

Positionnement de puits déviés

Implémentation des corrections à envisager lors de la représentation des trajectoires de puits déviés en projection cartographique
Propositions et analyses de trois méthodologies possibles.

■ Antoine BILLAULT

MOTS-CLÉS

Puits dévié, corrections géodésiques, projection cartographique, données trajectoire-puits.

La généralisation des puits déviés à très long déport (Extended Reach Drilling) incite les services Forage & Géomatique du groupe pétrolier TOTAL à remettre en question l'état actuel

du positionnement géodésique d'une trajectoire de puits, et sa représentation sur une projection cartographique. La conception avant forage d'un puits dénote qu'une trajectoire est référencée dans un système local (topocentrique). Notre étude montre que les tentatives de conversion en coordonnées planes, sur ces coordonnées intermédiaires, opérées par les sociétés spécialistes en mesures de puits déviés, se révèlent être erronées. Consécutivement, l'intégrité des données de trajectoire s'en trouve significativement altérée. Trois solutions sont ainsi présentées et détaillées, dont deux pourraient être la base de l'implémentation d'un module de conversion, inédit, géoréférencant correctement les données d'une trajectoire-puits.

Contexte de l'étude

Dans une société en pleine mutation sur les questions de gestion de l'énergie et de l'exploitation durable des ressources naturelles, une compagnie pétrolière multinationale, telle que le groupe TOTAL, se doit de relever perpétuellement des défis humains et techniques dans l'exploration et la production des énergies fossiles, ressources avérées épuisables. Pour répondre à ces challenges ambitieux, les architectures des trajectoires de puits deviennent de plus en plus complexes, et leurs déports horizontaux atteignent désormais une dizaine de kilomètres pour les puits dits ERD (Extended Reach Drilling). Le positionnement de ces trajectoires dans une représentation cartographique compréhensible et interprétable a posteriori, par les différents services impliqués dans ce dernier (Forage, Géophysique, Réservoir), impose une présence, un suivi et un contrôle de l'entité habilitée en tant que tel, à savoir le service Géomatique.

L'état actuel des données de positionnement des trajectoires-puits mérite d'être examiné, et les calculs, formules et corrections géodésiques adoptés, aussi bien par le service

Forage, lors de la conception des puits, que par les sociétés de services qui fournissent des mesures de trajectoire de puits déviés, en cours de forage, requièrent une investigation approfondie.

Les approximations constatées, les incohérences révélées feront l'objet d'une mise en garde quant à l'exploitation des données des trajectoires-puits, et des solutions pour les géoréférencer correctement dans le système géodésique en vigueur sur la zone d'étude seront explicitées.

État de l'art du positionnement des puits déviés

La première étape consiste en la mesure de points stationnés le long de la trajectoire, modélisée lors du design ou établie en temps réel lors du forage effectif. Sur un site de forage, ce mesurage est accompli par des entrepreneurs spécialistes, et fournit in fine les observations brutes suivantes : le couplet (Azimut Magnétique, Inclinaison locale) de la BHA (Bottom Hole Assembly ou garniture de forage) avec un instrument MWD (Measurement While Drilling), ou bien le couplet (Azimut Géographique, Inclinaison locale) de la BHA avec une centrale inertielle, auquel on adjoint une troisième donnée : la longueur physique forée (longueur des tiges empilées).

Par la suite, l'emploi d'un algorithme d'interpolation de ces observations discrètes permet de retracer le parcours du train de tiges le long du puits conçu ou foré. Bien que la méthode du minimum de courbure (*minimum curvature*), entre deux points stationnés, demeure le standard proclamé et adopté

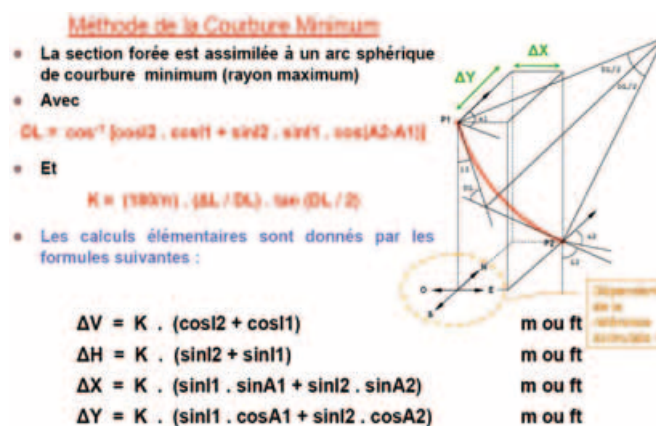


Figure 1. Principe et référentiel mathématique de la méthode de la courbure minimum dans le calcul d'une trajectoire-puits.

à ce jour, la méthode du “constant Tool Face”, entreprise exclusivement lors de la conception de la trajectoire-puits, facilite l’exécution du forage parce qu’elle se fonde sur le seul algorithme existant capable de reproduire fidèlement le principe de fonctionnement naturel des outils de forage dirigé (gradients de changement de courbure et d’inclinaison constant, gradient de changement d’azimut variable). Indépendamment de cette distinction, ces deux principes raisonnent dans un environnement en trois dimensions, c’est-à-dire un trièdre orthonormé.

