

QUALIFIER LES DONNEES GEOGRAPHIQUES

Un décryptage de la norme ISO 19157



Critère de précision de position

La qualité des données est un frein avéré aux démarches d'ouverture des données. A contrario, connaître le degré de qualité de données détermine le degré de confiance qui peut leur être accordé et incite davantage à leur réutilisation.

L'essor des données ouvertes et géolocalisées et la profusion d'usages existant et à venir nous rend tous progressivement producteur et utilisateur de données géographiques. Cette évolution ne doit pas obérer la nécessaire adaptation au besoin.

Les activités régaliennes ou les politiques publiques s'appuient sur de l'information maîtrisée où la qualité des données produites ou utilisées devient un entrant indispensable. Pour autant, tout le monde ne dispose pas des moyens des producteurs institutionnels de données et il paraît utile de fournir des recommandations et des méthodes plus adaptées au contexte de chacun, pour qualifier les données géographiques, communiquer sur les résultats obtenus voire savoir les interpréter. C'est l'objectif que s'est fixé le Cerema en proposant cette collection de fiches, à l'interface des productions et des usages.

Cette fiche présente le critère de qualité sur la précision de position. Elle est utile pour les données géographiques produites à vocation d'un usage à petite, moyenne ou grande échelle.

. Les définitions utilisées

La précision de position se définit comme la précision de la position des entités au sein d'un système de référence spatial. Elle se compose de deux composantes :

- **la précision absolue (ou externe) :** proximité des valeurs de coordonnées reportées par rapport aux valeurs vraies ou reconnues en tant que telles ;
- **la précision relative (ou interne) :** proximité des positions relatives des

entités dans un jeu de données par rapport à leurs positions relatives respectives vraies ou reconnues en tant que telles.

Cas particulier des données matricielles (également dites raster) : la précision de position de données matricielles est la proximité des valeurs de leur position spatiale par rapport aux positions vraies ou reconnues en tant que telles.

Cependant, pour les données à très grande échelle, que l'on peut assimiler aux levés topographiques en général, des règles existent déjà, qui ont été définies par l'arrêté du 16 septembre 2003 « portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics, ou exécutés pour leur compte ». Cet arrêté précise les mesures à mettre en place pour les contrôles des levés topographiques, les seuils définissant les écarts hors tolérance et quelques principes généraux sur les méthodes de contrôle. Il est fourni en annexe (au paragraphe 7 de cette fiche).

À noter que quelques principes sont repris dans les paragraphes suivants quand ils apportent un éclairage ou un complément aux principes édictés par la norme ISO 19157. De même, le rapprochement est fait, quand cela a du sens, entre les terminologies de la norme et de l'arrêté.

Enfin, certaines données, notamment les données LIDAR, peuvent être assimilées à des données à très grande échelle mais ne sont pas des données topographiques. Leur mesure de la précision de position respecte les mêmes règles que les données à moyenne et grande échelle.

. Description des mesures possibles à réaliser

La norme ISO 19157 propose un grand nombre de mesures pour les sous-critères définis précédemment. Dans un souci de clarté, seules les plus importantes (que l'on retrouve par exemple dans le chapitre qualité des différentes réglementations techniques des thèmes INSPIRE) sont présentées dans ce paragraphe.

Pour autant, et afin d'apporter une vision complète des préconisations de la norme ISO 19157, les autres mesures sont présentées dans l'annexe 2 (au paragraphe 8 de cette fiche).

1. Définitions générales

Dans la suite du document, par convention, on nomme :

$$x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}$$

les coordonnées mesurées et :

$$x_{ti}, y_{ti}, z_{ti}$$

les coordonnées considérées comme exactes issues de la réalité du terrain.

Enfin, on désigne par **incertitude de position**, la distance entre une position mesurée et ce que l'on considère comme étant la véritable position correspondante.

La valeur de cette incertitude est toujours positive :

- **en 1 dimension :**

$$e_i = |x_{mi} - x_{ti}|$$

- **en 2 dimensions :**

$$e_i = \sqrt{(x_{mi} - x_{ti})^2 + (y_{mi} - y_{ti})^2}$$

- **en 3 dimensions :**

$$e_i = \sqrt{(x_{mi} - x_{ti})^2 + (y_{mi} - y_{ti})^2 + (z_{mi} - z_{ti})^2}$$

Nota : l'incertitude de position correspond à « l'écart en position » de l'arrêté du 16 septembre 2003

2. Précision absolue (ou externe)

Les différentes mesures proposées par la norme sont décrites dans les paragraphes suivants.

Valeur moyenne des incertitudes

- **définition :** valeur moyenne des incertitudes de position pour un ensemble de

$$\text{positions } \bar{e} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N e_i \right)$$

- **type de valeur :** nombre réel
- **Identifiant ISO 19157 :** 28

Taux d'erreurs de position au-dessus d'un seuil donné

- **définition :** Nombre d'incertitudes de position au-dessus d'un seuil donné pour un ensemble de positions rapporté au nombre total de positions mesurées.

Cette mesure vient compléter l'indicateur précédent. Toutes les incertitudes de position au-dessus d'un seuil défini e_{max} sont alors comptées comme erreur.

