

# Démythification des systèmes de référence

## *Une chronique des systèmes de référence spatiale au Canada*

**Don Junkins  
Gordon Garrard**

**Division des levés géodésiques  
Géomatique Canada  
615, rue Booth  
Ottawa (Ontario)  
Canada  
K1A 0E9**

information@geod.nrcan.gc.ca  
<http://www.geod.nrcan.gc.ca>

### ***Résumé***

Les géodésiens aiment à se percevoir comme des scientifiques ou des mathématiciens, mais sont souvent perçus par les autres comme d'importuns trouble-fête lorsqu'ils produisent de nouvelles valeurs pour les coordonnées des canevas. Combien existe-t-il de systèmes de référence planimétriques déjà? Le Système géodésique nord-américain de 1927 (NAD27) et ses dérivés : MAY76 et Compensation Géodésique du Québec 1977 (CGQ77). Le système de référence terrestre moyen de 1977 (ATS77) (Average Terrestrial System 1977), le Système de référence nord-américain de 1983 (NAD83), le Système Géodésique Mondial de 1984 (SGM84) et les nombreuses variantes du Repère de référence terrestre international (ITRF). Il y a des raisons pour ces changements, même si les cartographes, les hydrographes, les arpenteurs-géomètres et les utilisateurs de SIG aimeraient disposer d'un système de référence stable dans lequel les valeurs des coordonnées ne changeraient plus. Les géodésiens ont pour eux une bonne et, malheureusement, une mauvaise nouvelles. La mauvaise nouvelle est qu'il y aura encore à l'avenir des compensations et des modifications des coordonnées, mais la bonne nouvelle est qu'en valeur absolue l'importance des changements diminue et que les utilisateurs pourront décider si les changements sont importants ou non. Dans cette présentation, on expliquera brièvement les systèmes de référence planimétriques reconnus au Canada et les raisons pour lesquelles la Division des levés géodésiques

(DLG) de Géomatique Canada à Ressources naturelles Canada (RNC) et ses partenaires provinciaux et américains continueront à les améliorer.

## ***Introduction***

L'arrivée des technologies basées sur le GPS et la prolifération d'équipement disponible à faible coût rendent plus facile que jamais auparavant la détermination de la position à la surface de la Terre. Pour être utiles, les positions déterminées doivent être rattachées par un quelconque réseau de liens à un système de référence défini. En raison de l'évolution technologique au cours des dernières décennies, plusieurs définitions reconnues sont actuellement utilisées. Cette communication fournira un bref aperçu des définitions courantes établies par la Division des levés géodésiques et ses partenaires au Canada ainsi que de la manière dont elles sont dérivées et reliées les unes aux autres. Lorsqu'il comprend comment les coordonnées sont reliées aux systèmes de référence, l'utilisateur peut prendre de meilleures décisions quant aux possibilités qui s'offrent à lui.

Cette communication a été rédigée à l'intention de ceux et celles qui s'occupent de positionnement et de géocodage pour les SIG, la cartographie et la navigation, c'est-à-dire pour ceux qui ne sont pas des experts en géodésie, mais qui doivent comprendre en partie le jargon technique utilisé par les organismes responsables de la géodésie. Elle vise à présenter une vue d'ensemble des principes et des renseignements généraux et n'est pas un document définitif pour les géodésiens. Des sujets connexes plus complexes comme les systèmes de référence altimétriques, les trièdres de référence d'inertie, les champs gravitationnels et les déplacements crustaux ne seront que brièvement mentionnés.

## ***Principes et terminologie***

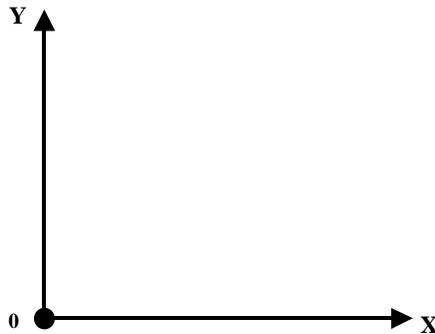
Nous croyons tous savoir ce que sont les surfaces de référence et les systèmes de référence, mais pourquoi en existe-t-il un si grand nombre au Canada? D'où viennent-ils tous? Comment sont-ils reliés les uns aux autres? Pourquoi nous en faudrait-il un autre? Pour répondre à ces questions, il faut d'abord examiner certains principes et établir une terminologie qui permettront d'en discuter de manière intelligente.