Ainsi, les coordonnées intermédiaires, résultantes de ce traitement d’observations pseudo-brutes, définissent un point quelconque de la trajectoire sous la forme d’un déport physique ($\Delta X, \Delta Y$) où l’origine est la première mesure réalisée en tête de puits, accompagné d’une profondeur (*True Vertical Depth*), assimilable à l’opposé d’une altitude, et où l’origine est ici aussi la tête de puits. Du reste, ces coordonnées sont référencées selon les axes du trièdre relatif à l’algorithme d’interpolation retenu. Une mauvaise habitude peut être prise d’appliquer aux données brutes Azimutales une valeur constante de déclinaison magnétique (pour des observations acquises avec un MWD) et de convergence des méridiens, déterminées en tête de puits, afin d’orienter, à tort, ces Azimuts sur un nord cartographique, et exprimer après coup des déports connotés comme des déplacements Est-Ouest & Nord-Sud de la trajectoire par rapport à la plate-forme de forage (Rig). Une première faute est ici commise par négligence d’un paramètre géodésique (variation dans l’espace de la convergence des méridiens due à la projection cartographique).

Alors que le service Forage réceptionne les coordonnées de la cible (*target*) – déterminées par le service Réservoir – sous la forme (*Easting, Northing*) +TVD qui se réfèrent respectivement à un système géodésique et un référentiel altimétrique – soit

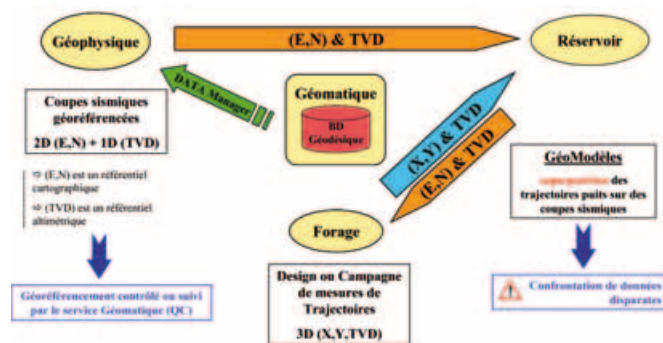


Figure 2. Nature des données échangées entre les différentes entités impliquées dans un projet d’Exploration & Production.

dans un univers 2D + 1D –, les foreurs confrontent cette donnée avec leurs valeurs intermédiaires ($\Delta X, \Delta Y, \Delta TVD$), pourtant définies dans un univers 3D, où l’origine de ce triplet de coordonnées, commune en chaque point représentatif de la trajectoire, est la tête de puits. La figure ci-dessous résume la nature des données de positionnement des trajectoires-puits véhiculées entre les acteurs d’un projet d’Exploration & Production, au sein du groupe TOTAL.

Aux erreurs précédemment introduites viennent s’ajouter d’autres approximations mises en évidence dans les rapports des campagnes de mesures réalisées par les prestataires de services (de mesures de déviations), lesquels rapports sont ensuite transmis aux foreurs. Ces rapports affichent les observations pseudo-brutes – puisqu’on ne dispose pas des valeurs originelles d’Azimuts (magnétique ou géographique selon l’instrument de mesure) – soit une donnée déjà faussement convertie, où l’unique valeur de convergence retenue est affichée dans l’en-tête d’un rapport. Les coordonnées intermédiaires sont aussi répertoriées comme des déplacements Nord-Sud et Est-Ouest. Enfin, les coordonnées de chaque point de la trajectoire sont formulées dans la projection cartographique en usage sur la zone du forage, par l’emploi des relations suivantes :

$$Northing(i) = Northing(Rig) + \Delta NS_{Rig}^i \cdot SF_{Rig}$$

$$Easting(i) = Easting(Rig) + \Delta EW_{Rig}^i \cdot SF_{Rig}$$

Figure 3. Formule adoptée dans un rapport de campagne de mesures pour exprimer la position d’un puits en coordonnées cartographiques.

Ce calcul élémentaire retient une valeur fixe de module linéaire (*Scale Factor*), déterminée en tête de puits (SF_{Rig}), laquelle, multipliée par le déport selon le pseudo-Nord ou le pseudo-Est d’un point issu de son calcul d’interpolation, puis additionnée de la coordonnée initiale (tête de puits) Nord ou Est, produira respectivement la coordonnée plane Nord ou Est de ce point. La figure présentée ci-après schématise, sur un extrait d’un rapport d’une campagne de mesures, ce calcul approximatif.