Ce nombre est divisé par le nombre total de positions mesurées (aberrantes ou

non) pour obtenir le taux des positions aberrantes

$$\frac{\text{nombre}(e_i > e_{max})}{n}$$

- **type de valeur** : nombre réel, pourcentage
- **paramètre** : e_{max} , seuil des incertitudes de position acceptées
- **Id ISO 19157** : 31

Classement des objets contrôlés en fonction des écarts de positionnement constatés, selon un ou deux seuil(s)

- **définition** : Pour des objets linéaires ou surfaciques, nombre d'entités présentant des écarts de positionnement au-dessus d'un seuil donné (ou de deux, avec un premier seuil "acceptable" et un second seuil de "non-conformité", le premier seuil ne pouvant être dépassé que dans une proportion limitée), rapporté au nombre total d'entités contrôlées.
- **description** : Cette mesure n'est pas présente dans la norme. Dérivée de la précédente, elle représente une simplification de la méthode des classes de précision (cf. annexe 1), et peut notamment être envisagée pour des données à moyenne et grande échelle ne relevant pas de travaux topographiques, lorsque des géométries complexes doivent être contrôlés (linéaires ou surfaciques) en termes de précision de position.

Sur ces objets linéaires ou surfaciques, au lieu de mesurer point par point la précision du positionnement, la méthode est d'identifier parmi les entités faisant partie de l'échantillon à contrôler celles qui présentent des écarts à la norme, soit des écarts de positionnement supérieurs à un (ou deux) seuil(s) donné(s). Est ainsi défini un classement des entités contrôlées :

- classe "correcte", nombre entités avec $e_i < e_{seuil_1}$ / nombre total d'entités contrôlées, soit un taux

minimum d'entités "correctes" (T_{min} , communément 95 %)

- classe "acceptable", nombre entités avec $e_i > e_{seuil_1}$ (et $e_i < e_{seuil_2}$) / nombre total d'entités contrôlées
- et éventuellement classe "non conforme", nombre entités avec $e_i > e_{seuil_2}$ / nombre total d'entités contrôlées, afin de cadrer un peu plus la dispersion des incertitudes hors norme
- **type de valeurs** : nombres réels, pourcentages
- **paramètres** : T_{min} , taux minimum d'entités "correctes" ; e_{seuil_1} , seuil d'incertitude de position ne devant pas être dépassé pour que l'entité soit considérée comme "correcte" ; idem pour e_{seuil_2} définissant la limite de conformité.

Incertitude de position horizontale

- **définition** : rayon décrivant un cercle, dans lequel l'emplacement véritable du point se situe avec une certaine probabilité. Plusieurs mesures sont construites sur le même principe avec des exigences croissantes (rayon décrivant un cercle, dans lequel l'emplacement véritable du point se situe avec une probabilité exprimée en %) :

écart-type circulaire	39,4%
erreur circulaire probable	50%
standard d'exactitude cartographique circulaire	90%
erreur circulaire avec un seuil de signification de 95%	95%
erreur circulaire avec quasi certitude	99,8%

- **Id ISO 19157** : 42, 43, 44, 45 et 46 (§D4.1.3, tableau D.44 et suivants dans la norme)

Erreur quadratique moyenne de la planimétrie

- **définition** : rayon d'un cercle autour d'un point donné, dans lequel la valeur vérifiable se situe avec une probabilité P
- **Id ISO 19157** : 47 (§D4.1.3, tableau D.49 dans la norme)

3. Précision relative (ou interne)

Cet élément de qualité utilise le même ensemble de mesures de la qualité des données que la précision absolue (cf. 2.2). Seules diffèrent les méthodes d'évaluation.

Deux mesures spécifiques ont été définies pour la précision relative :

Erreur verticale relative

- **définition** : évaluation des erreurs aléatoires d'une entité du relief à une autre dans le même jeu de données ou sur la même carte par rapport à un référentiel vertical commun
- **description** : les calculs sont faits sur toutes les combinaisons de paires de points possibles :
 - en calculant l'erreur verticale absolue pour chaque point
 - en calculant l'erreur relative pour chaque combinaison de paire
 - en calculant l'écart type relatif vertical
 - en calculant l'erreur verticale en fonction de l'intervalle de confiance avec les paramètres : $P=90\%$, $t=1,645$ (*coefficient de Student, cf Fiche « Eléments statistiques »*)
- **Type de valeur** : nombre réel
- **Id ISO 19157** : 52

Erreur horizontale relative

- **définition** : évaluation des erreurs aléatoires d'une entité dans la position horizontale par rapport à une autre dans le même jeu de données ou sur la même carte

- **Id ISO 19157** : 53

. Mesures retenues

On retiendra du chapitre précédent que les mesures possibles pour qualifier la précision de position sont très nombreuses (d'autres présentes dans la norme n'ont pas été décrites car très marginales) et qu'il convient d'en réduire le spectre pour isoler les mesures les plus pertinentes, tant dans leur compréhension que dans la capacité à les mesurer effectivement.

Pour déterminer les mesures les plus usitées, il convient de regarder les pratiques ou les recommandations en vigueur.

