseur de services internet à une entité de réseau ou à un utilisateur final. Les systèmes d'accès varient selon les normes 802.16, de mobile (équivalent à l'accès aux données *via* un téléphone portable) à fixe (alternative au système filaire, où la destination sans fil de l'utilisateur final est fixe). Les versions commercialisées actuellement sont plutôt fixes et à large bande que mobiles. Elles sont principalement destinées à la connectivité du dernier kilomètre (*backhaul*) dans des zones où ce système d'accès n'était pas rentable jusqu'ici. Les produits mobiles ne seront probablement pas commercialisés avant au moins un an. Bien qu'il s'agisse principalement d'un réseau de données sans fil à large bande, l'émergence de la VoIP et la qualité de service inhérente au système permettent au WiMax de proposer des services vocaux de grande qualité à moindre coût (réseau tout IP). À l'heure actuelle, aucun service supplémentaire n'est prévu.

Les débits de données types par usager offerts par le WiMax laissent penser que des vitesses de téléchargement de 10 Mbps (DL) et 5 Mbps (UL) sont possibles. La

latence de 30 ms permet d'envisager une amélioration notable des performances par rapport aux technologies 3G actuellement proposées. Une grande efficacité spectrale et l'utilisation d'antennes à entrées et sorties multiples (MIMO) indiquent une couverture et une capacité des stations de base potentiellement élevées, le tout à un coût bien moindre que celui des autres technologies aujourd'hui disponibles. Il n'existe pas de spectre de radiofréquences sous licence unique au niveau mondial pour le WiMax. Le WiMax Forum a toutefois publié trois profils de spectres sous licence dans l'optique d'une réduction des coûts : 2,3 GHz, 2,5 GHz et 3,5 GHz. Selon le principe des économies d'échelle, plus on construira d'appareils intégrant la technologie WiMax (téléphones et ordinateurs portables par exemple), plus le coût unitaire diminuera. Il en va de même pour les stations de base. Pour la bande de fréquence libre de droit, le profil spectral autorisé est 5.x GHz.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
WiMax	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP
<p>Le WiMax est la moins mature des technologies d'accès. Toutefois, l'enthousiasme qu'elle a généré (bande passante, capacité, couverture, latence, qualité de service et coût) ainsi que son adoption parmi les technologies cellulaires 3G laissent penser qu'elle résistera assez longtemps pour atteindre la phase des technologies cellulaires de quatrième génération (4G). Les versions commercialisées pour le <i>backhaul</i> de réseaux fixes sont très prometteuses (les performances réelles sont à la hauteur des attentes). Les six à douze prochains mois détermineront s'il en est de même pour les versions cellulaires du WiMax. Le Wi-Fi, le LMDS et le MMDS risquent de souffrir de l'avènement du WiMax.</p>					

Technologies filaires

Le **réseau à fil de cuivre nu** est le mode traditionnel de transmission des signaux vocaux et de données dans l'environnement filaire CC. Ce type de réseau est très répandu dans les pays industrialisés. Son coût modeste permet donc à tout opérateur de l'utiliser pour déployer ses services. Historiquement, le principal service fourni *via* ce système est les RTC, à savoir le service de téléphonie analogique de base, qui reste le plus simple offert aux particuliers et aux petites entreprises reliés au RTPC. C'est le service téléphonique le plus fiable du monde, avec un taux de disponibilité supérieur à 99,999 %. Le RTC se compose d'une paire de fils reliant le central téléphonique à l'utilisateur final (alimentation 48 V CC côté central). Les services offerts englobent la communication vocale bidirectionnelle (duplex intégral), avec une gamme de fréquences allant de 300 à 3 400 Hz (régées sur l'oreille humaine), les tonalités d'appels (numérotation et sonnerie) et la numérotation automatique. Au fil du temps, les techniques ont évolué et plusieurs fonctionnalités ont

été ajoutées à ces lignes RTC, notamment la messagerie vocale, l'identification des appels entrants, la mise en attente, la numérotation abrégée, la téléconférence, etc. Les données de signalisation sont transmises soit par numérotation en fréquences vocales (DTMF), soit par impulsion.

Le **réseau numérique à intégration des services (RNIS)** permet de fournir simultanément des services vocaux et de données sur un réseau à fil de cuivre. Il a été purement et simplement remplacé par le xDSL (de l'anglais *digital subscriber line*, ou « ligne numérique d'abonné »).

