

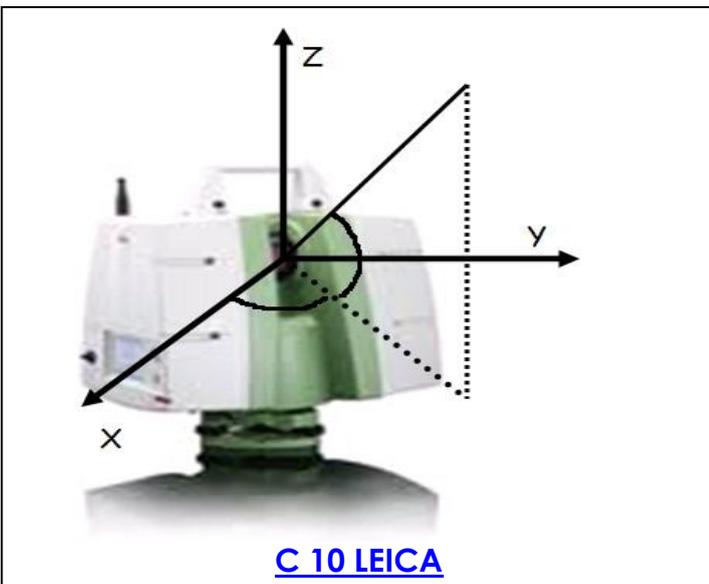
PREALABLE

La numérisation 3D d'un objet fait appel à un outil type **scanner laser** qui engendre une multitude de nouvelles notions que le géomètre-topographe se doit de maîtriser afin de dominer l'utilisation, le traitement et le rendu du levé effectué.

1/ Définitions préalables :

- **Lumière laser** : le **laser** (acronyme de l'anglais « *light amplification by stimulated emission of radiation* »), en français : « amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement ») est un instrument qui produit une lumière spatialement et temporellement **cohérente** basée sur l'effet laser. Descendant du **maser**¹, le laser s'est d'abord appelé maser optique.

- **Nuage de points** : c'est l'ensemble des points 3D représentant l'objet scanné par l'instrument utilisé. A l'identique d'un tachéomètre le scanner laser mesure pour chaque point d'impact sur l'objet **la distance** (différents principes de détermination en fonction du type d'appareil) et les **angles horizontaux et verticaux**. Les coordonnées sphériques des points sont déterminées dans un repère centré sur le scanner comme suit :



Les scanner mesure donc pour chaque point d'impact **d, θ et φ**

Les coordonnées tridimensionnelles X, Y et Z des points sont calculées comme suit :

$$X=d.\cos \theta.\cos \varphi$$

$$Y= d. \cos \theta.\sin \varphi$$

$$Z=d.\sin \theta$$

- **Résolutions des scanner** : l'instrument effectue un balayage laser selon un paramétrage choisi par l'utilisateur au lancement du mesurage. Ce paramétrage est fonction de:

* **la résolution angulaire** : paramètre qui caractérise la capacité de l'appareil à mesurer de façon indépendante deux objets situés sur des lignes de visées adjacentes.

Cependant il sera plus aisé pour le géomètre de quantifier le pas de résolution du balayage en fonction de la distance scanner-objet.

Il faut donc à ce stade introduire la notion de résolution spatiale.



* **La résolution spatiale** : caractérise le plus petit espacement entre deux points mesurés sur l'objet et ce à une distance fixe scanner-objet.

Il ne faudra pas confondre à ce stade la HAUTE RESOLUTION (plus petit espacement entre points) et GRANDE RESOLUTION (grand espacement entre les points mesurés).

Ces notions et plus particulièrement la dernière débouchent sur la densité de points du levé.

* **Densité de points** : caractérise donc le nombre de points mesurés par unité de surface à distance scanner-objet fixe. Cette densité sera fonction du paramétrage choisi par l'utilisateur lors de chaque scan (paramétrages différents entre deux scans successifs et ce dans le même "job").

A ce stade le géomètre déterminera en fonction de l'objet à scanné, du rendu futur, du cahier des charges du maître d'ouvrage et du recul possible le « **PAS DE BALAYAGE** ».

Pas de confusion ici entre la RESOLUTION SPATIALE (plus petit espacement mesurable à distance fixe) et PAS DE BALAYAGE (espacement choisi par l'utilisateur).

