

De nouvelles technologies pour le listage géographique du recensement

Sélection de sujets relatifs aux recensements internationaux¹

Publié en décembre 2015

INTRODUCTION

Ce dossier de Sélection de sujets relatifs aux recensements internationaux fournira aux organismes nationaux des statistiques (NSOs, selon l'acronyme anglais) des informations précises sur les technologies utilisées pour les opérations de listage géographique des recensements, qui ont beaucoup évolué au cours des dix dernières années. Le listage géographique affecte fortement les opérations de recensement futurs. Durant l'opération de listage, les recenseurs identifient les unités de logement et dressent la liste des foyers dans la zone de recensement, qui correspond généralement à l'ensemble du pays. Traditionnellement, lorsque les recenseurs effectuaient ce décompte à l'aide d'un crayon et de papier, ils créaient des cartes pictographiques (croquis) qu'ils utilisaient lors du comptage complet de la population et des logements. À l'approche du recensement de l'an 2000, les logiciels de systèmes d'information géographique (GIS, selon l'acronyme anglais) étaient désormais très répandus sur les ordinateurs de bureau et dotés d'interfaces graphiques intuitives. Toutefois, c'est au cours du cycle de recensement de 2010 (2005-2014) que de nombreux organismes nationaux des statistiques sont passés des cartes papier aux cartes numériques. Le passage du papier aux cartes numériques implique la numérisation des limites du secteur de dénombrement telles que représentées sur les croquis cartographiques. Ces croquis cartographiques doivent également représenter les limites physiques pour une numérisation correcte. Les caractéristiques physiques du format numérique qui correspondent à celles représentées sur les croquis cartographiques sont ensuite utilisées pour reconstruire les limites du secteur de dénombrement. Au cours du recensement de 2010, de nombreux organismes nationaux des statistiques ont également commencé à rechercher et à mettre en place des solutions à l'aide de systèmes d'information géospatiale (GIS) d'entreprise, d'analyses d'images satellites et d'appareils portables équipés du système de positionnement global (GPS, selon l'acronyme anglais). Cependant, le coût et la complexité ont constitué des

Définitions géographiques utilisées dans ce dossier

Chaque NSO peut avoir sa propre compréhension des termes utilisés pour décrire les opérations de listage. Ces définitions ont pour but de fournir des éclaircissements aux fins du présent dossier, et non de remplacer les définitions existantes des NSO ou de proposer la nécessité d'une uniformité totale. Il existe d'autres distinctions entre les logements reposant sur les actifs et les services disponibles. Pour plus d'informations sur ces définitions, se référer aux pages 192-197 du document *Principles and Recommendations for Population and Housing Censuses* (UNSD, 2015).

Emplacements des bâtiments - Une liste complète des emplacements des bâtiments dans le secteur de dénombrement - généralement le territoire entier d'un pays - qui peuvent ou non contenir un ou plusieurs logements.

Logement - Toute structure habitée qui n'est pas entièrement utilisée à des fins non résidentielles au moment du recensement.

Unité d'habitation - Une pièce ou un groupe de pièces (lieu de résidence) à l'intérieur d'une structure permanente construite spécifiquement pour être occupée par un foyer avec accès à une rue ou à un espace commun.

Suite à la page suivante

obstacles importants à une utilisation à grande échelle. Pour le recensement de 2020, les NSO adopteront de plus en plus ces technologies pour les opérations de recensement.

¹ Cette note technique fait partie d'une série de « Sélection de sujets relatifs aux recensements internationaux » traitant de questions d'intérêt pour la communauté statistique internationale. Bureau du recensement des États-Unis aide les pays à améliorer leurs systèmes statistiques nationaux en s'engageant dans le développement des capacités afin de renforcer les compétences statistiques de manière durable.