Le terme « **xDSL** » désigne une famille de technologies permettant de transmettre des données numériques sur une paire de fils de cuivre au sein d'un réseau téléphonique local. La DSL emploie des signaux à ondes décamétriques (> 25 kHz), tandis que les services de téléphonie vocale utilisent les signaux à ondes kilométriques (0 à 3,4 kHz). Ce système requiert un filtre et le recours à un modem spécialisé, installé chez le client, ainsi qu'un multiplexeur de lignes numériques d'abonnés central (DSLAM) pour séparer la voix des données. La voix et les données peuvent être transmises simultanément. En général, la vitesse de téléchargement en aval (DL) des services DSL réservés aux particuliers est comprise entre 512 kbps et 24 Mbps selon la technologie DSL, l'état des lignes et le niveau de service. Les progrès récents laissent entrevoir une capacité de 100 Mbps dans un avenir proche. Les services sont configurés en asymétrique ou en symétrique. Les services symétriques sont plus rares et plus chers à exploiter. Ils sont surtout proposés aux entreprises (VoIP notamment). Les taux de contention habituels sont de 50:1 pour les services aux particuliers, contre 1:1 pour les services destinés aux entreprises. Plus la distance qui sépare l'équipement du central est grande, plus la vitesse de transmission des données se dégrade. Idéalement, cette distance ne doit pas dépasser quelques kilomètres. Plusieurs autres facteurs peuvent toutefois avoir une incidence sur la capacité. Par conséquent, il sera difficile de déterminer si des services à large bande et à faible latence (services vidéo ou VoIP) peuvent être pris en charge.

	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
xDSL	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP
Les technologies DSL répondront aux attentes si le réseau à fil de cuivre existe, ce qui représente un problème majeur dans les zones rurales. Par conséquent, dans certains cas, la DSL ne sera viable que pour les applications mises en œuvre par des agences situées dans de grandes agglomérations (interface avec des systèmes d'information de classe supérieure notamment). Sur ce terrain, elle concurrence directement les hyperfréquences.					

Les réseaux à **câble coaxial** sont, entre autres, utilisés pour déployer des services de télévision et RTC. Ils ont été en partie remplacés par les réseaux **hybrides à câble coaxial (HFC)** qui combinent fibre optique et câble coaxial pour fournir la capacité requise pour satisfaire la clientèle importante de la télévision par câble.

La **fibre optique** est une fibre de verre à travers laquelle passent des ondes de lumière véhiculant des signaux numériques. Ces derniers, de grande capacité, constituent une alternative de choix au fil de cuivre ou aux hyperfréquences. La fibre optique est relativement abordable à l'achat, mais son déploiement est parfois coûteux. Elle doit en effet être implantée sous terre ou sous l'eau. De plus, selon la distance à parcourir, des répéteurs et des amplificateurs doivent être installés (puis entretenus). Une fois en place, le système offre une grande capacité et une disponibilité élevée. Les déterrements sont la principale cause de panne. La fibre optique est avant tout utilisée pour relier des composants réseau et des réseaux (filaire et sans fil, nationaux et internationaux), ainsi que des systèmes d'application (serveurs vidéo, PBX, etc.). Sauf exception, elle ne sert pas à relier des utilisateurs finaux (cas d'une société qui a besoin d'une connexion à un réseau WAN). L'émergence du multimédia haute définition a conduit au déploiement de réseaux FTTN (de l'anglais *fiber to the node*, littéralement « de la fibre au nœud ») et FTTH (de l'anglais *fiber to the home*, ou « de la fibre au domicile ») dans certaines localités (en lieu et place des réseaux HFC). Le coût de ces systèmes est néanmoins élevé, en partie à cause d'un déploiement souterrain massif. Pour l'instant, la fibre optique n'est donc pas directement exploitable en milieu rural.

Systèmes d'accès sans fil de courte portée

Ces technologies sont nomades par nature. En général, elles créent un environnement client sans fil ou complètent un autre système d'accès, offrant une mobilité locale que ce dernier ne permet pas ou encore un accès local à un service ou à une fonction particulière.