1. Mesures préconisées dans les guides techniques INSPIRE

Chaque thème des annexes I à III de la directive INSPIRE est défini par un guide de recommandations techniques qui intègre systématiquement un chapitre sur les mesures de la qualité.

L'analyse de l'ensemble des thèmes montre de grandes divergences dans l'appréciation et les recommandations des mesures à effectuer pour la précision de position. En particulier, dans la moitié des cas, aucune mesure n'est demandée, car les notions décrites ont des périmètres flous (régions biogéographiques, zones météorologiques, zones à risque, régions maritimes, répartition des espèces, etc.).

Pour les thèmes où des mesures sont préconisées, deux mesures ressortent sans qu'il soit aisé de définir les règles qui ont conduit à ces recommandations :

- Valeur moyenne des incertitudes (12 fois) (cf. 2.1.a.)
- Erreur quadratique moyenne de la planimétrie (4 fois) (cf. 2.1.d)

Ces deux mesures s'appliquent à tout type de géométrie à condition, pour des entités linéaires ou surfaciques, d'appliquer la mesure à des points singuliers ou remarquables de ces objets (cf. §4.1).

De manière plus marginale, sont cités une fois le taux d'erreurs au-dessus d'un seuil donné et trois fois l'erreur quadratique moyenne pour les positions verticales.

2. Pratiques en vigueur en France

Au vu des pratiques en vigueur en France, deux mesures sortent du lot :

- **la valeur moyenne des incertitudes de position, à l'exclusion des valeurs aberrantes, associée au nombre d'incertitudes au-dessus d'un seuil donné**, que l'on peut assimiler à l'indicateur retenu pour qualifier les classes de précision telles que décrites dans l'arrêté de septembre 2003.
- **l'erreur quadratique moyenne planimétrique** (ou l'erreur quadratique moyenne pour l'altimétrie) qui est la méthode utilisée par l'IGN.

En outre, compte tenu d'une mise en œuvre difficile et contraignante de ces indicateurs pour qualifier la précision de position d'une géométrie "complexe", une troisième mesure est couramment employée - à moyenne et grande échelle - pour des données linéaires ou surfaciques, en contrôlant entité par entité au lieu de mesurer point par point la précision du positionnement :

- **le classement des objets contrôlés en fonction des écarts de positionnement constatés, selon un ou deux seuil(s).**

Par contre, d'une façon générale, pour des données à très grande échelle relevant de l'arrêté de septembre 2003, la mesure qui doit être utilisée est bien :

- **la méthode des classes de précision** (cf. annexe 1)

Orientée vers les prestataires de travaux topographiques, elle convient pour :

- spécifier des ambitions de qualité dans un cahier des charges ;
- s'assurer qu'une ambition de qualité est vérifiée.

Elle est plus difficile d'emploi quand il n'existe pas de connaissance a priori de la précision de position, car la définition du seuil des valeurs aberrantes n'est alors pas possible. Ce cas sera le plus fréquent, car il correspond à tous les jeux

de données qui ne relèvent pas de spécifications contenant des ambitions de qualité.

Une des solutions serait de fixer, a posteriori, une classe de précision à dire d'expert au regard des nécessités liées aux besoins d'exploitation, de visualisation ou de traitement du domaine métier concerné en premier lieu par le jeu de données et de vérifier qu'elle est respectée.

3. Recommandations

La valeur moyenne des incertitudes, qui est la mesure majoritaire proposée dans les guides techniques INSPIRE, n'apparaît pas comme l'indicateur le plus robuste. Mais il est, de loin, le plus simple à calculer.

Raisonnement en classe de précision présente le mérite de donner simultanément la notion de précision (la valeur numérique de la classe) et la garantie d'une dispersion acceptable (c'est la méthode elle-même qui fixe le nombre de points hors seuils autorisés).

Une troisième solution est d'utiliser des mesures de type erreur quadratique moyenne planimétrique ou équivalente (écart type circulaire), qui sont toujours applicables et apportent une finesse de mesure supérieure, mais qui sont plus difficiles à faire comprendre. Dans un tel cas, il convient de toujours raisonner avec le même intervalle de confiance (seuil de signification), qui est le seul moyen de comparer des jeux de données entre eux (c'est le seuil de 95% qui est communément admis comme représentatif). La difficulté est que la mesure est définie par deux composantes : l'erreur en elle-même et la variation autour de la moyenne en fonction du seuil de signification.

On recommandera donc d'utiliser les mesures suivantes en fonction du contexte et par ordre de priorité :

- **classe de précision au sens de l'arrêté du 16 septembre 2003**
- **valeur moyenne des incertitudes**

L'intérêt de ces deux méthodes est qu'elles sont basées sur la moyenne des écarts et sont donc comparables, ce qui n'est pas le cas de l'erreur quadratique.

Enfin, pour des données linéaires ou surfaciques, soit des géométries complexes en termes de mesure de précision de position, et à condition de ne pas relever de l'arrêté de septembre 2003,

il paraît judicieux d'employer un type de mesure adapté, moins contraignant : ainsi, dans ce cas, une mesure "simplifiée" – par rapport aux précédentes – est conseillée :

- **classement des objets contrôlés en fonction des écarts de positionnement constatés, selon un ou deux seuil(s)**

. Méthode de contrôle

Ce paragraphe s'applique à décrire l'ensemble des éléments techniques nécessaires à une mesure fiable et si possible non remise en cause, de la précision de position.