Suite de la page précédente

Unité d'habitation non conventionnelle - Pièce ou groupe de pièces (lieu de résidence) qui, en raison de leur construction : 1) n'étaient pas supposés être durables, 2) sont destinés à être mobiles, 3) sont conçus à des fins autres que l'habitation humaine, ou 4) sont dépourvus de services au point d'être considérés comme impropres à l'habitation mais sont utilisés à cette fin.

Unités d'habitation - Comprend toutes les unités de logement conventionnelles et non conventionnelles, c'est-à-dire tous les lieux de résidence séparés et indépendants occupés au moment du recensement.

Foyer - Groupe de personnes qui participent à un certain degré de prise de décision partagée et qui s'engagent dans une planification et une préparation communes pour leur approvisionnement en nourriture.

Secteur de dénombrement - Unité opérationnelle de collecte des données lors du recensement qui comprend le niveau le plus bas de la hiérarchie géographique des unités administratives et statistiques.

ANALYSE D'IMAGES SATELLITES

Les croquis cartographiques comprennent parfois des bâtiments, mais la numérisation de ceux-ci à partir de sources papier offre rarement un niveau acceptable de précision en matière de localisation. Pour une numérisation précise des bâtiments, le personnel des NSO peut utiliser l'imagerie satellite pour numériser les bâtiments sur un ordinateur de bureau, tandis que la technologie GPS portable peut être utilisée pour la vérification sur le terrain. La combinaison de ces deux technologies peut réduire les ressources nécessaires au listage des bâtiments. Ces techniques permettent de recenser rapidement les bâtiments et de remédier à l'absence d'un système d'adresses. Cependant, la distinction entre les logements et les bâtiments non résidentiels ainsi que l'enregistrement des unités de logement individuelles nécessitent toujours un travail sur le terrain.

Le personnel de l'NSO peut utiliser des images acquises par satellite ou par avion pour relever les bâtiments en utilisant des techniques de photo-interprétation et des logiciels GIS très répandus. Deux méthodes peuvent être utilisées : 1) tous les bâtiments peuvent être photographiés ou 2) le personnel peut interpréter visuellement l'imagerie pour éliminer les bâtiments non résidentiels. Par exemple, un objet très réfléchissant avec des angles marqués et linéaires peut ressembler à un bâtiment. Cependant, si un objet ne projette pas d'ombre, il s'agit probablement d'un sol sec et compact. Ce genre d'interprétation est sujet à des erreurs et dépend de l'expérience et de la formation du personnel chargé de la numérisation (voir figure 1). Par conséquent, tous les objets peuvent être numérisés pour être ensuite vérifiés sur le terrain et inclus dans les ensembles de données définitifs.

Figure 1.
Exemple d'interprétation de photos



Certains objets de cette scène pourraient être des bâtiments, mais beaucoup ne le sont pas. L'interprétation des photos repose sur l'identification visuelle et le bon jugement.

Source : U.S. Geological Survey.

L'analyse de l'imagerie peut également être automatisée à l'aide d'outils disponibles dans les logiciels GIS. La classification d'images, par exemple, analyse les caractéristiques des images satellites pour créer des classes reposant sur des caractéristiques spectrales ou spatiales communes. Cette méthode est très utile pour classer les bâtiments et identifier les secteurs nouvellement habités depuis le dernier recensement. Cependant, toute approche de classification automatisée nécessite une imagerie multibande. Chaque bande représente une partie du spectre électromagnétique, ce qui permet une analyse de classification. Les cartes de base diffusées en continu par un service Internet, tel que Google, Microsoft ou Esri, ne peuvent pas être classées car les images ne contiennent pas de données spectrales. Si une NSO se fonde sur des images diffusées en continu, la classification manuelle est la seule option disponible. Par ailleurs, si la classification des images peut faciliter la production de certains ensembles de données, comme les réseaux routiers et les secteurs nouvellement habités, elle ne remplace pas le travail sur le terrain pour la vérification des logements.