* **Visualisation du nuage de point, intensité et RVB:**

Le scanner est couplé à une caméra numérique ce qui permet d'associer à chaque impulsion une information de couleur **RVB (RGB)** (rouge, vert et bleu) issue de **l'intensité laser retour**. Cette dernière est fonction de différents paramètres tels que :

- La distance scanner-objet
- L'angle d'incidence du laser
- La réflectance de l'objet (**albédo**)
- L'atténuation du signal dans l'atmosphère.

2/ Classification des scanners :

Il existe trois familles de scanner laser terrestre :

- **Les scanners à impulsions**
- **les scanners à mesure de différence de phase**
- **les scanners hybrides**

Nous aborderons dans cette présentation certains de ces appareils.

- Les scanners laser à impulsion (pulse method):

Ces instruments, aussi nommés « **à temps de vol** », déterminent la distance scanner-objet par mesure du temps entre **l'impulsion émise et l'impulsion reçue**.



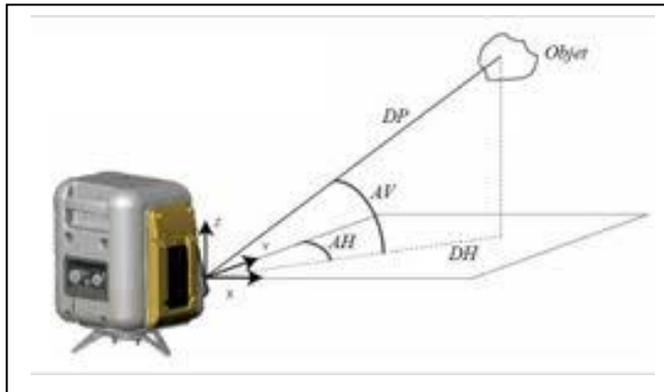
RIEGL VZ 6000



LEICA C10



TRIMBLE TX8



La distance $DP = D$ sera alors déterminée comme suit :

$$2D = v.t$$

Avec :

v : vitesse de la lumière

t : temps de parcours

Ce type d'instrument n'est en mesure d'émettre une autre impulsion qu'après réception de la précédente ce qui va être un inconvénient quant à la rapidité d'acquisition des données (cf tableau comparatif final).

Le laser scanner à impulsion est adapté aux mesures à longues portées, cette dernière sera fonction de l'empreinte laser et de la puissance du signal retour (f (puissance de l'émission, réflectivité de l'objet et éloignement de ce dernier)).

- Les lasers scanners à différence de phase (phase shift method) :

Ici la distance scanner-objet est déterminée en comparant les phases des ondes émises par le scanner vers l'objet et les phases des ondes retour à l'aide d'un phasemètre numérique.



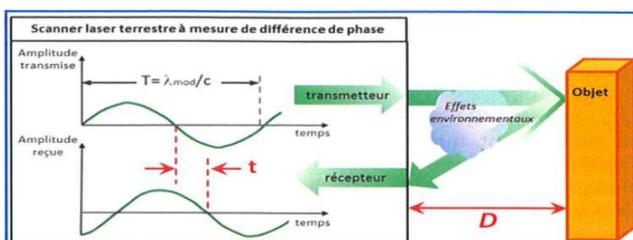
TRIMBLE TX5



FARO Focus X130

Cette méthode est similaire à la détermination de distance du tachéomètre et reste adaptée à l'étude d'objet peu éloigné.

Le principe de détermination de la distance est le suivant :



$$t = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{1}{f_{mod}} + N \cdot \frac{1}{f_{mod}}$$

Où $\Delta\varphi$: différence de phase entre onde émise et onde reçue

f_{mod} : fréquence de modulation du signal

t : intervalle de temps mesuré

N : nombre de périodes complètes formées sur la trajectoire du faisceau, entre l'émission et la réception.

La détermination de N permettra le calcul de la distance scanner-objet.

Documentation complémentaire [XYZ T.LANDES](#) et [P.GRUSSENMEYER](#)

- **Les lasers hybrides** : ces deux scanners utilisent la technologie WFD qui mélange les deux précédentes.



[LEICA P40](#)



[LEICA BLK360](#)

Ce type de technologie semble prendre le pas sur les nouveaux modèles de scanners car elle allie les avantages de rapidité d'acquisition et précision des mesures.