Deux points sont à évoquer :

- les règles de mise en correspondance entre objets à contrôler et objets utilisés pour les mesures
- l'application des règles sur le contrôle par échantillon ou sur la base entière

Remarque : une mesure n'est considérée comme mesure de contrôle que lorsque sont mis en œuvre des procédés meilleurs que ceux utilisés pour constituer le jeu de donnée. C'est la notion de coefficient de sécurité présente dans l'arrêté du 16 septembre 2003 (qui fixe un coefficient minimal de 2).

Les consignes présentées dans les paragraphes suivants sont valables quel que soit l'indicateur retenu pour qualifier la précision de position. L'objectif est d'obtenir, pour chaque objet à contrôler, les coordonnées du jeu à contrôler et les coordonnées homologues dans le jeu de données de contrôle.

1. Règles de mise en correspondance des paires de contrôle

Les contrôles doivent porter sur des objets caractéristiques (ou des points caractéristiques des objets) bien identifiés, qui ne présentent aucun caractère d'ambiguïté tant dans le jeu de données à contrôler que sur les objets servant au contrôle.

Quelle que soit la géométrie des objets et les différentes mesures portant sur l'évaluation des écarts entre points, il revient de réduire les objets à un point ou un ensemble de points.

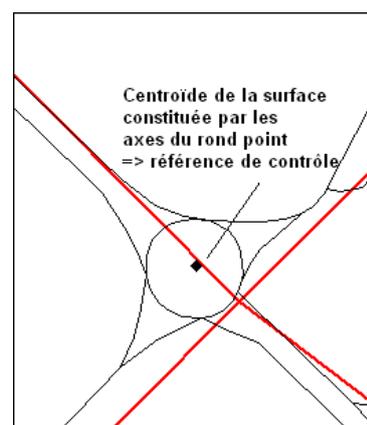
Ce principe, facile à énoncer, est complexe à mettre en œuvre. Les paragraphes suivants proposent des règles et des méthodes pour procéder à cette opération.

Objets ponctuels

Une classe d'objets ponctuels dans le jeu de données à contrôler fait référence, soit à un objet « suffisamment petit » dans le terrain nominal pour être assimilé à un point, soit à des objets plus grands (surfacciques ou ayant au moins une emprise importante), traduits sous forme de points lors de la constitution du jeu de données.

Ces simplifications géométriques, ou changement d'abstractions, sont tout à fait légitimes mais compliquent la définition des objets servant au contrôle.

De manière générale, il convient de réduire un objet – surfaccique par exemple – de la source de contrôle en un point qui définira les coordonnées terrain à comparer et celles du jeu de données.



Pour une surface concave, réduire la surface à son barycentre ou son centre géométrique semble une solution simple à mettre en œuvre et valide. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter de prendre comme points à contrôler des objets dont la forme trop complexe ne permet pas la réduction à un point sans ambiguïté.

Ainsi, un bâtiment sera ramené à son barycentre, un rond-point représenté par sa section circulaire sera ramené au centre du cercle.

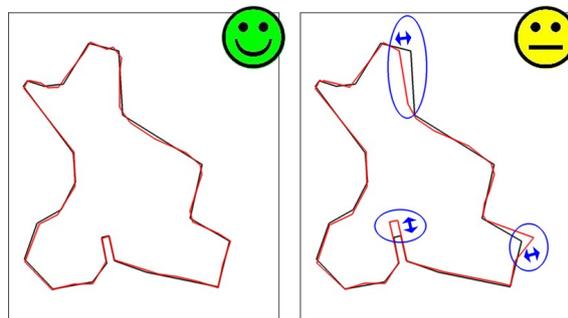
Objets linéaires et surfacciques

Identifier le long d'une ligne ou d'un périmètre des points caractéristiques est un exercice délicat.

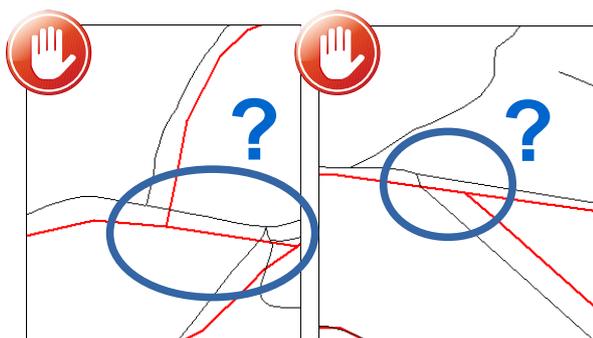
Plusieurs solutions sont possibles en fonction des configurations, qui nécessitent des actions préparatoires plus ou moins complexes :

- réduire la précision de position d'un réseau à la précision de position des sommets de ce réseau dès lors que leur identification et leur localisation ne présentent pas d'ambiguïté (privilégier les carrefours en X ou en T d'un réseau routier plutôt que les jonctions en biseau)
- relever, dans le jeu de données et dans la source de contrôle des points représentant des changements de cap (pour un réseau électrique par exemple constitué de lignes brisées, pour une limite administrative, pour un périmètre basé sur le découpage parcellaire...) ou des inversions d'inflexion pour un réseau constitué de lignes courbes (réseau routier ou ferroviaire, courbe de niveau, zone d'aléa...).