Les techniques de classification d'images peuvent être divisées en deux grandes catégories : par pixel et par objet. La classification par pixel fait référence à l'attribution de chaque pixel - la plus petite unité de données présente dans une image - à une catégorie reposant sur la façon dont le pixel reflète la lumière. La classification par objet fait référence à la désignation d'objets - éléments du paysage (par exemple, bâtiments, routes, champs, clôtures) - à partir de leur forme et de la façon dont ils reflètent la lumière. La classification par objet n'est pas habituellement présente dans les logiciels GIS ordinaires et doit être achetée ou développée séparément. Le personnel des NSO aurait aussi besoin d'une formation spécialisée pour utiliser le logiciel de classification par objet.

Figure 2.

Techniques de classification des images et compétences requises du personnel

	Couverture terrestre Techniques accessibles aux utilisateurs de GIS expérimentés. Des changements apportés au logiciel peuvent augmenter la nécessité de formation.	Activité / Utilisation du sol Le chef de projet doit avoir une formation spécialisée et de l'expérience dans la recherche en télédétection.
Fondé sur les pixels Possible en utilisant un logiciel GIS standard.	Détection des changements dans les nouveaux développements et les regroupements urbains.	Détection des changements dans les zones situées à l'intérieur et à proximité des développements existants; estimation des unités d'habitation.
Fondé sur l'objet Exige un logiciel spécialisé.	Détection des modifications des nouveaux bâtiments et des caractéristiques physiques (routes, clôtures, lignes électriques).	Possibilité de produire une carte par bâtiment avec une estimation du nombre de logements et d'unités d'habitation.

Source : U.S. Census Bureau.

Une autre distinction existe entre la classification de l'occupation du sol et celle de son utilisation. La classification des images pour déterminer l'occupation du sol est une forme éprouvée d'analyse géospatiale et est disponible dans la plupart des GIS et des logiciels d'analyse d'images. Les utilisateurs expérimentés en matière de GIS peuvent généralement être formés pour effectuer des analyses utiles de l'occupation du sol. Néanmoins, la classification de l'utilisation des sols est plus avancée, largement expérimentale, et nécessite des strates géospatiales supplémentaires - comme le zonage et les cartes cadastrales - qui peuvent ne pas encore être présentes dans un pays. La réalisation d'études sur l'utilisation des sols exige une formation spécialisée et une expérience que l'on ne trouve généralement pas dans les NSO (figure 2).

L'état actuel de la technologie de classification des images peut enrichir la création et la maintenance des données géospatiales. Toutefois, il est peu probable que ces logiciels remplacent, dans un avenir proche, la numérisation manuelle, qui demande beaucoup de temps lorsque les images sont utilisées à des fins de listage d'adresses.

LA COLLECTE DE DONNÉES GIS SUR LE TERRAIN À L'AIDE D'APPAREILS PORTATIFS

Les appareils portatifs sont utilisés pour les activités de listage géographique depuis les années 1990,² lorsque la technologie GPS portable est devenue très répandue. Ces appareils ont contribué à l'amélioration de la précision des données numériques des GIS.

Les appareils GPS existants spécialement conçus à cet effet peuvent collecter les attributs accompagnant les données géographiques, mais peuvent ne pas supporter la complexité de conception indispensable à une opération de listage géographique, sans subir des modifications importantes. Les appareils GPS portatifs sont également limités aux fonctions accessibles. Des éléments linéaires tels que les rivières et les routes présentent un défi, car ils doivent être facilement parcourus par le personnel de terrain. La collecte des limites à l'aide d'appareils GPS portatifs présente des difficultés supplémentaires lorsqu'il n'y a pas de marqueurs physiques clairs sur le terrain.