Développements et perspectives d’évolution

Trois solutions ont été étudiées pour répondre aux besoins du service Forage, à savoir leur permettre de concevoir et représenter avant forage des trajectoires géoréférencées, et

Comments	Measured Depth (m)	Inclination (deg)	Azimuth (deg)	TVD (m)	Vertical Section (m)	NS (m)	EW (m)	DLS (deg/30 m)	Northing (m)	Easting (m)	Latitude	Longitude	Sub-Sea TVD (m)
Tie-In	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9416732.48	784121.04	S 5 16 19.391	E 11 33 47.542	-29.60
Sea bed	199.60	0.00	0.00	199.60	0.00	0.00	0.00	0.00	9416732.48	784121.04	S 5 16 19.391	E 11 33 47.542	170.00
GWD	224.10	0.81	85.62	224.10	-0.12	0.01	0.17	0.99	9416732.49	784121.21	S 5 16 19.391	E 11 33 47.547	194.50
GWD	253.52	0.11	165.56	253.52	-0.26	0.00	0.39	0.81	9416732.48	784121.43	S 5 16 19.391	E 11 33 47.554	223.92
GWD	273.02	0.64	295.62	273.02	-0.22	0.03	0.29	1.10	9416732.51	784121.33	S 5 16 19.390	E 11 33 47.551	243.42
GWD	287.21	0.54	248.96	287.21	-0.14	0.04	0.10	1.31	9416732.52	784121.20	S 5 16 19.390	E 11 33 47.547	257.61

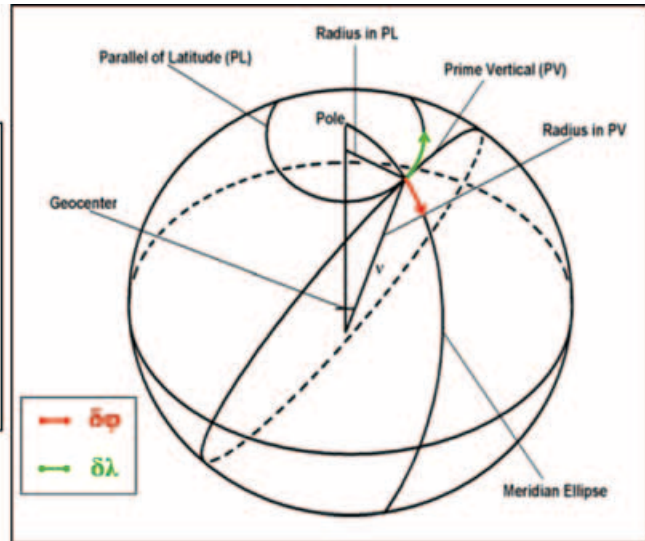
x (SF)

Figure 4. Valeurs disponibles pour chaque mesure, dans un rapport d’une campagne de mesures (données Forage, [2007], confidentiel)

$$\delta\varphi_i^{i+1(rad)} = \frac{\Delta Y_i^{i+1}}{(\rho_i - TVD_i)}$$

$$\delta\lambda_i^{i+1(rad)} = \frac{\Delta X_i^{i+1}}{(\nu_i - TVD_i) \cdot \cos\varphi_i}$$

Figure 5. Fondements géodésiques sur lesquels repose la méthode LMP (ZINN, [2005], modifié).



recommander aux prestataires de services de revoir leurs formules de conversion et d'expression de la trajectoire en projection.

- La première solution est présentée dans la publication SPE n° 96813⁽¹⁾. Cette méthode est tirée d'un raisonnement formulé par David M. Lee (ExxonMobil®), d'où son nom LMP pour *Lee's Modified Proposal*. Elle est géodésiquement juste dans son raisonnement, et permet de s'affranchir des corrections de convergence de méridiens (passage Azimut Géographique ⇌ Azimut Cartographique) et de module linéaire. Elle nécessite des coordonnées intermédiaires déterminées à partir d'Azimut Géographique et fournit, au final, des coordonnées géographiques. La figure ci-dessus résume le principe et les formules générales.

Avec :

ρ : rayon de courbure de l'ellipse méridienne ou section normale au point i , en mètre.

ν : rayon de courbure de la section normale perpendiculaire ou grande normale au point i , en mètre.

On opère donc par calculs itératifs, et la connaissance de ρ et ν au point i , dans la détermination des variations en latitude et longitude entre les points i et $i+1$, répond à l'application de leur définition respective.

Elle répond à un artifice de calculs géodésiques recevables si certaines hypothèses sont remplies :

- les variations ΔX et ΔY doivent être définies à partir d'Azimuts Géographiques, et non Cartographiques ou considérés comme tels.
- ces formulations sont correctes tant que les variations ΔX et ΔY restent infiniment petites devant les valeurs de ρ et ν (ratio $< 10^{-5}$ rad # 1" d'arc), et que le calcul est réalisé entre deux points consécutifs, successivement.
- la correction dite de "passage de la corde à l'arc" est insignifiante pour des variations ΔX et ΔY de quelques décimètres sur l'ellipsoïde géodésique.
- les variations de latitude et de longitude, à l'issue du calcul, sont exprimées en radians.

- La deuxième solution consiste en la transformation d'un repère topocentrique (là où sont définies les coordonnées

intermédiaires, c'est-à-dire dans le référentiel de travail des foreurs, à savoir en 3D) vers le repère géocentrique du datum en vigueur. Cette méthode est très lourde à mettre en œuvre car elle exige une bonne maîtrise des fondamentaux géodésiques, et introduit beaucoup d'étapes et calculs préalables dans la préparation des données (équation de Laplace, transformation d'Helmert...).