Le **Wi-Fi IEEE 802.11** désigne le nom de marque déposé par l'Alliance Wi-Fi pour la série de normes IEEE régissant les réseaux locaux sans fil. Il s'agit d'une technologie hertzienne fonctionnant avec le spectre 2,4 GHz ou 5,8 GHz, qui est libre de droits. La portée est généralement de 100 m. Le système se compose d'un point d'accès sans fil déployé à la manière d'une station de base, mais à une échelle beaucoup plus petite et à moindre coût, ainsi que d'une carte de données sans fil (le plus souvent une carte PCMCIA ou une fonctionnalité similaire intégrée à l'ordinateur de bureau ou portable). La vitesse de transmission des données varie selon la norme choisie (802.11a à 54 Mbps, 802.11b à 11 Mbps, 802.11n à plus de 100 Mbps). Toutefois, étant donné que l'utilisation du spectre de radiofréquences est libre, le débit est largement tributaire de l'environnement local

(murs, matériaux) et de l'impact des interférences. Par conséquent, dans la majorité des cas, cette technologie est proposée aux particuliers, aux travailleurs indépendants, aux petites entreprises et dans les zones clés pour élargir les services filaires haut débit (par câble ou xDSL) à un environnement sans fil.

Aujourd'hui, les principaux problèmes rencontrés avec les réseaux Wi-Fi restent liés à la sécurité, à la qualité du service (notamment en raison des interférences et de l'absence de priorisation des différents types de trafic) et à la consommation d'énergie des appareils Wi-Fi. À ce jour, le Wi-Fi a servi essentiellement à développer des services de transmission de données. À la suite de l'émergence des téléphones mobiles en bimode, qui prennent en charge le Wi-Fi, ce dernier a toutefois été étendu aux communications téléphoniques. Il existe également des appareils Wi-Fi autonomes, mais ils sont relativement rares. Les appareils Wi-Fi en bimode offrent, d'une part, un accès cellulaire normal et, d'autre part, des communications téléphoniques sur IP moins chères. Cet avantage pourrait entraîner un effet de levier sur le tarif des appels professionnels par VoIP. Il existe des mécanismes (sous-système IP multimédia) et des formules d'accès aux services mobiles sans licence qui permettent de passer automatiquement d'un réseau hertzien à un autre. En réalité, ces mécanismes pourraient optimiser l'utilisation des divers réseaux en présence en fonction de paramètres comme la puissance du signal et le coût des divers réseaux disponibles à un moment donné.

Le **Bluetooth IEEE 802.15.1** désigne un protocole de communication normalisé sans fil de courte portée (pas plus de 100 m) créé par le Groupement d'intérêt spécial Bluetooth. Il permet une communication haut débit (jusqu'à 3 Mbps) entre une vaste gamme d'appareils grand public, dont les ordinateurs et les téléphones portables. Il utilise la bande ISM libre de droits (à l'instar du Wi-Fi) et ne requiert pas de visibilité directe. La version 1 était sujette aux interférences, du Wi-Fi notamment. La version 2 est très supérieure. Elle offre un débit de données plus élevé et est proposée sur la plupart des appareils récents. Le Bluetooth peut servir à la fois pour la voix et pour les données. Il est souvent utilisé pour les communications vocales par téléphone portable et kit mains libres.

L'**identification par radiofréquences (RFID) ISO14443** est une méthode d'identification permettant de stocker et de récupérer des données à distance grâce à de petites étiquettes, ou répéteurs, qui ne mesurent parfois que 0,05 mm². La portée de communication entre l'étiquette et le lecteur correspondant est généralement de quelques centimètres et n'excède jamais quelques mètres. La plupart des étiquettes RFID se composent de deux parties : un circuit intégré destiné au stockage et au traitement des informations, et une antenne pour la réception et l'émission du signal. Une étiquette peut être passive (pas de batterie) et fonctionner avec l'énergie induite par le champ électromagnétique du lecteur,

ou active (avec batterie). La technologie RFID est de plus en plus courante pour les applications d'inventaire, qui utilisent des codes-barres par exemple, mais, pour les IMF, elle sert principalement à transmettre en toute sécurité les données contenues sur une carte mémoire à un autre appareil (téléphone portable par exemple).