L'émergence des tablettes et des téléphones intelligents qui utilisent la technologie GPS permet de collecter simultanément des données géographiques aux attributs complexes et de créer ou d'ajuster des objets géographiques sur le terrain. L'utilisation d'appareils portatifs pour le listage d'adresses et la mise à jour des limites fait appel à deux technologies connexes mais distinctes : (1) une version du questionnaire de listage d'adresses en forme d'entretien en personne assisté par ordinateur (CAPI, selon l'acronyme anglais) et; (2) une interface utilisateur et un moteur de traitement pour la manipulation des données spatiales.

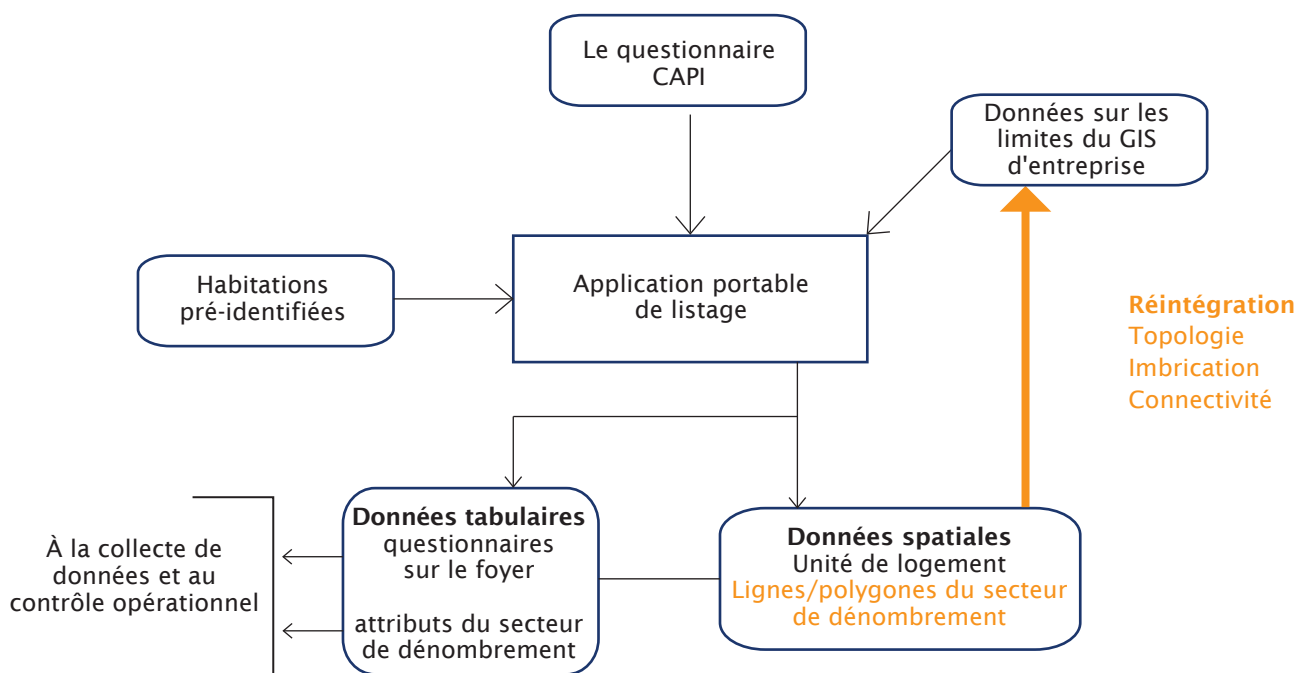
Lorsqu'elles sont gérées par des logiciels spécialisés dans la géographie, les applications personnalisées de listage géographique pour tablettes et téléphones intelligents peuvent accéder à toutes les primitives géographiques (points, lignes et polygones), et les manipuler à l'écran avec une carte de base (imagerie satellite ou carte de référence) pour guider l'utilisateur sur le terrain. Ces applications peuvent collecter des données pour diviser les ensembles de données sur les bâtiments en logements individuels, saisir le nombre d'unités d'habitation ainsi que des données sur les ménages.