- La troisième solution repose dans un simple calcul par point lancé. On se base sur des coordonnées intermédiaires déterminées à partir d'Azimuts géographiques, entre autres. Entre deux points consécutifs, on détermine la valeur de la convergence des méridiens (γ) et l'altération linéaire local (m), tous deux propres à la projection dans laquelle on souhaite exprimer les coordonnées finales, et après réduction, sur l'ellipsoïde, de la distance euclidienne entre ces deux points, on applique les formules usuelles du point lancé.

$$E_{i+1} = E_i + m_i \cdot D_{i(ell)}^{i+1} \cdot \sin G_i^{i+1}$$

$$N_{i+1} = N_i + m_i \cdot D_{i(ell)}^{i+1} \cdot \cos G_i^{i+1}$$

Où :

E_i, N_i : coordonnées cartographiques du point i , en mètre,

m_i : altération linéaire au point i , fonction de la projection et de la position du point, sans unité,

G_i^{i+1} : gisement entre le point i et $i+1$, en degré, et $G_i^{i+1} = Az_{i(geo)}^{i+1} \pm \gamma_i$.

$D_{(ell)}$: distance réduite sur l'ellipsoïde, en mètre.

Le développement des première et troisième solutions a été réalisé sous Matlab R2006a, celui de la deuxième, en raison de sa complexité, a été achevé avec un tableur Excel. En outre, certains modules géodésiques complémentaires, internes au service Géomatique, ont été requis : pour le calcul d'une ondulation du Géoïde, on a utilisé le module développé par Rémi FELTEN ([2005], PFE @ TOTAL) qui se base sur le modèle de géoïde GGM02C ; pour la conversion des coordonnées géocentriques et/ou géographiques en coordonnées cartographiques, on a utilisé le module GCU® (interne à TOTAL).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

L'intégration des bonnes corrections géodésiques proposées ci-dessus pour la conversion dans un référentiel cartographique des données-puits du service Forage (Design & trajectoires mesurées), lesquelles sont opposables a posteriori avec les données des services Géophysique et Réservoir, relève d'un commun accord entre les services Géomatique et Forage. Le service Forage entreprend de développer une future Base de Données dédiée aux trajectoires puits (avec les incertitudes sur les positions associées) ; en conséquence, les orientations relatives au développement et à l'intégration de ces corrections doivent être arrêtées très prochainement.

Depuis l'aboutissement de ce projet de fin d'étude, un logiciel complet destiné à répondre aux attentes des pétroliers sur ces questions de contrôles des données de trajectoire-puits est apparu sur le marché. Il semble que ses performances et résultats annoncés correspondent aux besoins du service Forage en matière de Contrôle Qualité (QC) des données de trajectoire-puits échangées. Ce produit complet devrait permettre de juger de la validité des données puits acquises et diffusées par un prestataire de mesures conformément aux spécifications du cahier des charges. Selon un communiqué de la société développant cet outil, ce progiciel offre la possibilité à l'utilisateur de contrôler les données d'un puit avant son import dans les multiples plates-formes SGBD et/ou logiciels de géophysique, et s'assurer de la présence des paramètres géodésiques et de leur définition conforme aux conventions usuelles (Sont-ils renseignés ?). Précisément, cet outil recalcule le *Scale Factor* (altération linéaire) et la convergence des méridiens – relatifs à la projection cartographique de l'étude – sur l'ensemble de la trajectoire, soulignant ainsi les variations de ces paramètres caractéristiques et prépondérants pour une exploitation fiable de la trajectoire-puits, son archivage et sa pérennité.

Cette étude avait pour objectif premier d'éclaircir les manipulations opérées sur les données de positionnement des trajectoires de puits, puis d'inspecter, plus particulièrement, le