3/ Caractéristiques techniques :

Les fiches techniques décrivent de façons différentes les divers scanners, la question est comment apprécier la qualité des mesures de ces divers instruments. Il convient donc d'analyser les paramètres suivants :

- **Précision en distance** : l'évaluation de cette précision est différente en fonction du type de scanner utilisé, elle peut être décrite comme suit :

Scanner à impulsion

$$\sigma_D \approx \frac{v \cdot t}{2 \cdot \sqrt{S/B}}$$

Où : v : vitesse de la lumière
t : temps de parcours de l'onde
S/B : rapport signal sur bruit

Scanner à différence de phase

$$\sigma_D \approx \frac{\lambda_{mod}}{4\pi \cdot \sqrt{S/B}}$$

Où : λ_{mod} : longueur d'onde de modulation
S/B : rapport signal sur bruit

Ces deux formules sont fonction de la notion S/B (Signal sur Bruit) qui caractérise la perte de qualité du message.

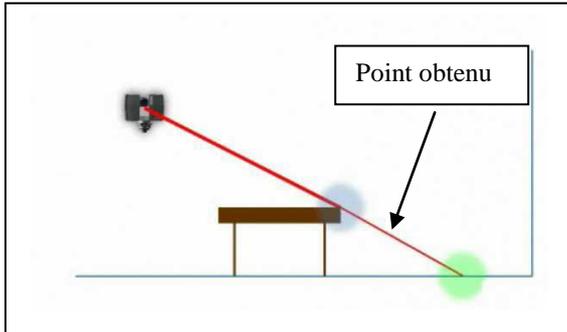
Il est possible de la quantifier en effectuant une calibration des mesures : pour cela il convient de positionner une cible plane perpendiculairement à l'axe de la mesure. La dispersion des points autour du plan moyen (épaisseur du nuage) caractérise alors l'écart-type en distance.

Conseils : éviter pluie et humidité excessive, les vibrations, le vent. Pour les surfaces brillantes ou foncée se rapprocher et augmenter la qualité et la résolution.

- **Précision angulaire** : il est là aussi nécessaire d'étalonner le scanner en, par exemple, vérifiant des distances entre cibles préalablement mesurées en topographie classique.

- **L'empreinte laser (spot)** : donne l'impact de l'impulsion sur l'objet qui est fonction de l'angle de divergence du rayon. Nous parlerons de disque d'impact en fonction de l'angle d'incidence rayon-objet.

Conseils : Attention à l'« **effet de pont** »



Le laser est très mince, mais dans certains cas il « tape » à la fois sur la table et le sol, le point obtenu se trouve à mi-distance.

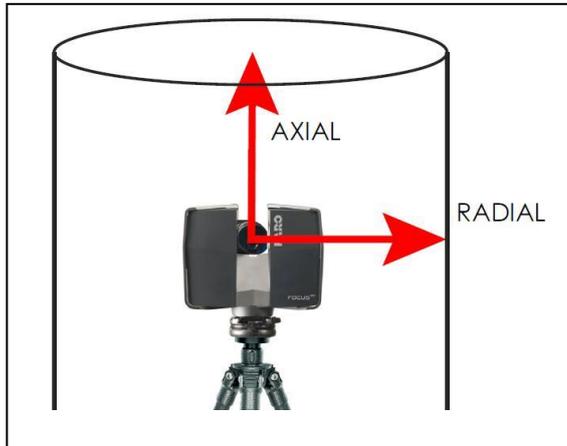
- **Classification des scanners** : la lumière scanner est monochromatique, directionnelle et cohérente et est susceptible de dégrader les tissus humains (yeux et peau). Depuis 2002 la classification est la suivante : **1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B et 4** (augmentation en fonction de la dangerosité).

En général les scanners utilisés sont 3R « sans danger si utilisé avec soin », nous verrons que les scanners précisent une zone de danger tout de même.

Une analyse comparant les niveaux d'exposition des yeux qui peuvent être produits par le FARO Laser Scanner Focus3D avec des seuils de blessure pour la rétine afin d'évaluer le risque de lésion oculaire en cas d'exposition arrive à la conclusion que

« l'exposition des yeux dans des conditions normales, de même que dans de pires conditions raisonnablement prévisibles, ne provoque normalement pas de lésion oculaire ».