Les données ponctuelles sont relativement faciles à collecter et à manipuler sur des appareils portatifs. Par contre, la manipulation des limites sur le terrain ajoute un niveau substantiel de complexité à la fois au programme de listage et au déroulement des opérations pour réintégrer les données recueillies sur le terrain dans la hiérarchie géographique. La réintégration de données linéaires ou polygonales manipulées sur le terrain nécessite un flux de travail avancé garantissant que la topologie de la hiérarchie des limites intégrées est préservée. Par ailleurs, si plusieurs utilisateurs modifient ces données simultanément, il peut être nécessaire d'acquiescer une solution GIS d'entreprise (voir la section suivante) pour gérer efficacement le flux de données. La figure 3 montre les éléments en orange qui sont requis lorsqu'une application de listage comprend une mise à jour des statistiques sur les limites. Une solution plus simple à envisager pour les NSO consiste à utiliser des images à haute résolution actualisées pour la plupart des mises à jour des limites des secteurs de dénombrement.

Des applications spécialisées sont nécessaires pour qu'un appareil portable puisse saisir simultanément des données spatiales et des données démographiques.

² Le premier récepteur GPS commercialisé était le Magellan Nav 1000, sorti en mai 1989.

Figure 3.
Flux de données entre les technologies d'opération de listage



Source : U.S. Census Bureau.

D'autres considérations importantes lors de la sélection d'appareils portatifs pour les opérations d'enquête et d'arpentage sont la précision de localisation de l'appareil et son système d'exploitation. Les tablettes et les téléphones intelligents sont principalement conçus comme des appareils de communication à usage quotidien et leur précision de localisation peut être limitée. Les NSO doivent consulter les distributeurs de technologie pour documenter la précision de leurs appareils et effectuer des tests sur le terrain dans différents environnements (tels que les villes, les banlieues et les zones rurales). Les NSO doivent également évaluer leurs besoins par rapport aux logiciels disponibles pour les différents systèmes d'exploitation des appareils portatifs, tels que Android, iOS et Windows.

GIS D'ENTREPRISE ET GESTION DES DONNÉES SPATIALES

La création et la maintenance d'un GIS d'entreprise pour l'opération de listage géographique sont encouragées dès le début de la planification du programme de recensement. Le terme « entreprise » désigne un bureau ou une organisation, et un GIS d'entreprise garantit que les données circulent facilement entre les équipes et les individus sans compromettre leur qualité ou sécurité.

Une base de données spatiales d'entreprise (ou base de données géographiques) peut stocker et manipuler des données spatiales et est généralement administrée par un système de gestion de base de données relationnelle (RDBMS, selon l'acronyme anglais). Cette base de données peut être accessible au sein d'un groupe de travail spécifique (tel que le personnel du GIS) ou être disponible dans l'ensemble

du NSO, et éventuellement par le biais d'un portail Internet sécurisé, en fonction des exigences de l'opération de listage.

Les NSO devront choisir entre un logiciel commercial propriétaire et un logiciel libre et ouvert (FOSS, selon l'acronyme anglais) lors de l'implémentation de leur cadre GIS d'entreprise pour l'opération de listage géographique. Comme le montre la figure 4, chaque option présente des points forts et des points faibles. Les NSO doivent aborder ces considérations relatives aux logiciels avec leur personnel (si le développement est effectué à l'interne) ou avec le fournisseur choisi (en cas de sous-traitance) dès le début de la planification du recensement. Quoi qu'il en soit, qu'il s'agisse de logiciels libres ou propriétaires, les NSO doivent s'assurer que le GIS d'entreprise peut être administré tout au long du cycle de vie du recensement ou de l'enquête et ultérieurement à ceux-ci.