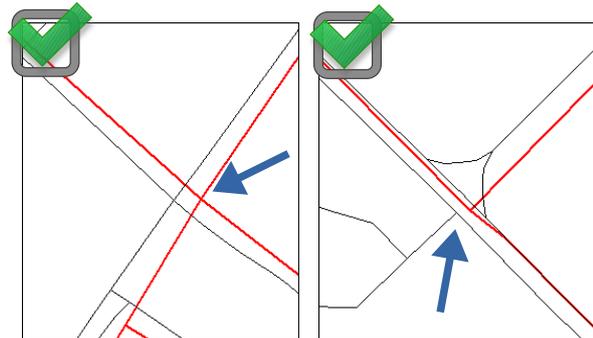
rieurs à un seuil donné. Cette analyse est réalisée sur l'ensemble de l'objet ou, si l'objet à contrôler est de taille importante, sur une portion de l'objet.



exemple de qualification de la précision de position sur une entité surfacique : (1) pas d'écart de positionnement supérieur à un seuil donné, (2) au moins un écart supérieur



Configurations à éviter : points de contrôle flous réseau à contrôler (rouge), source de contrôle (noir)



Configurations à privilégier : points de contrôle identifiables

Comme évoqué précédemment, pour des données ne relevant pas de l'arrêté de septembre 2003, la méthode de contrôle de la précision de position de ces objets linéaires ou surfaciques peut être simplifiée : au lieu de mesurer point par point la précision du positionnement, la méthode préconisée est d'identifier parmi les entités faisant partie de l'échantillon à contrôler celles qui présentent des écarts à la norme, soit des écarts de positionnement supé-

2. Incidence du référentiel utilisé

La plupart des données métier ou thématiques sont construites en s'appuyant sur la géométrie d'un référentiel existant (cadastre, BD Topo) ou par saisie sur des données image (BD Ortho, Scans), du moins pour leur dimension géographique, sources dont on connaît l'ordre de grandeur de la précision géométrique.

En cas de récupération d'une géométrie totale ou partielle issue d'un référentiel vecteur (BD TOPO®, BD PARCELLAIRE®, BD CARTO®, GEOFLA) la précision de position du jeu de données produit hérite directement de celle de son référentiel support. Dans ce contexte, seules les géométries complémentaires nécessitent d'être contrôlées pour vérifier si les parties ajoutées sont d'une précision cohérente avec celle du référentiel support.

Dans le cas d'une saisie sur source image (orthophotographie, SCAN 25) la précision du jeu de données produit est corrélée à celle du référentiel support à condition que le travail de saisie soit correctement effectué. Ce cas de figure impose de procéder à un contrôle et ne permet pas de reprendre à l'identique la précision nominale du référentiel support.

Pour rappel, l'IGN émet les hypothèses suivantes pour la production de ses bases de données référentielles :

Source des données	Précision
Photogrammétrie, plan ou fichier métrique	0,5 à 1,5 m
Levé GPS dynamique, BD TOPO®, BD	1,5 à 2,5 m

PARCELLAIRE® recalée	
Orthophotographie, BD PARCELLAIRE®	2,5 à 5 m
Carte 1/25 000 (SCAN 25®), image satellite	5 m à 10 m
BD CARTO®	> 10 m

La difficulté réside entre l'ordre de grandeur de la précision de position (moyenne des incertitudes) et la garantie que l'ensemble des écarts est proche de cette grandeur (écart type autour de la valeur moyenne).

. Représentation-Notation

Pour la précision de position, encore plus que pour les autres critères de qualité, le risque de confusion entre précision et qualité est fort. Une classe de précision de 30 m ne signifie pas que la qualité de la production est moindre par rapport à une classe de précision de 1 m.

A l'inverse, au regard de spécifications, un jeu de données qui ne respecterait pas une classe de précision demandée de 1 m peut être considéré comme de qualité inférieure à un lot qui respecte son objectif de 30 m.

Pour autant, et par souci de simplicité, on ne retiendra, dans la notation simplifiée, que l'ordre de grandeur, qui est l'information la plus parlante et qui permet également de savoir dans quelle gamme d'échelle utiliser les données.

Il est proposé de retenir la progression des notes selon le tableau ci-dessous.

La mesure est notée sur une échelle de **1 à 5**, la note de **1** correspondant à la moindre précision (au-delà de 20 m) et la note de **5** correspondant aux données les plus précises (0,4 m et en deçà).