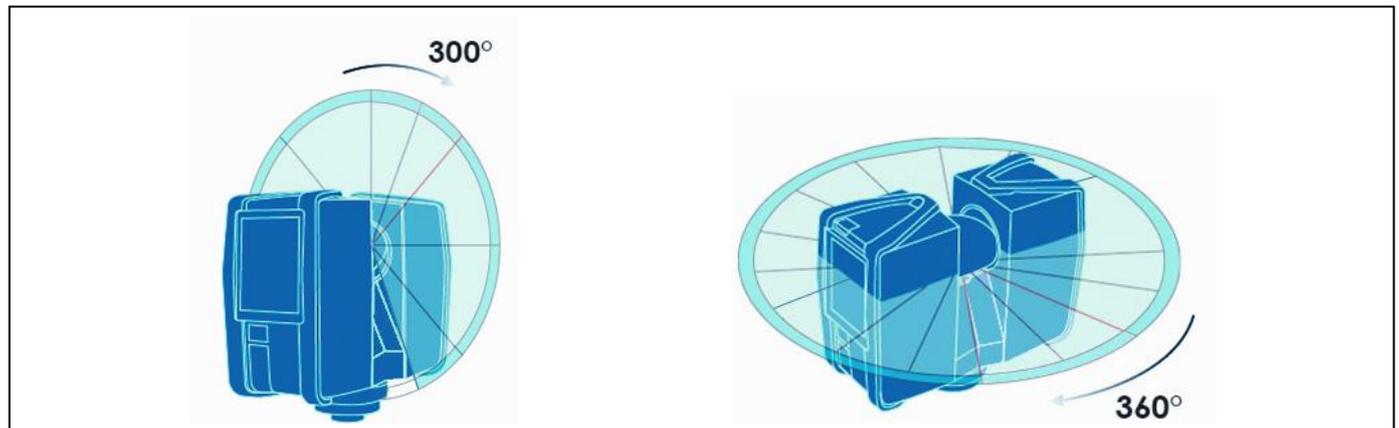
D'un point de vue biophysique, le FARO Laser Scanner Focus3D peut ainsi être considéré sans danger pour les yeux et il ne devrait pas nécessaire de porter des protections oculaires. Un résumé de cette analyse faite par Seibersdorf Laboratoires se trouve dans ce manuel dans l'AnnexeG : « *ExpertOpinion - Assessment of the Risk for Ocular Injury* ». Cependant, en fonction de la réglementation nationale ou de la législation relative à la sécurité sur le lieu de travail, il pourra être nécessaire de porter des protections oculaires et de respecter d'autres mesures de sécurité lorsque les limites d'exposition définies sont dépassées et en cas d'éventuelle exposition. Pour permettre à l'utilisateur d'identifier la zone de risque laser (zone oculaire critique nominale - ZOCN) autour du scanner dans laquelle les limites d'exposition définies sont dépassées, le logiciel d'exploitation du Focus3D indique la distance de sécurité correcte pour les yeux (distance oculaire critique nominale - DOCN). Nous faisons une différence entre la DOCN axiale et radiale. La ZOCN résultante qui entoure le scanner peut ainsi être décrite comme un cylindre autour de l'axe de rotation Z du scanner, où la DOCN radiale est équivalente au rayon du cylindre et la DOCN axiale, à la ligne médiane provenant du centre du miroir du scanner.



Page 12 Manuel FARO focus 3D

Résolution		Qualité	Taux de répétition [Hz]	Durée de pulsation [μs]	DOCN [m]	
Points, mio. (zone de scanning complète)					axiale	radiale
710,7	1/1	1x	24	13.081	7.50	3.60
710,7	1/1	2x	12	15.026	12.50	6.30
710,7	1/1	3x	6	17.268	20.30	10.90
710,7	1/1	4x	3	23.155	29.40	16.20
177,7	1/2	1x	48	13.081	4.50	1.80
177,7	1/2	2x	24	15.026	7.50	3.20
177,7	1/2	3x	12	17.260	12.50	5.50
177,7	1/2	4x	6	22.689	20.30	8.30
177,7	1/2	6x	3	23.155	29.40	16.20

- **Champ de vision :** il est différent en fonction du scanner utilisé, pour le FARO focus 3D ou TX5 voir ci-dessous :