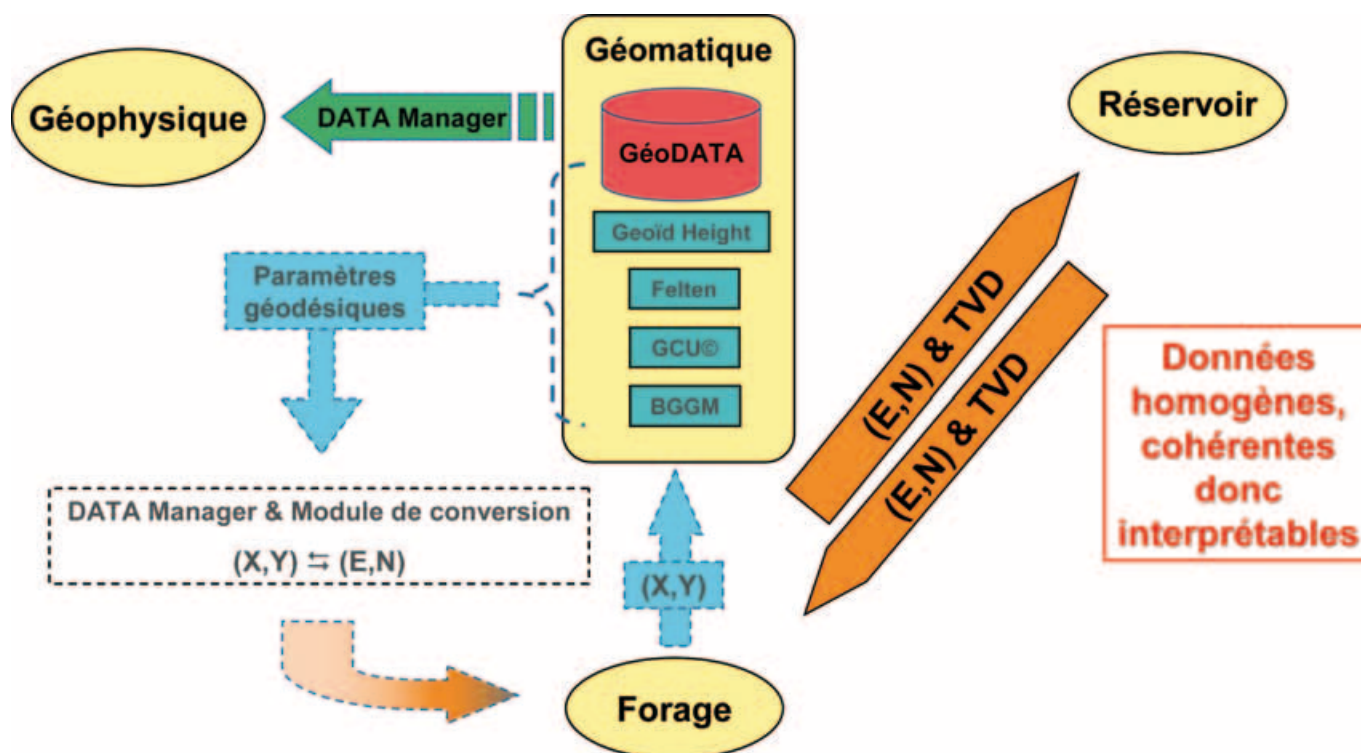


Figure 6. Schéma synthétique sur l'intégration du module de conversion géoréférençant les trajectoires-puits. Prototype suivant les orientations pressenties au service Forage.

► niveau d'intégration des notions et corrections géodésiques fondamentales à l'expression d'une trajectoire d'un puits dévié dans une projection cartographique, format de données compréhensible et homogène pour tous les acteurs intervenant dans un projet d'Exploration & Production.

Des imperfections notoires ont été décelées, aussi bien en interne au service Forage, lors d'une conception d'un puits par leur logiciel-métier, que dans un rapport d'une campagne de mesures relevées et transmises par un prestataire de services spécialiste en mesurage de puits dévié.

Des solutions claires, détaillées et approfondies ont été développées, et garantissent le géoréférencement approprié d'une trajectoire-puits dans le système géodésique en vigueur sur la zone d'étude. Deux solutions peuvent être retenues dans la perspective de l'implémentation vraisemblable et prochaine d'un module destiné à convertir une trajectoire-puits en coordonnées cartographiques. Reste à statuer sur les orientations à venir au service Forage quant à l'élaboration d'une Base de Données officielle et dédiée aux données puits, pour que le service Géomatique puisse livrer l'application géodésique *ad hoc*.

Parallèlement, le S&P (*Surveying & Positioning Committee*), du consortium OGP (*International Oil & Gas Producers*), qui gère la base de données géodésiques internationale EPSG⁽³⁾ (issue de l'ancien *European Petroleum Survey Group*) – instance suprême en matière de Géodésie dans le monde du pétrole – aurait tout intérêt à dresser une liste de recommandations sur les formules, algorithmes, paramètres, chiffres significatifs, relatifs à la gestion des systèmes géodésiques et cartographiques susceptibles d'être intégrés ou pris en charge par les logiciels-métiers en usage dans une compagnie pétrolière et ses filiales, tel que TOTAL. Cette certification valoriserait à la fois l'autorité de l'OGP S&P, les performances et la fiabilité des logiciels audités et avérés conformes aux normes édictées, et surtout la qualité et l'intégrité des données puits. Dernièrement est apparu sur le marché un progiciel analysant et contrôlant la valeur des métadonnées géodésiques des données de trajectoire-puits. Cette solution, *ad hoc* en cela qu'elle répond à notre problématique, mérite d'être testée sur des échantillons de puits ERD. Manifestement, la recherche d'une architecture complexe d'un puits foré sur un déport horizontal de plusieurs kilomètres caractérise les nouveaux défis des foreurs, et ceux-ci se doivent d'en garantir une utilisation viable au moyen d'une documentation exhaustive des paramètres descriptifs du système géodésique de la zone d'étude, mais aussi en fournissant un géoréférencement correct de la trajectoire-puits conforme à la projection cartographique associée en vigueur. ●

Contacts

Antoine BILLAULT

antoinebillault@msn.com

Bernard FLACELIERE

Responsable topographie du service Géomatique, TOTAL

Glossaire

BHA : garniture de forage, constituée de l'outil de forage (trépan), de stabilisateurs, des sondes (logs) de mesures directionnelles et géologiques, et de tiges amagnétiques.

Constant Tool Face : en trajectographie pétrolière, méthode reposant sur l'asservissement du Dog Leg Severity

DLS # $\frac{\text{rayon de courbure}}{\text{distance}}$ et de l'inclinaison à des valeurs constantes et sur la seule variation de l'azimut de la BHA. Il en résulte un tool face constant.