Les notions de surfaces de référence, de systèmes de référence et de coordonnées sont interreliées et nous utilisons souvent ces expressions l'une pour l'autre finissant par les confondre. Pour aider à clarifier le sens de ces expressions, examinons les dans le contexte des processus d'établissement des coordonnées de points au sol. Nous pourrons ensuite faire les liens qui s'imposent entre les divers jeux de coordonnées et les processus pour dégager les relations entre ces derniers. Les explications des termes et des expressions que nous proposerons ici pourront ne pas être rigoureuses ou complètes, mais elles serviront les fins de la présente discussion.

Pour toutes les coordonnées, on doit d'abord disposer d'un **système de coordonnées**, qui consiste en un ensemble de règles précisant de quelle manière les coordonnées doivent

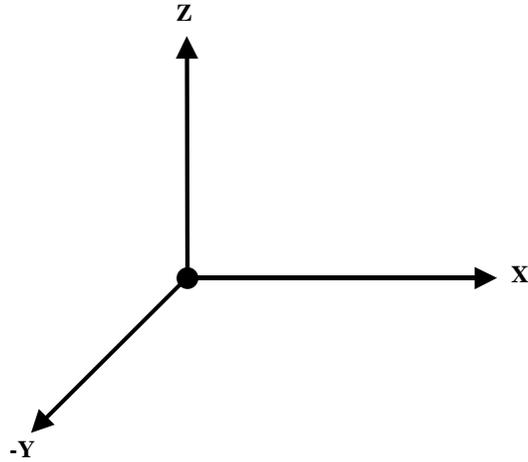
être attribuées à des points. L'exemple le plus familier est celui du système de coordonnées cartésiennes rectangulaires bidimensionnelles utilisé pour porter des points sur une feuille de papier.

Après avoir précisé la position de l'origine et l'orientation des axes, notre système de coordonnées est amélioré et devient un **système de coordonnées de référence**. Sur notre feuille de papier, cela consiste à tracer deux axes à angle droit définissant ainsi l'origine du système au point d'intersection et l'orientation des axes.



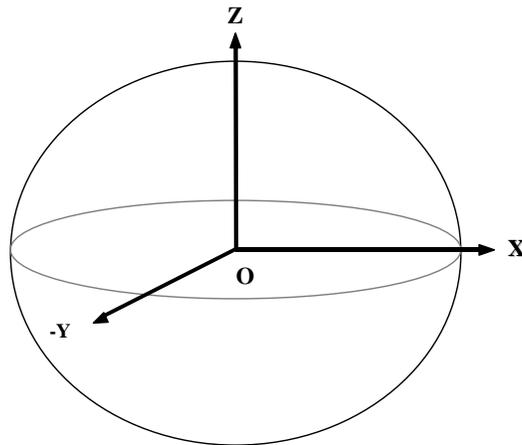
**Figure 1** Système de coordonnées rectangulaires 2D

Un tel système peut bien fonctionner pour l'exécution de levés locaux comme les travaux préliminaires de génie civil. Cependant, lorsque les arpenteurs doivent étendre la portée de leurs travaux, la courbure de la surface de la Terre devient un facteur important dont il faut tenir compte. Puisque la Terre est un solide tridimensionnel, on peut facilement attribuer des coordonnées dans un système de coordonnées cartésiennes rectangulaires tridimensionnelles à tout point situé sur la surface ou au-dessus ou en dessous de celle-ci. Lorsque le centre de masse de la Terre est retenu comme origine d'un tel système (dont on dit alors qu'il est **géocentrique**) et que ses axes sont orientés de manière à ce que l'axe des Z soit parallèle à l'axe de rotation de la Terre et que la partie positive de l'axe des X coupe le méridien de Greenwich, le système devient le **Système de référence terrestre classique (SRTC)**. Ce système est aussi souvent appelé le Système terrestre classique (STC). La spécification complète d'un **système de référence spatiale** comprend également des éléments comme des constantes physiques, des conventions et d'autres particularités.



**Figure 2** Système terrestre classique (STC) 3D

Si on ajoute ensuite au STC un ellipsoïde de révolution de référence afin d'obtenir une approximation de la surface de la Terre, on obtient le modèle classique d'un système de référence géodésique. L'ellipsoïde est en fait une surface du second degré (bidimensionnelle) dans un espace tridimensionnel. Ainsi, la notion classique de système de référence géodésique ne convient que pour le positionnement suivant l'horizontale seulement. La composante verticale a été historiquement rattachée au niveau moyen de la mer et ne sera pas abordée de manière détaillée dans le cadre de la présente discussion.