Il est rappelé qu'une note faible n'est pas synonyme, pour la précision de position, de qualité mauvaise, contrairement aux autres critères. La notation donne essentiellement un ordre de gran-

Note	Valeur moyenne des incertitudes (VMI)	
5	VMI ≤ 0,4 m	0,4 m correspond à la limite supérieure de la classe A définie dans l'arrêté des classes de précision. Elle correspond à une saisie obtenue par des moyens topographiques, photogrammétriques sur des photos à l'échelle du 1:2 000 ou des GPS de grande précision.
4	0,4 m < VMI ≤ 1,5 m	1,5 m correspond globalement à une saisie basée sur les éléments du RGE (BD Ortho et BD Topo)
3	1,5 m < VMI ≤ 5 m	5 m correspond aux capacités des GPS de milieu de gamme.
2	5 m < VMI ≤ 20 m	20m correspond à ce qu'il est possible d'obtenir en basant la saisie sur du Scan 25 ou de la BD Carto. C'est également l'ordre de grandeur de la précision d'un GPS standard en milieu urbain ou défavorable.
1	VMI > 20 m	

Tableau 1

. Ce qu'il faut retenir

La précision de position, qui concerne la position des entités au sein d'un système de référence spatial, se compose de **la précision absolue et la précision relative**.

De nombreuses mesures existent : nous retiendrons les deux suivantes en fonction du contexte et par ordre de priorité :

- **la classe de précision** au sens de l'arrêté du 16 septembre 2003, qui permet de donner simultanément la notion de précision et la garantie d'une dispersion acceptable ;
- **la valeur moyenne des incertitudes, pour sa facilité de calcul :**

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N e_i \right)$$

Et dans certaines conditions particulières (pour des données à moyenne et grande échelle ne relevant pas de travaux topographiques, et avec des géométries complexes à contrôler - linéaires et surfaciques - en termes de précision de position), l'emploi d'une mesure simplifiée apparaît judicieux :

- **le classement des objets contrôlés en fonction des écarts de positionnement constatés, selon un ou deux seuil(s)**

. Annexe 1 : arrêté du 16 septembre 2003

1. Classes de précision – conditions de vérification

L'arrêté du 16 septembre 2003 et sa circulaire portent sur les classes de précision applicables aux travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte. Il remplace l'arrêté du 21 janvier 1980 relatif aux tolérances applicables en matière de travaux topographiques.

Il permet au donneur d'ordre de spécifier la précision souhaitée, indépendamment des moyens mis en œuvre et met en place les modalités de son contrôle.

L'objet de l'arrêté est bien de simplifier les relations entre donneurs d'ordre et maîtres d'œuvre tout en fournissant des outils partagés pour spécifier la précision, documenter les méthodes de contrôle et en comprendre les résultats.

Le principe général consiste en un contrôle des écarts en position sur des points caractéristiques, des objets levés, identifiés, ne présentant aucun caractère d'ambiguïté et déterminés par le donneur d'ordre avec des moyens de précision au moins égale à deux fois celle prévue dans le contrat.

Il repose sur **la définition d'une précision demandée qui se traduit par trois conditions à respecter**.

Soient : E_{moypos} l'écart moyen en position, et E_{posi} l'écart en position de l'objet i

P : classe de précision souhaitée (unité : mètre)

C : coefficient de sécurité des mesures de contrôle

N : Taille de l'échantillon de contrôle

k , coefficient fonction du nombre de coordonnées caractérisant la position des objets géographiques, prend sa valeur dans le tableau suivant :

	1D	2D	3D
k	3,23	2,42	2,11

Table de valeurs de k

k prend la valeur 2,42 pour tout contrôle de précision planimétrique.

- **La première condition** fait intervenir l'écart moyen en position. Il correspond à la moyenne arithmétique des écarts en position. Ces écarts en position représentent la distance euclidienne qui sépare un point avec des coordonnées prestataires du même point avec des coordonnées contrôlées. Cette condition est :

$$E_{moypos} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N E_{posi} \right) < P \times \left(1 + \frac{1}{2 \times C^2} \right)$$

- Les deux autres conditions sont des seuils limites déduits de probabilités statistiques :

- **Un premier seuil :**

$$T_1 = P \times k \times \left(1 + \frac{1}{2 \times C^2} \right)$$

il peut être dépassé mais par un nombre limité de points N' et N' ne doit pas excéder l'entier immédiatement supérieur à : $(0,01 \times N) + (0,232 \times \sqrt{N})$

N	N'
de 1 à 4	0
5 à 13	1
14 à 44	2
45 à 85	3
86 à 132	4
133 à 184	5
185 à 240	6
241 à 298	7
299 à 359	8
360 à 422	9
423 à 487	10

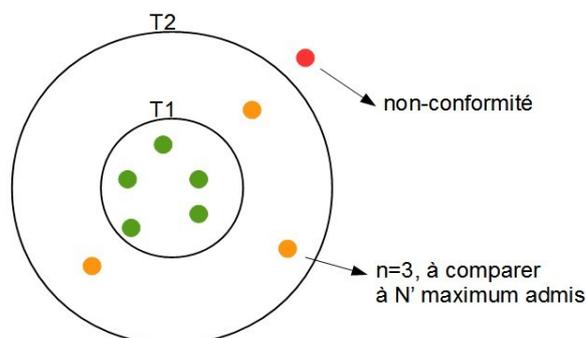
Exemples de nombre N' maximaux d'écarts dépassant le seuil T_1 pour un échantillon N

Lorsque $N < 5$, aucun écart supérieur à T_1 n'est admis (Cf. tableau ci-dessus).