On confond souvent la RFID avec la **communication en champ proche ISO14443/18092/21481** (également appelée NFC, de l'anglais *near-field communication*). Et pour cause : ces deux technologies présentent de nombreux points communs. Les principes de base décrits précédemment et définis par la norme ISO14443 sont ici identiques. Il s'agit d'une extension de la norme ISO14443 régissant les cartes de proximité, qui allie la capacité d'une carte mémoire à un lecteur pour obtenir un seul et unique appareil. La communication en champ proche est néanmoins axée sur la téléphonie mobile, a une portée bien plus courte (de quelques cm à 20 cm au maximum) et est beaucoup plus rapide à mettre en place. Elle est appliquée à la technologie Bluetooth pour automatiser le « couplage » et faire en sorte d'obtenir un résultat rapide et continu. Aucun mécanisme de sécurité n'est fourni. Par conséquent, les écoutes illicites ou l'usurpation d'identité ne peuvent être exclues, à moins que l'application concernée ne comporte un système de sécurité de bout en bout.

Les systèmes à **infrarouge** correspondent à des communications de données de courte portée réservées principalement aux périphériques d'ordinateurs, aux appareils électroniques grand public et aux appareils courants, comme les téléphones portables. Ces appareils obéissent à des normes établies par l'IrDA (Infrared Data Association). Les télécommandes et appareils aux normes IrDA utilisent des diodes électroluminescentes à infrarouge (LED) pour émettre des rayons infrarouges qui se concentrent vers un faisceau étroit. Ce dernier est modulé (il s'allume et s'éteint) pour encoder les données. Le récepteur utilise une photodiode électronique pour convertir les rayons infrarouges en courant électrique, qui répond uniquement aux signaux à impulsion rapide émanant du transmetteur et opère un filtrage des rayons infrarouges dans la lumière ambiante. Pour assurer le bon fonctionnement du système, une visibilité directe ou quasi directe est requise. Les rayons infrarouges ne traversent pas les murs et ne créent par conséquent aucune interférence avec les autres appareils des salles adjacentes. L'inconvénient est que la portée et les fonctionnalités sont limitées. Bien qu'elle reste proposée par de nombreux appareils mobiles, cette technologie est peu à peu remplacée par le Bluetooth.

La **bande ultralarge IEEE 802.15.3** (ou UWB, de l'anglais *ultra wide band*) est également régie par la norme 802.15 (qui concerne les réseaux sans fil privés). Cette technologie offre un débit maximal de 480 Mbps sur des distances très courtes (quelques mètres seulement). Elle utilise certaines fréquences de la bande GHz mais le processus

de normalisation correspondant n'est pas encore terminé. À long terme, elle pourrait remplacer le Bluetooth, surtout en tant que système haut débit pour la sphère privée. À l'heure actuelle, elle n'offre aucune application concrète pour les IMF.

Vue d'ensemble

Le tableau 2 contient une vue d'ensemble des exigences à remplir en fonction de l'application concernée, ainsi que des éléments de comparaison des différents systèmes d'accès. Les paramètres relatifs aux caractéristiques de chaque service doivent être examinés pour chacune des applications, de façon à pouvoir déterminer l'adéquation des fonctionnalités offertes par chaque système d'accès, ainsi que sa viabilité commerciale. Les données contenues dans le tableau sont fournies à titre indicatif et ne doivent pas être considérées comme immuables. Les caractéristiques peuvent en effet varier considérablement d'un fournisseur de services à l'autre et chaque solution élaborée pour une application donnée répondra à des exigences très spécifiques.

Le tableau montre que, sur le plan de la viabilité technique, plusieurs technologies sont à même d'offrir des solutions pour une connectivité rurale. L'accent est mis sur l'utilisation d'un système d'accès adapté à l'ensemble des applications de l'IMF concernée, afin de simplifier la conception des applications client et serveur et, ainsi, le coût de la solution. Dans la pratique toutefois, des problèmes liés au taux de couverture ou à l'implémentation des systèmes par le fournisseur de services peuvent être un obstacle.

David Bridge est consultant indépendant en affaires et technologies.

Ignacio Mas est conseiller senior du Programme de technologie du CGAP.