Des logiciels libres et propriétaires peuvent être utilisés pour les différents composants du GIS d'entreprise. Beaucoup de ces composants sont interopérables, ce qui signifie qu'un NSO pourrait utiliser une solution libre pour un composant mais une solution propriétaire pour un autre, en fonction des exigences du déroulement des opérations. La figure 5 présente des exemples de logiciels GIS propriétaires et libres bien connus.

Les solutions présentées ci-dessus sont généralement hébergées par les NSO avec des serveurs sur place ou par le biais d'un service en nuage et nécessitent une gestion directe par l'NSO ou un fournisseur sous contrat. Cependant, de nouvelles solutions

Le GIS d'entreprise garantit que les données circulent facilement entre les équipes et les individus sans compromettre la qualité ou la sécurité des données.

Figure 4.

Distinctions essentielles entre les logiciels libres et à code source ouvert (FOSS) et les logiciels propriétaires

	Logiciels libres et à code source ouvert	Logiciels propriétaires
Droits de licence	Aucun.	Peut avoir un coût initial ou des tarifs d'abonnement annuels.
Code source	Accès complet, offrant de plus grandes possibilités de personnalisation aux développeurs de logiciels. Les logiciels libres ne sont pas tous à source ouverte.	Non ouvert au public et protégé par des droits d'auteur.
Facilité d'utilisation	Peut dépendre fortement d'une interface de ligne de commande et des connaissances de programmation de l'utilisateur, ce qui nécessite une plus grande expertise.	En général, une interface graphique conviviale, nécessitant moins d'expertise.
Soutien technique	Limité à une communauté d'utilisateurs en ligne; un support dédié peut être acheté auprès d'un vendeur privé.	Généralement disponible directement auprès de l'éditeur du logiciel.

Source : U.S. Census Bureau.

alternatives sont présentées dans la figure 5 sous le nom de « GIS en tant que service ». Ces solutions sont un hybride de base de données, de serveur et de carte Web et offrent divers degrés de fonctionnalité. Une solution GIS en tant que service peut potentiellement réduire le capital humain et physique requis pour héberger les données géospatiales et réduire les coûts opérationnels. Cependant, le GIS en tant que service offre moins de contrôle et de personnalisation qu'une solution de serveur sur place et peut être préférable pour la phase de diffusion du cycle de vie de l'enquête ou de sondage plutôt que pour la phase opérationnelle.

ÉVALUER ET DÉVELOPPER LES CAPACITÉS DU PERSONNEL DU GIS

Les technologies géospatiales émergentes dont il est question dans ce dossier exigent une reconsidération des compétences techniques détenues par le personnel du GIS dans une NSO.

Traditionnellement, les géographes et les cartographes avaient des compétences qui se chevauchaient : les géographes effectuaient des tâches telles que la conception de classifications pour les secteurs géographiques et l'analyse des tendances démographiques spatiales, tandis que les cartographes produisaient des cartes utilisées sur le terrain et dans les publications. L'utilisation accrue des GIS sur ordinateur

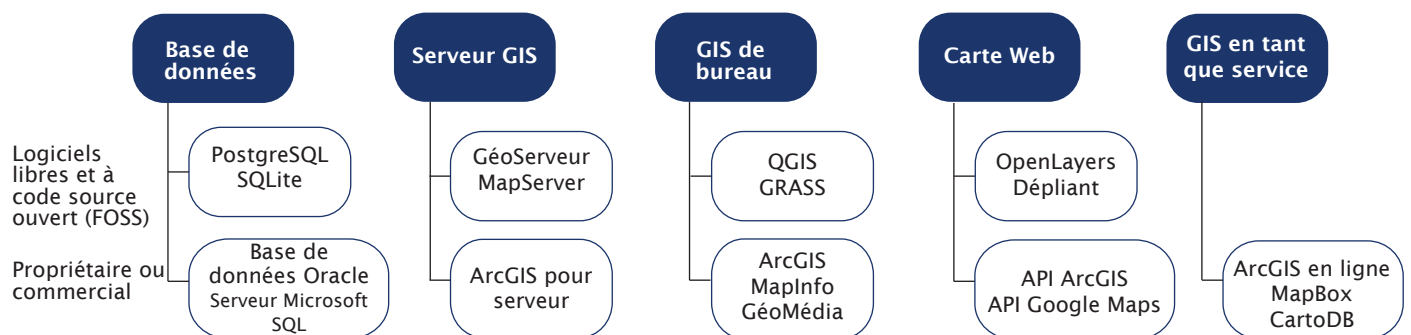
a entraîné une convergence de ces professions, car le temps et les efforts nécessaires à la production de cartes ont diminué.