- **Un second seuil T_2** ne doit pas être dépassé : aucun écart en position dans l'échantillon ne doit excéder ce second seuil défini par

$$T_2 = 1,5 \times T_1 = 1,5 \times P \times k \times \left(1 + \frac{1}{2 \times C^2} \right)$$

Les écarts en position sont analysés à la lumière du modèle statistique standard ou à l'aide d'un gabarit d'erreurs spécifiques défini dans le cahier des charges techniques.



Quelques ordres de grandeur (pour C=2 et k=2,42) :

P (en m)	E_{moypos}	T_1	T_2
0,2	0,23	0,54	0,82
0,5	0,56	1,36	2,04
1	1,13	2,72	4,08
2,5	2,81	6,81	10,21
5	5,63	13,61	20,42
10	11,25	27,23	40,85
20	22,5	54,45	81,68
50	56,25	136,13	204,19

2. Cas particulier de l'arrêté DT-DICT

L'article 1er de l'arrêté "DT-DICT" du 15 février 2012 définit les classes de précision permettant de caractériser le niveau de qualité de la connaissance de l'emplacement des réseaux :

Classe A : un ouvrage ou tronçon d'ouvrage est rangé dans la classe A si l'incertitude maximale de localisation indiquée par son exploitant **est inférieure ou égale à 40 cm** s'il est rigide, ou à 50 cm s'il est flexible (l'incertitude maximale est portée à 80 cm pour les ouvrages souterrains de génie civil attachés aux installations destinées à la circulation de véhicules de transport ferroviaire ou guidé lorsque ces ouvrages ont été construits antérieurement au 1er janvier 2011),

Classe B : un ouvrage ou tronçon d'ouvrage est rangé dans la classe B si l'incertitude maximale de localisation indiquée par son exploitant est **supérieure à celle relative à la classe A et inférieure ou égale à 1,5 mètres**,

Classe C : un ouvrage ou tronçon d'ouvrage est rangé dans la classe C si l'incertitude maximale de localisation indiquée par son exploitant **est supérieure à 1,5 mètres, ou si son exploitant n'est pas en mesure de fournir de données de localisation**.

Tout exploitant de réseau enterré ou aérien, sensible ou non pour la sécurité, a obligation de ranger tous les tronçons des réseaux qu'il exploite dans l'une de ces trois classes de précision lorsqu'il répond à une demande de travaux (DT) ou à une déclaration d'intention de commencer les travaux (DICT).

. Annexe 2 : autres mesures présentées dans la norme 19157

1. Valeur moyenne des incertitudes à l'exclusion des valeurs aberrantes

Cette mesure se décrit ainsi dans la norme :

- **définition :** pour un ensemble de points où la distance ne franchit pas un seuil défini, il s'agit de la valeur moyenne des incertitudes de position pour un ensemble de positions.

Cette mesure est une variante de la précédente. Elle diffère dans le sens où les valeurs aberrantes sont ôtées de l'échantillon retenu pour la mesure. Son intérêt est de fournir une moyenne des incertitudes plus proche de la réalité, l'impact des valeurs aberrantes sur cette mesure étant neutralisé.

Cette mesure doit être **systématiquement accompagnée de l'indication du nombre (ou du taux) d'incertitudes au-dessus du seuil donné** (voir paragraphe 2.2). La formule de calcul est similaire à celle du paragraphe 2.2 mais porte sur un échantillon réduit :

$$\bar{e}' = \frac{1}{N_R} \left(\sum_{i=1}^N e_i \right)$$

- **type de valeur :** nombre réel
- **paramètre :** e_{max} , seuil des incertitudes de position acceptées
- **id ISO 19157 :** 29

Cette mesure est retenue par l'arrêté sur les classes de précision applicables aux travaux topographiques, combinée avec le nombre d'incertitudes au-dessus d'un seuil donné.

2. Nombre d'incertitudes au-dessus d'un seuil donné

Cette mesure est caractérisée ainsi dans la norme :

- **définition :** Nombre d'incertitudes de position pour un ensemble de positions au-dessus d'un seuil donné. Cette mesure vient compléter l'indicateur