**Figure 3** Système de référence géodésique planimétrique

Jusqu'ici nous n'avons abordé les systèmes que sur le plan conceptuel. Pour en faire des outils concrets, il faut d'une manière quelconque attribuer des valeurs numériques aux coordonnées de points réels, ce qui est habituellement fait pour quelques points où sont effectuées des observations très complètes et exactes. Puisque les procédures spécialisées

nécessaires sont souvent très coûteuses à établir et à gérer, elles ne sont appliquées que pour un très petit nombre de points, qui deviennent les **points de référence** ou **points de contrôle** auxquels peuvent être rattachés et référés tous les autres levés. La détermination des coordonnées de ces points conformément aux principes et aux spécifications du STC et l'adoption de valeurs pour des installations d'étalonnage constituent les deux dernières conditions à remplir pour obtenir un **cadre de référence spatiale**.

La densification et l'extension de ce cadre de référence au moyen de réseaux géodésiques intégrés de points matérialisés par des repères permettent d'atteindre l'objectif ultime qui est la concrétisation du système de référence spatiale. C'est sous cette forme qu'il est utilisable pour toutes les activités de géocodage depuis la cartographie et la navigation jusqu'au développement de SIG. La raison d'être du cadre de référence spatiale et des réseaux géodésiques est de permettre l'intégration de toute une gamme de produits en un seul système facilitant de manière fiable la compatibilité des données.

Mais comme nous l'avons indiqué d'emblée, il semble exister au Canada plusieurs systèmes ou cadres de référence spatiale créant une confusion telle que la notion de norme uniforme est diluée pour ne laisser qu'un grand désordre empêchant une communication ou un échange efficace des données. Prenons le temps d'examiner ces systèmes pour en reconnaître certaines configurations de base et certains points communs afin d'élucider en partie le mystère.

### ***Le NAD83 – le système utilisé de 1986 à 1998***

Commençons avec le **NAD83**, qui est le système de référence spatiale actuellement adopté dans la plupart des juridictions et pour la plupart des applications au Canada, comme c'est d'ailleurs également le cas aux États-Unis. Lorsque le cadre de référence spatiale a été établi en 1986, on en a fait le cadre le plus géocentrique que permettaient les moyens disponibles à l'époque. Pour la détermination de ce cadre de référence, on s'est basé sur le réseau mondial de poursuite de satellites Doppler associé à la RILB et aux réseaux Doppler précis en Amérique du Nord ainsi que sur les définitions les plus récentes fournies par le Bureau international de l'heure (BIH) pour l'axe des pôles et l'origine des longitudes. L'adoption de l'ellipsoïde GRS80 comme surface planimétrique de référence convenant le mieux à l'échelle planétaire complétait la spécification du **système de référence NAD83**.

Le cadre de référence du NAD83 a été à l'origine produit en exécutant une nouvelle compensation majeure de tous les réseaux en Amérique du Nord. Dans le cadre d'une première phase, le Canada et les États-Unis ont collaboré en 1986 pour l'exécution d'une compensation simultanée pour laquelle les contraintes retenues étaient les éléments décrits au paragraphe précédent. Bien que les États-Unis aient intégré à cette compensation tous leurs réseaux, depuis les réseaux géodésiques les plus précis jusqu'aux cheminements locaux et municipaux, pour cette première étape le Canada ne tenait compte que du réseau géodésique de premier ordre. Les réseaux de moindre exactitude ont été intégrés par les organismes membres du Comité canadien du système de référence

géodésique (CCSRG) dans le cadre de compensations ultérieures exécutées pendant les années suivantes et qui ont permis de densifier et de mettre à jour le réseau du NAD83. Bien que ces compensations aient ajouté de nouveaux points et modifié les coordonnées de certains points ayant déjà fait l'objet d'une compensation, on référait encore à l'ensemble comme étant le Système de référence nord-américain de 1983 (NAD83). La spécification du système de référence et le cadre de référence n'avaient pas été modifiées.

**Tableau 1 Compensations d'intégration au NAD83**

Nom	Année	Données incluses
Juillet 86	1986	Canevas (Can.), réseaux américains
SIHBA	1989-1990	Intégration secondaire, Est, Ouest et Nord
NMIP93	1993	Densification secondaire, réseaux de l'Ouest et du Nord

Semblablement, lorsque de nouveaux levés améliorant le réseau existant sont exécutés, des modifications des coordonnées des points du réseau découlent du cours normal des travaux. Dans les cas les plus simples, les nouveaux levés font l'objet de compensations utilisant comme contraintes les points existants auxquels ils sont rattachés et le réseau est étendu par l'addition des nouveaux points. Dans les cas où les rattachements au réseau existant sont plus complexes ou lorsque le nouveau levé est d'une plus grande exactitude ou permet de découvrir des erreurs systématiques ou des fautes dans le réseau existant, la compensation d'intégration modifiera les coordonnées existantes en plus de permettre la mise à jour du réseau. Le système ou le cadre de référence reste toutefois le même et le réseau évolue. Ce processus est appelé **gestion du réseau** et c'est à lui qu'il faut attribuer la présence de diverses dates ou de divers identificateurs de versions lors de l'extraction de données toutes néanmoins basées sur le même système de référence.