Tableau 2. Présentation des exigences relatives aux applications des IMF et des systèmes d'accès existants en fonction des caractéristiques des services de connectivité

Applications des IMF					
	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
Caractéristiques des services de connectivité					
Bande passante	< 100 kbps	< 100 kbps	< 1 Mbps	< 100 kbps	Variable
Capacité	< 50 Ko par transaction	< 1 Mo par synchronisation	<1 Go par jour	<100 Ko par utilisateur	Variable
Couverture et mobilité	Nomade, sur le terrain	Nomade, selon le besoin	Fixe	Nomade	Nomade
Latence	< 500 ms	< 10 s	< 500 ms	< 500 ms	< 480 ms
Qualité du service	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Taux de contention : 50:1 Disponibilité > 99,9 %	Indice GoS < 1 % Disponibilité > 99,9 %
Satellite	Viable, longue mise en place des appels	Viable, mais de qualité médiocre	Viable, mais déconseillé ⁴	Viable, mais déconseillé ⁴	Viable, VoIP exceptée
Technologies cellulaires/mobiles					
GSM	14,4 kbps pour la commutation de données, non optimal ¹	14,4 kbps pour la commutation de circuits de données, non optimal ¹	Non viable	14,4 kbps pour la commutation de circuits de données, non optimal ¹	Viable, optimisée
HSCSD	Viable, longue mise en place des appels	Viable	Non viable	Viable	Non viable pour la VoIP
GPRS	Viable, vitesse de transmission des données OK	Viable, mais qualité médiocre	Non viable	Viable	Non viable pour la VoIP
EDGE	Viable	Viable	Viable	Viable	Non viable pour la VoIP
WCDMA	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP avec HSDPA et HSUPA
CDMAOne	14,4 kbps pour la commutation de paquets de données, non optimal/à 115 kbps, OK	14,4 kbps pour la commutation de paquets de données, non optimal/à 115 kbps, OK	Non viable	14,4 kbps pour la commutation de paquets de données, non optimal/à 115 kbps, OK	Viable, optimisée
CDMA2000 1xRTT	Viable	Viable	Non viable	Viable	Non viable pour la VoIP
CDMA2000 EV-DO	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP avec version rév. A

(à suivre)

Tableau 2. Présentation des exigences relatives aux applications des IMF et des systèmes d'accès existants en fonction des caractéristiques des services de connectivité (suite)

Applications des IMF					
	Transactions de données en temps réel	Synchronisation de données en différé	Interface avec le système informatique central	Accès de la clientèle aux services d'assistance	
				Données	Voix (temps réel)
Systèmes sans fil de longue portée à mobilité réduite ou limitée					
LMDS	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Viable	Déconseillé pour les terminaux portatifs ²	Déconseillé
MMDS	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Viable	Déconseillé pour les terminaux portatifs	Déconseillé
Hyperfréquences	Déconseillé	Déconseillé	Viable	Déconseillé ³	Déconseillé
WiMax	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP
Systèmes filaires					
RTC ⁸	Viable, non optimal	Viable, non optimal	Non viable	Non viable	Viable, optimisé
xDSL	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable pour la VoIP
Systèmes d'accès de courte portée sans fil ⁷					
Wi-Fi ⁵	Viable	Viable	Déconseillé ⁶	Déconseillé ⁶	Tout juste viable pour la VoIP
Bluetooth	Viable	Viable	Viable	Viable	Viable
RFID	Viable	Viable	Sans objet	Sans objet	Sans objet
NFC	Viable	Viable	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Infrarouge	Déconseillé	Déconseillé	Déconseillé	Non viable	Non viable
<p>Remarques :</p> <p>Le terme « viable » indique que la solution est techniquement viable. Les mentions supplémentaires indiquent les restrictions éventuelles.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Les transactions peuvent s'appuyer sur les technologies SMS ou USSD, mais des problèmes peuvent se poser si le fournisseur de services ne s'est pas fixé d'objectifs de performance adéquats. 2. Ces technologies sont mieux adaptées aux ordinateurs de bureau qu'aux équipements portatifs. 3. Les hyperfréquences peuvent offrir un très haut débit, mais ne seraient pas rentables sans autres applications commerciales pour cette bande passante (Wi-Fi par exemple). 4. Le coût risque d'être prohibitif. 5. Le Wi-Fi n'est viable qu'avec un <i>backhaul</i> performant (technologie filaire ou WiMax). À ce titre, il peut être classé comme « réservé à un usage local ». 6. À court terme, le Wi-Fi n'offre pas de performances et de fiabilité suffisantes pour assurer ce type d'application. 7. Les technologies de courte portée sont réservées à un usage local. En d'autres termes, elles peuvent constituer une partie de la solution, mais doivent être complétées par au moins un autre système d'accès. 8. Le RTC implique la présence d'une ligne commutées pour accéder aux données. Le RNIS est à exclure, ayant été remplacé par la technologie xDSL. 					