MWD : Sonde de mesures de trajectoire-puits composée d'un trièdre orthogonal (XYZ) d'accéléromètres (trois, soit un capteur aligné sur chaque axe), et d'un trièdre orthogonal de magnétomètres.

Puits ERD (Extended Reach Drilling) : puits à grand déport horizontal et/ou vertical.

Rig : derrick sur une plate-forme de forage.

Scale Factor ou Point Scale Factor (SF) (couramment nommé Scale Factor ou Grid Scale Factor) : module linéaire ou module de réduction à la projection cartographique, propre à la projection associée au Datum en usage sur le site de forage.

Target : localisation du gisement d'hydrocarbure, spécifiée par le service Réservoir sous la forme d'un jeu de coordonnées (Easting, Northing, TVD).

True Vertical Depth (TVD) : profondeur ramenée à la verticale locale (assimilable à l'opposée de l'altitude).

Bibliographie

(1) ZINN, N.D. [2005], *Accounting for Earth Curvature in Directional Drilling*, SPE paper n° 96813.

(2) EKSETH, R., [1998], *Uncertainties in connection with the determination of wellbore positions*, Doctoral thesis 1998, Norwegian University of Science and Technology, 1998:24 IPT-rapport. ISBN: 82-471-0218-8.

(3) URL : <http://www.ogp.org.uk/> et <http://info.ogp.org.uk/geodesy/>

ABSTRACT

Key words: deviated well, geodetic corrections, cartographic projection, well-trajectory data.

Trivialization of ERD wells has prompted the Drilling & Geomatic departments of the group TOTAL to thoroughly investigate the current state of geodetically positioning a wellbore trajectory, and subsequently its representation on a cartographic projection. It was noticed that a designed trajectory is referenced from the wellhead, where coordinates which depict that wells are equivalent to local displacements given from that unique and fixed point. Furthermore, contractors who are specialists in the measurement of deviated wells endeavour to provide cartographic coordinates of a surveyed wellbore, but they do so wrongly because of many oversights regarding geodetic notions and phenomena. Consequently, that lack of rigor when processing trajectory data dramatically alters their interpretation due to an increase of the ellipse of uncertainty on a point position which draws the trajectory. Thus, three solutions are detailed, and two of them should be put aside and be required for a further implementation of a module devoted to an accurate georeferencing of well-trajectory data.

Relevé lasergrammétrique et traitement des nuages de points de moulages de la Gypsothèque de l'Université Marc Bloch de Strasbourg

■ Cyril CALLEGARO

La collection des moulages de l'Université Marc Bloch est contemporaine de la création de la Kaiser-Wilhelm-Universität fondée en 1872. Elle est née de la volonté de réunir en un même lieu un musée imaginaire, une collection idéale de sculptures grecques. A la fin du XIX^e siècle, cette collection est une des plus brillantes d'Europe. Entreposée dans les sous-sols du Palais Universitaire depuis 1945, la collection a subi de nombreuses dégradations. La gypsothèque de l'Université Marc Bloch cherchait un moyen de pouvoir réaliser des représentations des statues et d'élaborer éventuellement des modèles en trois dimensions. De tout temps, l'approche la plus utilisée pour représenter des statues est le dessin. Le procédé reste manuel et suppose du temps de réalisation très important. De plus la subjectivité du dessinateur est souvent trop présente.

Dans ce contexte, le laboratoire MAP-PAGE, a proposé à la gypsothèque de l'Université Marc Bloch, la numérisation en trois dimensions de certaines pièces de ses collections pour réaliser, à long terme, un musée virtuel accessible à tous par Internet. Cependant, l'immense variété de statues présentes dans la gypsothèque rend impossible l'utilisation de différentes techniques de numérisation. En effet, plusieurs méthodes utilisées de façon complémentaire sont envisageables mais rendent la numérisation réellement onéreuse telles la combinaison d'un lever tachéométrique et photogrammétrique, l'utilisation simultanée d'un scanner laser pour les formes générales, de la photogrammétrie rapprochée pour les détails et les capteurs à projection de lumière structurée ou codée. Il est donc nécessaire de sélectionner un bon équipement et la méthodologie requise afin d'obtenir un bon compromis entre la qualité du résultat et le coût global de l'opération. Un des objectifs du projet est la numérisation dans son ensemble d'une statue (Figure 1) en utilisant une seule méthode, un seul type d'équipement et des logiciels standardisés.



Figure 1. Amazone de type "Mattéi", statue présente à la gypsothèque.

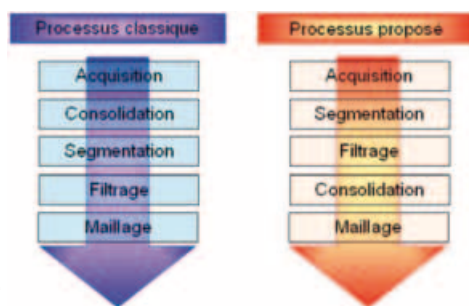


Figure 2. Processus classique et processus proposé.



Figure 3 : de gauche à droite, maillage brut du nuage de points brut, maillage brut du nuage de points filtré, modèle final (pour le buste Faro).