Quel que soit le cadre de référence utilisé, il continuera à croître et à changer. Habituellement les modifications sont d'un ordre de grandeur comparable aux exactitudes inhérentes pour les coordonnées existantes. Même lorsque les changements sont importants par rapport à la précision supposée ou aux exactitudes internes, ce sont la fiabilité ou les exactitudes externes qui interviennent lorsque sont mises en évidence des erreurs systématiques ou des fautes jusque là non détectées. Les nouveaux levés peuvent fournir cette information par l'amélioration de la redondance géométrique du réseau ou en raison de l'utilisation d'une technologie plus évoluée. Dans ces contextes, il est

acceptable de mettre à jour les coordonnées d'après de nouvelles connaissances pour en retirer l'avantage d'une plus grande exactitude.

Nous constatons ainsi que même le nouveau réseau du NAD83 a subi certaines modifications résultant de l'intégration des réseaux secondaires et qu'il subira encore bientôt d'autres changements. Avant d'aborder les améliorations auxquelles il faut s'attendre pour le NAD83, examinons d'abord le familier système de référence NAD27 auquel sont rattachées une si importante proportion des données qui nous ont été léguées.

### ***Le NAD27 – le système utilisé avant 1986***

Un regard sur le passé et le système de référence NAD27, qui a été abondamment utilisé, nous permet de constater qu'il fut établi à l'aide d'une technologie beaucoup plus ancienne, mais qu'il a également connu un grand nombre de changements au fil de son histoire.

Le premier système de référence NAD27 fut établi longtemps avant que nous soyons en mesure de localiser le centre de masse de la Terre par la poursuite de satellites en orbite autour de la planète. Après le choix de l'ellipsoïde de Clarke de 1866 comme surface ajustée au mieux pour l'Amérique du Nord, des observations astronomiques furent utilisées pour le placer et l'orienter en un point au centre des États-Unis. C'était à l'époque la méthode classique d'établissement d'un **système de référence local non géocentrique pour la planimétrie** ou d'un cadre de référence. Des réseaux de triangulation rayonnaient de ce point, appelé Meade's Ranch, pour offrir l'accès au cadre de référence du NAD27 à l'échelle de l'Amérique du Nord.

Lorsque comparées aux normes contemporaines toutefois, les mesures exécutées par triangulation avec le théodolite, dont l'échelle était fournie d'après des lignes de bases mesurées à la chaîne d'arpenteur, s'avèrent rudimentaires et sujettes à l'accumulation d'erreurs systématiques sur de longues distances. Cela devint tout d'abord apparent au moment de la fermeture de nouvelles chaînes de triangulation entre des chaînes existantes alors que le réseau était étendu et renforcé. Les compensations du réseau exigeaient de laborieux calculs à la main et les nouveaux réseaux devaient absorber toutes les erreurs de fermetures parce que de nouvelles compensations concurrentes de parties des réseaux existants ne constituaient pas un choix viable. Les nouvelles technologies rendent ces problèmes encore plus manifestes et sérieux. Tout d'abord, la mesure électronique des distances (MED) met en lumière des insuffisances d'échelle au niveau local, puis le positionnement par satellites Doppler révèle de très importantes déformations sur de longues distances.

Des progrès en technologies du calcul électronique s'accomplissent aussi parallèlement à l'évolution des technologies de la mesure. Les logiciels de compensation par les moindres carrés permettent pour la première fois d'exécuter de nouvelles compensations de grandes parties du réseau existant afin d'atténuer de sérieux problèmes. De nouvelles compensations majeures furent exécutées vers le milieu des années 70 dans le sud de

l'Ontario et dans le sud du Québec. Le système québécois fut par la suite étendu au reste de la province dans le cadre de l'effort auquel on donna le nom de Compensation Géodésique du Québec de 1977 (CGQ77). Dans les deux cas, les coordonnées résultantes remplaçaient les valeurs antérieurement publiées et devenaient les valeurs officielles adoptées dans ces régions.

Dans le cadre d'un projet spécial visant à mettre à l'épreuve un logiciel nouvellement élaboré pour le traitement de grandes compensations simultanées, l'ensemble du réseau canadien de triangulation de premier ordre a fait l'objet d'une nouvelle compensation en 1976. Bien qu'il n'ait jamais été prévu de remplacer les valeurs existantes par les valeurs obtenues dans le cadre de cette compensation MAY76, elle s'est imposée comme canevas dans les programmes majeurs de cartographie au niveau fédéral pour le Système national de référence cartographique (SNRC) ainsi que pour la cartographie de base de l'Ontario (CBO).