Cependant, les compétences requises pour implémenter la technologie géospatiale moderne ont changé (figure 6). De plus en plus, le personnel doit être capable d'automatiser les opérations GIS à l'aide de langages de script, de créer des bases de données pour stocker des données géospatiales ou de créer des cartes Web interactives. Embaucher une seule personne possédant l'ensemble des compétences nécessaires pour profiter de ces nouvelles technologies est difficile, mais il n'est pas nécessaire que la totalité du personnel GIS de l'NSO devienne expert dans toutes ces compétences. Il est donc nécessaire d'accorder une attention particulière à la répartition des responsabilités parmi le personnel GIS et au type d'expertise nécessaire pour atteindre un objectif particulier. Les gestionnaires de GIS qui réussissent développeront des secteurs aux compétences variées tout en encourageant la compréhension, la coopération et la collaboration entre ces secteurs. Les directeurs devraient également encourager leur personnel GIS à résoudre

Les gestionnaires de GIS qui réussissent développeront des secteurs aux compétences variées tout en encourageant la compréhension, la coopération et la collaboration entre ces secteurs.

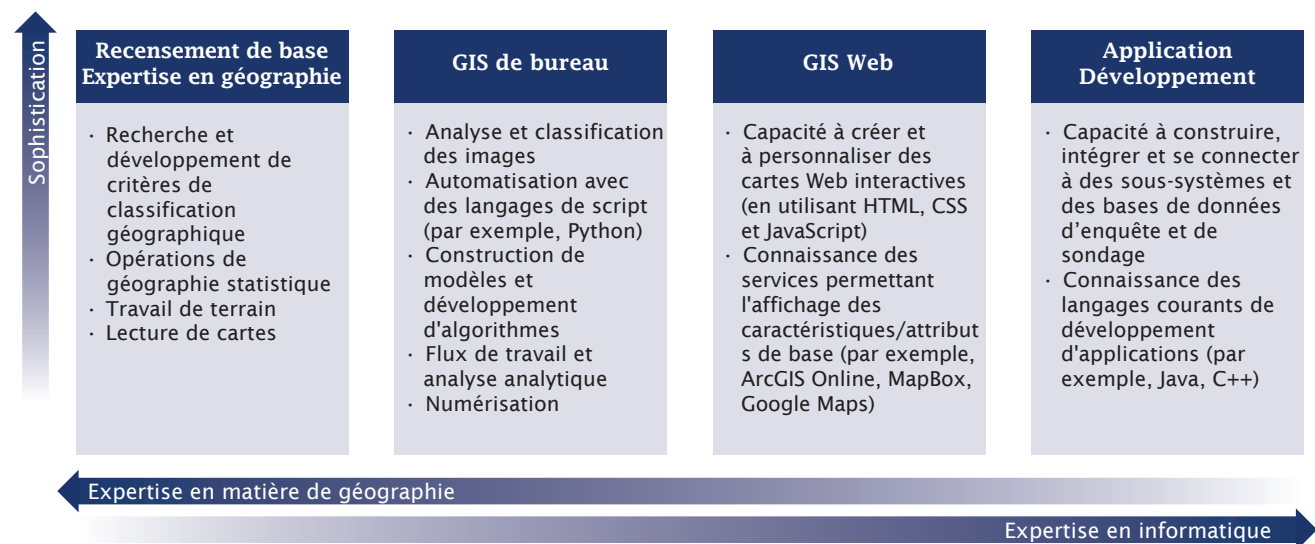
Figure 5.