Une procédure de réduction du bruit sur la mesure a été mise en place en s'inscrivant dans une méthode spécifique de modélisation, qui présente l'originalité de filtrer les données avant de procéder à la consolidation des divers nuages de points (cf. Figure 2). De plus, ce projet a permis de tester, en plus du scanner Trimble du MAP-PAGE, le scanner laser Faro LS à mesure de différence de phase. Du point de vue qualitatif, le modèle Faro apparaît le plus représentatif de la statue originale. Du point de vue quantitatif et à défaut de mesures de contrôle sur la statue – la méthode de relevé classique d'une statue reste manuelle et fastidieuse et d'un modèle numérique de référence il n'a pas été possible d'établir une comparaison. Cependant, en considérant chaque modèle indépendamment l'un de l'autre, on observe que nombre de points du nuage issu des données Faro sont plus proches du modèle associé.

Des modèles 3D ont été produits en n'utilisant qu'un seul type de technologie et des logiciels standardisés. Les résultats sont encourageants au vu du bruit auquel les nuages de points sont soumis (cf. Figure 3). L'amélioration du processus est donc envisagée. Les scanners utilisés ne semblent pas adaptés à de la mesure à courte distance, et les conditions d'utilisation doivent être améliorées. La statue qui a servi aux expérimentations est extrêmement complexe tout en étant de couleur très sombre, ce qui nuit à la réflexion du signal laser. La procédure de filtrage peut être améliorée en optimisant la construction des "Range Images", et en modifiant le type de filtre utilisé. Le filtre adaptatif "Wiener" proposé par Matlab a été utilisé, mais les nouveaux filtres à base d'ondelettes fournissent aussi des résultats intéressants. De plus, le programme employé mériterait d'être compilé sous un langage plus performant (C ou C++) que celui de Matlab qui génère des temps de calcul importants. En revanche, le logiciel 3DReshaper, développé par l'entreprise Technodigit, a été très performant pour la modélisation des zones complexes. Un système de scanner laser à repérage de position semble beaucoup plus adapté pour ce type de travaux. Ainsi, le travail effectué lors de ce projet permet au laboratoire MAP-PAGE d'ouvrir de nouvelles perspectives dans la modélisation architecturale et la conservation du patrimoine. ●

Redressement et mosaïquage : mise en place d'une chaîne de production et nouveau procédé

■ Clément BROSSARD

La représentation du monde réel à travers un univers virtuel devient un besoin de plus en plus grand aussi bien dans la vie de tous les jours (ventes sur Internet, publicités) que dans les divertissements (jeux vidéo, films) et les domaines culturels et scientifiques (muséographie, conservation de sites archéologiques). Pour obtenir des modèles 3D, il est possible de les créer de toutes pièces grâce à des logiciels d'infographie (Blender, 3DS Max, Cinéma 4D). Cependant, le monde scientifique s'attache à représenter les vrais objets ou sites par le biais de techniques telles que la lasergrammétrie ou la photogrammétrie rapprochée. Les méthodes utilisées, qu'il s'agisse d'infographie ou de reconstruction du modèle à partir d'un objet réel, sont en général coûteuses en temps et en espace de stockage.

L'avènement des nouvelles technologies de l'informatique avec des possibilités toujours plus grandes de stockage des données et une vitesse accrue de traitement de ces données, contribue à l'essor scientifique de la modélisation 3D des objets. Au sein de la communauté scientifique, les archéologues se tournent irrémédiablement vers ces nouveaux outils de conservation et de diffusion pour présenter leurs découvertes au plus grand nombre. Afin de modéliser sites archéologiques et patrimoine historique, les scientifiques doivent continuellement développer de nouvelles méthodes pour répondre aux demandes toujours plus précises et conséquentes. De nombreuses techniques de modélisations sont développées. Elles facilitent la modélisation mono-image, la modélisation multi-images, le redressement d'images, et la réalisation d'orthophotographies. Le projet étudié met uniquement en œuvre la méthode de redressement d'image pour modéliser l'environnement. L'étude a été réalisée en Espagne au sein de l'entreprise Global Mediterranea, entreprise qui possède un groupe de travail spécialisé dans la modélisation 2D et 3D à partir de photographies (cf. Figure 1 et Figure 2. Exemples de sols à redresser). L'objectif du projet porte sur l'amélioration du rendement des techniques utilisées tout en gardant une qualité optimale des rendus.



Figure 1. Squelette sur le site d'Oropesa (Espagne)

Dans un premier temps, l'étude s'est attachée à mettre en évidence les divers points faibles des méthodes existantes, et plus particulièrement des méthodes utilisées par Global. Elle a permis d'aboutir à une nouvelle approche du redressement d'image en pensant le redressement non plus dans un environnement en

2D, mais dans l'environnement 3D VRML. Cette méthode s'applique aussi bien au redressement d'images isolées qu'à celui d'une mosaïque de photos.