**Tableau 2 Variantes majeures du NAD27**

<b>Nom</b>	<b>Données incluses</b>
<p>NAD27</p> <p>Premier établissement avant le milieu des années 1970</p>	<p>Canevas national de premier ordre accumulé au fil de nombreuses années</p> <p>Réseaux secondaires intégrés par compensations locales tels qu'établis au fil de nombreuses années</p>
<p>Sud de l'Ontario 1975</p>	<p>Canevas de premier ordre et réseaux secondaires en Ontario</p>
<p>MAY76</p>	<p>Canevas national de premier ordre</p>
<p>CGQ77</p>	<p>Canevas de premier ordre et réseaux secondaires au Québec</p>

Ce ne sont que les principales variantes du cadre de référence NAD27. Un grand nombre d'autres variantes ont été utilisées sur des bases régionales ou locales par différentes autorités responsables comme des organismes gouvernementaux fédéraux, provinciaux et municipaux. Comme dans le cas des principales variantes répertoriées ci-haut, elles ont

toutes fait l'objet de compensations utilisant comme contraintes les canevas adjacents et restent ainsi basées sur le système de référence NAD27, respectant le cadre de référence établi.

La seule exception digne de mention a été l'établissement du Système de référence terrestre moyen de 1977 (ATS77) dans les provinces Maritimes. Dans le cadre de ce projet de gestion, celles-ci ont choisi d'exécuter une nouvelle compensation de leurs réseaux suivant un cadre de référence géocentrique qui constituait une spécification préliminaire pour le NAD83 à venir.

### *Le NAD83 – le système utilisé depuis 1998 et pour l'avenir*

Un regard sur l'avenir du NAD83 nous permet de constater que les progrès accomplis permettent des améliorations importantes de l'exactitude des canevas géodésiques tout en conservant les mêmes système et cadre de référence.

Au moment de la conception du cadre de référence du NAD83, tous les efforts possibles ont été tentés pour le rendre compatible avec le cadre de référence du SGM84 utilisé pour le Système de positionnement global (GPS) et qu'utiliseront vraisemblablement les méthodes d'arpentage de l'avenir. L'origine, l'orientation et l'ellipsoïde GRS80 sont tous issus des mêmes sources que celles utilisées par la Defense Mapping Agency (DMA) des É.-U. (maintenant devenue la National Imagery and Mapping Agency, ou NIMA) pour le SGM84. Les deux cadres de référence étaient à cette époque essentiellement équivalents, mais le SGM84 n'a pas été développé en un réseau tangible avec coordonnées publiées pour des points matérialisés par des repères. Le SGM84 est plutôt le cadre de référence pour le réseau de stations de poursuite et les orbites diffusées des satellites du GPS.

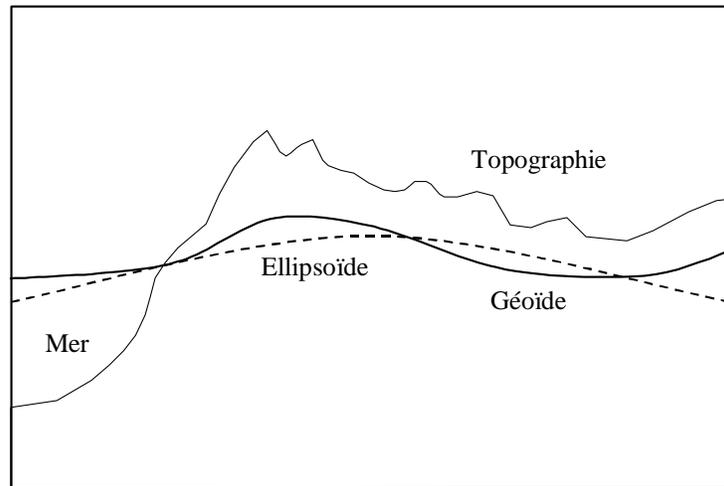
Depuis ce temps, de meilleures solutions pour le cadre de référence géocentrique ont été calculées. Le Service international de la rotation terrestre (IERS) gère un STC appelé le **Système de référence terrestre international (ITRS)** et surveille les paramètres d'orientation de la Terre (POT) à l'intention de la communauté scientifique d'après les résultats fournis par un réseau mondial de stations d'observation. Ce service utilise le GPS et d'autres méthodes spatiales d'observation comme l'interférométrie à longue base (RILB), la sélénotéléométrie laser (LLR), la satellitotéléométrie laser (SLR) ainsi que la détermination Doppler d'orbite et la radiolocalisation intégrées par satellite (DORIS). Des analyses basées sur cet ensemble de méthodes spatiales de mesure permettent à l'IERS de mieux déterminer le centre de masse et l'orientation de la Terre ainsi que les coordonnées des stations d'observation.