Exemples de composants du programme GIS d'entreprise



Source : U.S. Census Bureau.

Figure 6.
Domaines d'expertise nécessaires à la mise en œuvre réussie d'une nouvelle technologie GIS



Source : U.S. Census Bureau.

les problèmes de manière indépendante et à être autodidactes, étant donné l'évolution rapide et la nature hautement technique des GIS.

SOUS-TRAITANCE

Après l'évaluation des capacités du personnel GIS de l'NSO, il peut se révéler impossible de développer les compétences internes nécessaires pour construire, intégrer et déployer un système de listage géographique complet. Dans ce cas, une NSO peut confier le développement d'un tel système à un sous-traitant privé. L'objectif principal de la sous-traitance devrait être d'obtenir un accès temporaire à des compétences qui ne sont pas disponibles au sein de l'NSO ou d'augmenter le nombre d'employés disponibles avec un certain éventail de compétences. Tenez compte de ces recommandations en cas de sous-traitance :

1. Ne cédez pas le contrôle total de la conception et du développement du système au sous-traitant.

La responsabilité du succès ou de l'échec éventuel de l'opération de listage doit revenir à l'NSO, et non au sous-traitant.

La responsabilité du succès ou de l'échec éventuel de l'opération de listage doit revenir à l'NSO, et non au sous-traitant. Ainsi, l'NSO doit comprendre la solution technologique adoptée et ses risques.

2. Utilisez les connaissances institutionnelles du personnel GIS qui a de l'expérience dans les opérations de mise à jour des statistiques de limites et dans le listage d'adresses.
3. Documentez le flux de travail pour la mise à jour des cartes de dénombrement avant de recourir aux nouvelles technologies géospatiales, et utiliser ces flux de travail pour concevoir le système de listage d'adresses avec le sous-traitant.

4. Ne laissez pas la technologie déterminer la conception du système de listage.

Les NSO doivent tenir compte de la maintenance future, de l'extensibilité et des compétences du personnel lorsqu'elles choisissent un sous-traitant. Les sous-traitants se spécialisent souvent dans des systèmes propriétaires ou à code source ouvert.

CONSIDÉRATIONS IMPORTANTES SUPPLÉMENTAIRES

L'adoption de nouvelles technologies n'est pas sans risque. Les membres du personnel en place peuvent ne pas accueillir favorablement les changements dans leurs flux de travail et résister à de nouvelles technologies. De plus, les nouvelles technologies nécessitent des investissements dans la sécurité des données et la formation du personnel pour éviter toute perte de données confidentielles.

Il convient également de tester les nouvelles technologies de manière approfondie avant de les déployer. Ces tests doivent être intégrés dans le plan du projet et il faut prévoir suffisamment de temps pour apporter des améliorations avant le déploiement. Si les tests montrent qu'une solution logicielle ne sera pas prête à temps pour l'opération, un plan alternatif doit être disponible pour garantir le bon déroulement de l'opération.

Le personnel GIS, les responsables GIS et la direction jouent tous un rôle essentiel et partagent la responsabilité du succès du déploiement des nouvelles technologies dans les NSO.

RÉFÉRENCES

Jensen, John R., *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2006.

_____, *Introductory Digital Image Processing*, Third Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2005.

Longley, Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, and David W. Rhind, *Geographic Information Systems and Science*, Third Edition, Wiley, Hoboken, NJ, 2011.

United Nations Statistics Division, *Principles and Recommendations for Population and Housing Censuses*, Revision 3, United Nations Publications, New York, 2015.

_____, *Handbook on Geospatial Infrastructure in Support of Census Activities*, United Nations Publications, New York, 2009.