La deuxième partie du projet a permis de mettre en forme le programme de redressement des images. Cette solution encadre l'ensemble de la chaîne de production, de la prise des photos sur le terrain jusqu'à la réalisation et visualisation de la mosaïque d'images redressées. Ce programme est structuré autour d'un ensemble d'étapes, passages obligés, permettant d'obtenir les orthophotos finales. Le principe d'obtention des images redressées s'appuie sur les propriétés propres au langage VRML pour le plaquage des textures. L'idée générale est de recréer dans un environnement 3D la surface sur laquelle on souhaite redresser l'image, et de mapper ensuite la texture sur cette surface afin de la faire coïncider avec sa surface réelle (cf. figure 3).

Au final, cette méthode de redressement d'images et de création de modèles 3D d'objets composés de surfaces planes diminue grandement le temps de traitement des données par rapport au logiciel utilisé jusqu'à présent par l'entreprise. De plus une étude comparative entre la nouvelle méthode développée et les méthodes utilisées jusqu'à présent par l'entreprise montre des écarts inférieurs à 2 mm, ce qui reste négligeable.

Une étape supplémentaire dans la modélisation passe par la recherche d'automatisation quels que soient le type de modèles 3D traité et le rendu final de cette modélisation. Cette amélioration devrait passer par l'utilisation d'un filtre de détection de contour afin de recouper autrement la surface redressée. L'utilisation de tels découpages modifierait singulièrement la forme de la surface redressée et nécessiterait de se poser de nouvelles questions sur le découpage de la surface pour le mappage de la texture. ●



Figure 2. Mosaïque d'une pièce du palais d'Alaquas (Espagne).

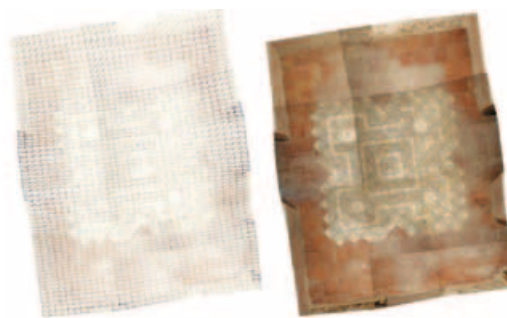


Figure 3. Mosaïque après redressement de l'ensemble des images, maillage et texture.

Etude relative aux méthodes de mise en œuvre et à la précision du scanner laser RIEGL LMS Z420i dans le cadre des travaux topographiques d'EDF

■ Carine HONORÉ

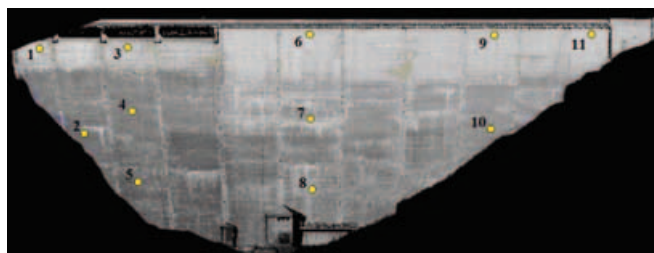
Les grands ouvrages de génie civil du parc de production de EDF font l'objet d'une surveillance accrue. L'une des missions du service "topographie" concerne l'auscultation des ouvrages pour déterminer leur état d'endommagement (apparition de défauts géométriques, déformations...) afin d'anticiper leur évolution dans le temps. Pour améliorer la qualité des prestations, le service « topographie » s'est doté d'une technologie d'acquisition récente : un scanner laser de longue portée : le RIEGL LMS Z420i. Le projet vise à déterminer les conditions d'utilisation, à considérer les paramètres et erreurs, le degré de précision et d'exactitude envisageable avec le scanner laser RIEGL LMS Z420i pour les travaux topographiques de EDF, et particulièrement dans le cadre du suivi des tours de réfrigérant et des barrages hydrauliques.

De manière générale, l'étude s'inscrit dans une logique de recherche et développement. En effet, le service "topographie" a une grande expérience de la mesure d'auscultation, mais il se doit d'améliorer chaque jour ses procédés de suivi, et cela passe par une remise en question permanente de ses outils. Ce projet souligne donc la volonté d'innovation, d'adaptation et de recherche d'EDF.

La comparaison des méthodes, des précisions et des documents réalisables, a permis d'analyser les avantages et inconvénients du remplacement de la photogrammétrie par la lasergrammétrie. Ainsi les déformations détectables par les lasers scanners sur les tours ont pu être quantifiées. La précision correspondante doit être rapportée à l'échantillon de mesures utilisé. Si la photogrammétrie permet d'atteindre



Une tour de réfrigérant.



Orthophoto du barrage des Gloriettes avec positionnement des cocardes

une précision supérieure, il ne faut pas négliger l'importante densité d'informations apportée par la technique lasergrammétrique, ni d'ailleurs l'intérêt économique de l'entreprise. Concernant l'auscultation des barrages le couplage des auscultations de déformation et des défauts est une réelle avancée. L'utilisation du capteur laser est parfaitement adaptée à ce type d'ouvrage. Cependant, l'emploi du levé topographique sera toujours de rigueur pour connaître avec exactitude l'amplitude et le sens des mouvements. En conclusion, la lasergrammétrie se pratique comme un excellent complément dans le suivi actuel des ouvrages d'EDF. ●



Nuage coloré en fonction des écarts entre scans sur une zone de recouvrement.