Le **Repère de référence terrestre international (ITRF)** consiste en fait en un ensemble de matérialisations de l'ITRS revues et publiées à intervalles réguliers. Les positions des stations d'observation sont maintenant jugées exactes au centimètre près. En plus de permettre l'établissement des coordonnées de ces points, chaque cadre de référence comprend des composantes vitesse pour la modélisation des déplacements des plaques tectoniques de l'écorce terrestre, qui permet de tenir compte des changements de position

des points d'observation d'une époque à une autre. Le cadre de référence du SGM84 a été en quelques occasions mis à jour pour tirer avantage de ces progrès et est maintenant conforme à l'une des spécifications récentes de l'ITRF.

À titre de participant actif à l'IERS, le Canada tire avantage de l'acquisition d'une connaissance approfondie de la relation entre le cadre de référence du NAD83 et l'ITRF aux quatre emplacements canadiens de RILB contribuant à la matérialisation de l'ITRF. Ces emplacements sont également les points de référence critiques de notre cadre de référence du NAD83 et leur position a été maintenue fixe tout au long des phases d'intégration de réseaux décrites plus haut. En conséquence, nous avons directement la possibilité de nous placer entre le cadre de référence du NAD83 et n'importe laquelle des matérialisations de l'ITRF. En fait, le cadre de référence du NAD83 est maintenant effectivement défini en termes d'une transformation homothétique la mieux ajustée de l'ITRF96. Il peut ainsi être géré avec grande exactitude et confiance par l'entremise de cette relation et les utilisateurs ayant des exigences particulières peuvent choisir le système qui convient le mieux à leurs fins, d'autant plus que le Canada se situe entièrement sur la plaque nord-américaine de l'écorce terrestre et que le cadre de référence du NAD83 n'est ainsi pas déformé de manière importante par une composante horizontale de mouvement tectonique bien qu'il y ait un important changement suivant la verticale attribuable au relèvement isostatique postglaciaire.

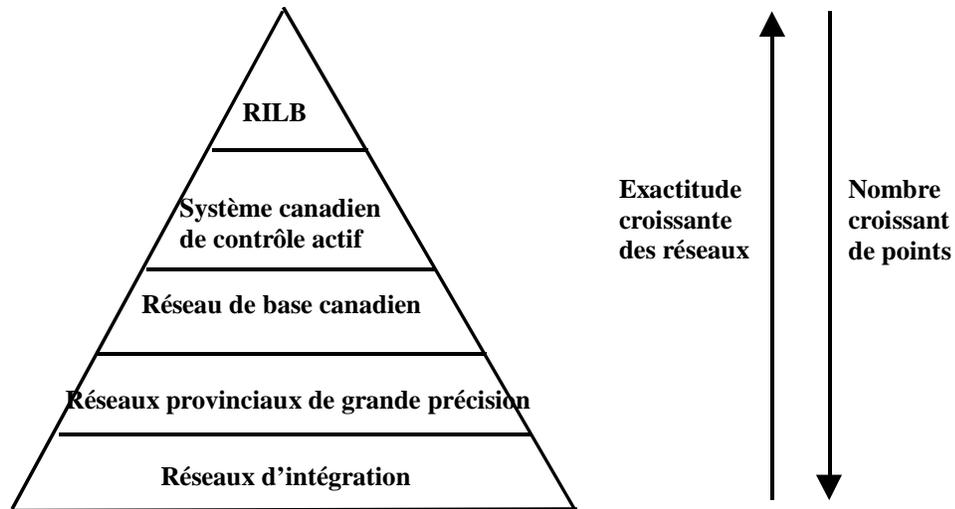
Les systèmes de référence NAD27 et NAD83 ainsi que ceux que nous avons abordés auparavant sont tous des systèmes planimétriques bidimensionnels. Ils fournissent des coordonnées en latitude et en longitude sur l'ellipsoïde de référence. Il en est ainsi principalement parce que la plupart des points du réseau ont été établis par les méthodes classiques de la triangulation, de la trilatération et du cheminement. Toute l'information reliée à la hauteur devait être dérivée par nivellement ou par la mesure d'angles verticaux. Ces méthodes fournissent des cotes orthométriques par rapport à une surface de référence définie d'après le niveau moyen de la mer. Pour rattacher la surface du niveau moyen de la mer à l'ellipsoïde de référence, il faut utiliser un modèle du géoïde. Celui-ci fournit une approximation des variations de la hauteur de la surface équipotentielle au-dessus de l'ellipsoïde de référence attribuables à la répartition irrégulière de la masse de la Terre. Les systèmes de référence altimétrique et planimétrique classiques sont des entités distinctes entre lesquelles il n'existe aucune relation géométrique directe.