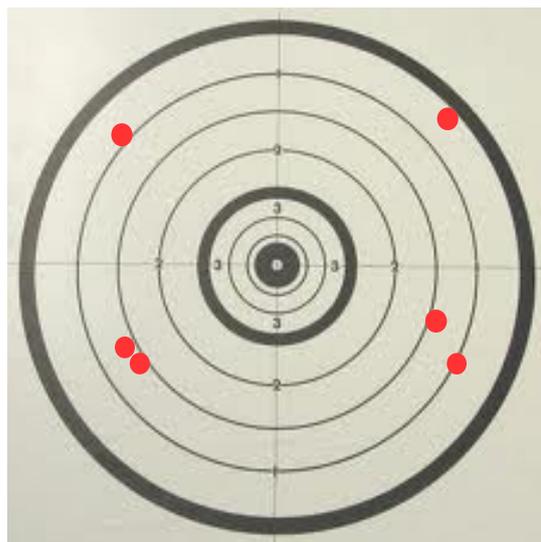


figure 1

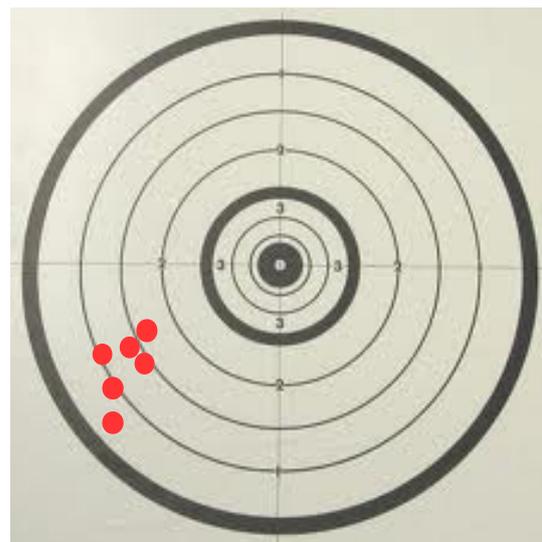


figure 2

précédent. Toutes les incertitudes de position au-dessus d'un seuil défini e_{max} sont alors comptées comme erreur

- **type de valeur** : nombre entier
- **paramètre** : e_{max} , seuil des incertitudes de position acceptées
- **id ISO 19157** : 30

Remarque : La norme ISO ne propose pas de recommandation sur la détermination des valeurs de seuils. On retrouvera des règles sur cette détermination dans l'arrêté du 16.09.2003, qui va même plus loin en fournissant des formules de calcul du seuil standard et en introduisant une notion de seuil maximal.

3. biais des positions (1D, 2D, 3D)

D'une manière générale, le biais matérialise une erreur systématique dans une ou plusieurs dimensions et la mesure en est donnée par la moyenne arithmétique de ces écarts.

Dans la norme, cette mesure est caractérisée par :

- **définition** : biais des positions pour un ensemble de positions où les incertitudes de position sont définies comme l'écart entre une position mesurée et ce que

l'on considère comme étant la véritable position.

$$\text{Biais en X : } a_x = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_{mi} - x_{ti} \right)$$

$$\text{en Y : } a_y = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_{mi} - y_{ti} \right)$$

$$\text{en Z : } a_z = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N z_{mi} - z_{ti} \right)$$

Biais dans le plan horizontal :

$$a_H = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

- **type de valeur** : nombre réel
- **id ISO 19157** : 128

Dans l'exemple ci-dessous, l'erreur moyenne des incertitudes de position est similaire avec, pour la figure 1, une forte répartition et pas d'erreur systématique, et pour la figure 2 une faible répartition avec un biais fort.

4. Erreur linéaire probable (incertitude de position verticale)

- **définition** : demi-longueur de l'intervalle définie par une limite supérieure et inférieure, dans laquelle la valeur véritable se situe avec une probabilité de 50%

- **description** : Tant la mesure de contrôle que la position terrain véritable ne sont pas toujours obtenues avec une parfaite exactitude. Cette incertitude peut être quantifiée en considérant les mesures comme des variables aléatoires et en appliquant des méthodes statistiques
- **variantes** : plusieurs mesures sont construites sur le même principe avec des exigences croissantes :
 - erreur linéaire standard (probabilité de 68,3%)
 - exactitude linéaire avec un seuil de signification de 90%
 - exactitude linéaire avec un seuil de signification de 95%
 - exactitude linéaire avec un seuil de signification de 99%
 - erreur linéaire avec quasi certitude (probabilité de 99,8%)
- **id ISO 19157** : 33, 34, 35, 36, 37 et 38

5. Erreur quadratique moyenne de la position verticale

- **définition** : écart-type où la valeur véritable n'est pas estimée à partir des observations, mais où elle est connue a priori
- **id ISO 19157** : 39

Coordonnées
partenaires
Maquettage
source photos

Fiche réalisée sous la coordination de Gilles Troispoux et Bernard Allouche (Cerema Territoires et ville)

Rédacteurs

Yves Bonin (Cerema Méditerranée), Arnauld Gallais (Cerema Ouest), Benoît Ségala (consultant)

Contributeurs

Mathieu Rajerison, Silvio Rousic, (Cerema Méditerranée)

Relecteurs

Benoît David (Mission information géographique MEEM/CGDD), Stéphane Rolle (CRIGE PACA), Magali Carnino (DGAC), Stéphane Lévêque (Cerema Territoires et ville), Yvan Bédard (Professeur Honoraire à l'université Laval, CEO d' Intelli³)

Contacts

Bernard.Allouche@cerema.fr

Boutique en ligne : catalogue.territoires-ville.cerema.fr

Collection
Connaissances
ISSN xxxxx
2017/xxx

La collection Connaissances du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

© 2017 - Cerema
*La reproduction totale
ou partielle du document
doit être soumise à
l'accord préalable du
Cerema.*

Aménagement et développement des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement – www.cerema.fr

Cerema Territoires et ville – 2 rue Antoine Charial - CS 33927 - 69426 LYON Cedex 03 - Tél. +33 (0)4 72 74 58 00

Siège social : Cité des mobilités – 25 av. François Mitterrand - CS 92803 - 69674 BRON Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30

30