**Figure 4 La relation géoïde/ellipsoïde**

Le positionnement au moyen des satellites du GPS fournit cependant des coordonnées tridimensionnelles dans un STC. Lorsque convenablement intégrées au cadre de référence, les coordonnées cartésiennes (X,Y,Z) peuvent être géométriquement converties en coordonnées ellipsoïdales ( $\phi,\lambda,h$ ) dans lesquelles h représente la hauteur du point au-dessus de l'ellipsoïde de référence. On constate ainsi que tout réseau géodésique établi par les méthodes GPS et basé sur le cadre de référence tridimensionnel fourni par les points de RILB constitue un réseau tridimensionnel sur lequel on peut baser d'autres levés.

Tirant avantage des progrès accomplis dans le domaine des méthodes évoluées de traitement GPS, les organismes responsables des canevas géodésiques au Canada ont établi trois nouvelles couches de canevas : les emplacements GPS exploités en continu du Système canadien de contrôle actif (CACs), le Réseau de base canadien (RBC) d'une grande exactitude et les Réseaux provinciaux de grande précision (RPGP) afin de compléter et de densifier le RBC. Chacune des couches de ce nouveau réseau 3D est étroitement rattachée à la couche supérieure. Chacun des points du RBC et des RPGP est également directement rattaché au réseau existant antérieur. Bien qu'il n'existe aucun projet conjoint majeur visant à tirer avantage de ces liens, plusieurs organismes de géodésie individuels responsables de réseaux existants ont déjà décidé d'exécuter de nouvelles compensations de leurs réseaux et de les mettre à jour et d'autres organismes pourraient les imiter plus tard.



**Figure 5 Hiérarchie du Système canadien de référence spatiale**

Pour la première fois dans l'histoire nous disposons d'un réseau exact sur les longues distances séparant les uns des autres les points fondamentaux du cadre de référence. Il fournit une armature accessible à laquelle les nouveaux levés peuvent être rattachés et qui permet d'améliorer l'exactitude de la position des points du réseau existant. L'ensemble des couches constitue la matérialisation du Système canadien de référence spatiale (SCRS) appuyé sur des normes, des installations d'étalonnage et tout le reste de l'information requise pour le rendre utile dans le monde réel. La surface de référence et le cadre de référence du SCRS sont essentiellement les mêmes que ceux du NAD83, et puisqu'il s'agit d'une mise à jour d'après des versions antérieures, les coordonnées sont dites conformes au NAD83(SCRS).

Bien qu'un écart de géocentricité d'environ 2 mètres ait été constaté pour le cadre de référence du NAD83, il peut être géré avec grande exactitude et confiance en raison de sa relation à l'ITRF et les usagers ayant des besoins particuliers peuvent utiliser le système adapté à leurs fins.

Quelle est l'incidence de tout ceci sur les coordonnées NAD83 déjà utilisées? Comme nous l'avons déjà mentionné, les réseaux existants étaient sujets à des erreurs systématiques sur de longues distances et on s'attend à constater des écarts aux endroits où ils sont rattachés aux points du RBC et des RPGP. Ces écarts résultent de l'utilisation de parcours différents depuis les points du système de référence du cadre de référence et, comme nous l'avons déjà souligné, ils se situeront très probablement en deçà des exactitudes réalistes attendues pour les anciennes coordonnées. Mais bien que l'on puisse constater des écarts appréciables sur les positions par rapport au cadre de référence ou à l'origine, les écarts d'un point à un autre ou relatifs seront principalement non significatifs.

Afin de tenir compte de ce principe et du fait que l'on peut dorénavant rattacher directement de nouveaux levés locaux au cadre de référence par l'entremise du CACS, du RBC et des RPGP, un nouvel ensemble de normes d'exactitude ont été élaborées. Les anciennes normes étaient strictement basées sur l'exactitude relative d'un point à un autre et faisaient abstraction de la très grande composante souvent inconnue de l'exactitude par rapport au cadre de référence fondamental. À l'opposé, les nouvelles normes permettent de caractériser les deux composantes. **L'exactitude de réseau** caractérise la manière dont un point est rattaché à l'origine ou aux points de référence du cadre de référence alors que **l'exactitude locale** fournit une indication de la qualité du rattachement d'un point aux points voisins.

Nous disposons maintenant de deux versions du cadre de référence du NAD83 qui pourraient être incompatibles; comment les différences entre les deux peuvent-elles être réconciliées? Il n'y a pas de réponse simple à cette question, mais une évaluation objective de quelques facteurs peut nous fournir une meilleure perspective. La première étape consiste à déterminer l'exactitude de réseau et l'exactitude locale pour les données que recueille l'utilisateur et pour les points de contrôle auxquels les données font référence.

En termes généraux, si l'écart au niveau des coordonnées du point de contrôle est inférieur à l'exactitude des données il est statistiquement non significatif et peut habituellement être à toutes fins pratiques ignoré. Si l'écart est important, c'est en tant qu'utilisateur qu'il faut décider s'il est davantage critique de rendre les nouvelles données conformes aux données existantes, et l'exactitude locale est alors le facteur clé, ou si la cohérence des données en rapport avec le cadre de référence est primordiale et c'est alors l'exactitude de réseau qui est le facteur clé. De toute évidence, il existe un grand nombre de combinaisons possibles de ces facteurs et un examen complet de chacune dépasse le cadre de la présente discussion. Chaque situation doit être jugée séparément et le fait de considérer les écarts dans le contexte de l'exactitude peut contribuer à une évaluation objective.

## ***Résumé***

On peut constater que malgré l'existence de nombreuses dénominations de systèmes de référence il n'y a en réalité que deux systèmes de référence fondamentaux en cause au Canada, le NAD27 et le NAD83. L'ATS77 utilisé par les provinces Maritimes constitue une exception locale. Les autres dénominations reflètent les diverses améliorations majeures survenues dans le cours normal de la gestion des cadres de référence. Des améliorations mineures ou plus locales sont encore plus fréquentes, mais ne font pas l'objet d'une si grande attention.

Les couches de réseau CACS/RBC/RPGP fournissent depuis peu une nouvelle occasion de mettre à jour le cadre de référence du NAD83 en améliorant l'exactitude par rapport au cadre de référence fondamental et en ajoutant la troisième dimension. Ce qui est important de souligner c'est qu'il n'y a aucun changement en ce qui a trait à la surface de référence ou au cadre de référence. Le NAD83 reste le système de référence officiel sur lequel sont basés les systèmes de référence dans la plupart des juridictions et le restera encore pendant un certain temps à venir. Les améliorations en termes d'exactitude de réseau découlant de la version SCRS du cadre de référence du NAD83 constituent une autre étape de l'évolution vers un système cohérent dans l'ensemble.

Cette cohérence générale résultant de l'amélioration de l'exactitude de réseau nous permet de profiter au mieux de tous les avantages du GPS, en particulier à mesure qu'évolue l'exactitude qu'il offre en positionnement différentiel sur longue distance pour toutes les catégories d'utilisateurs. Nous ne serons plus autant limités par le rattachement aux canevas locaux pour tenir compte des déformations locales ou régionales. Cette cohérence facilite de plus les transformations conformales 3D à l'ITRF et aux cadres de référence basés sur l'ITRF (p. ex. SGM84), ou l'inverse, par l'utilisation de la relation bien déterminée entre le NAD83 et l'ITRF.

## ***Remerciements***

Le sujet abordé et le titre de cette communication ont paru pour la première fois lors d'une présentation dans le cadre de la Conférence canadienne sur l'hydrographie tenue à Victoria (C.-B.) en mars 1998. Ont contribué à cet effort: Denis Hains, Gordon Garrard, et Walter Gale de la Division des levés géodésiques de Géomatique Canada, Amin Kassam de la Geographic Data B.C. et Dave Doyle du United States National Geodetic Survey. Les auteurs de la présente version destinée à la publication souhaitent remercier tout particulièrement Mike Craymer et Robert Duval de la DLG de leur aide précieuse quant à la terminologie, qui pose un problème persistant au sein de nos organismes de géodésie et dont le manque de rigueur doit considérablement dérouter les utilisateurs de nos produits.

## ***Bibliographie***

Boucher, Claude et Zuheir Altamimi, septembre 1996. *The ITRF and its Relationship to GPS*. GPS World Magazine, volume 7, numéro 9.

Popelar, Josef, 1997. Canadian Spatial Reference System, présentation interne inédite de la DLG.

Kouba, J. et J. Popelar, août 1994. *Modern Geodetic Reference Frames for Precise Satellite Positioning and Navigation. Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS94)*. Université de Calgary (Alberta), Canada.

Langley, Richard B., février 1992. *Basic Geodesy for GPS*. GPS World Magazine.

Malys, Stephen, James A. Slater, Randall W. Smith, Larry E. Kunz et Steven C. Kenyon, juin 1997. *Status of the World Geodetic System 1984. Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS97)*. Université de Calgary (Alberta), Canada.

United States National Geodetic Survey, septembre 1986. *Geodetic Glossary*.