- **Comparatifs différents scanners:**

XYZ T.LANDES et P.GRUSSENMEYER

	Scanner laser à impulsions	Scanner laser à différence de phase
Résolution angulaire, plan H et V (degrés)	0.0002° à 0.25° (soit une résolution spatiale théorique entre 0.2 mm et 200 mm, à 50 m)	0.00067° à 0.02° (soit une résolution spatiale théorique entre 0.6 mm et 20 mm, à 50 m)
Exactitude* de mesure angulaire (scan angle accuracy) H/V (degrés) à 1 σ	0.001° à 0.04°	0.002° à 0.03°
Exactitude* de mesure de D à 1 σ (range accuracy) à 50 m de portée	Entre 3 et 20 mm	Entre 3 et 7 mm
Taille de l'empreinte laser à 50 m de portée	Entre 6 et 70 mm	Entre 8 et 50 mm
Portée mini / maxi	2 m** / 2000 m	0.3 m / 100 m
Cadence de mesure (kHz) (nbre de points / seconde)	2 à 50 kHz (soit 2000 à 50 000 pts / sec.)	20 à 1000 kHz (soit 20000 à 1 000 000 pts / sec.)
Sécurité	1 à 3R	1 à 3R
Champ de vision	Panoramique + hybride	Panoramique
Utilisation	travaux topographiques, relevés en extérieur	Relevés en intérieur, chantiers à courte portée

*On traduira "accuracy" par "exactitude" en attendant que les feuilles de spécifications techniques emploient rigoureusement les mêmes critères statistiques de qualité de mesures.

**Certains systèmes impulsions peuvent descendre à 0.1m de portée.

Rq : tous ces appareils sont en constante évolution (classification du rayon, portée, rapidité d'acquisition...), il faudra veiller à suivre ce progrès.

Compte tenu du matériel à notre disposition au lycée nous étudierons plus avant le FARO Focus 3D, en voici une présentation succincte :



- **Compact et léger** : 240mm x 200mm x 100mm - Poids 5.0kg
- **Capteur Photo couleur intégrée**: 87 photos/scan
- **Rapidité de saisie** : 960000 pts/sec
- **Écran tactile intuitif**
- **Batterie haute performance**
- **Capteurs intégrés**: inclinomètre, boussole, altimètre
- **WLAN (WiFi)** : travail à distance et communication

4/ Sources d'erreurs :

Elles sont comparables à celles de la topographie classique : instrumentales (étalonnage), environnementales (température, pression, humidité...), méthodologiques (choix de l'utilisateur). En outre il faudra prendre en compte dans ce type de levé les caractéristiques liées à l'objet numérisé :

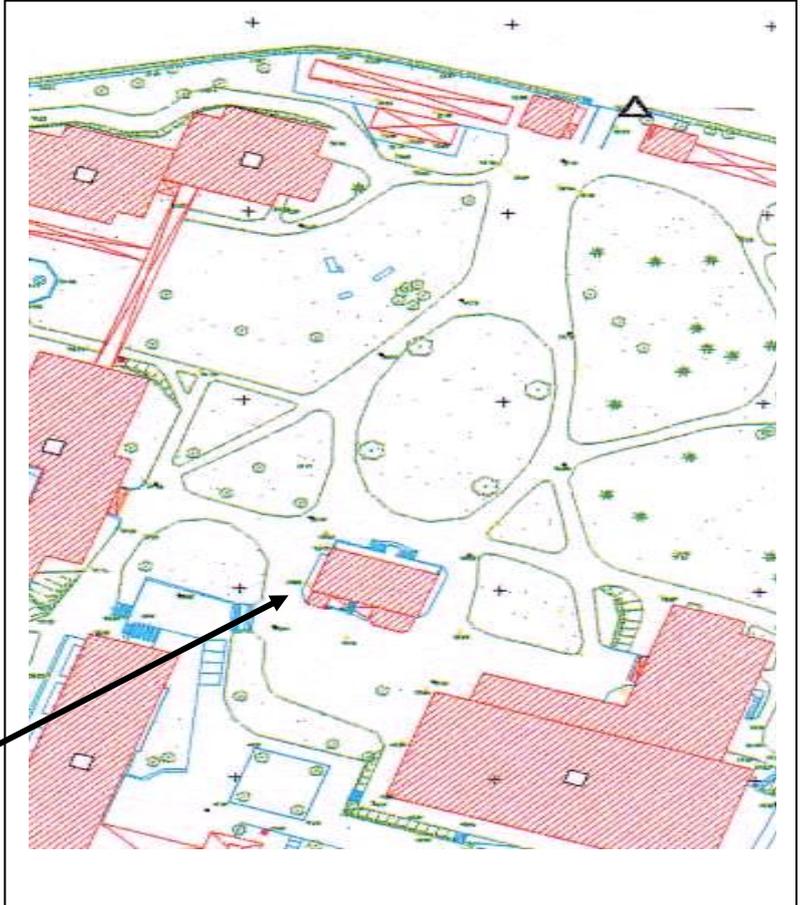
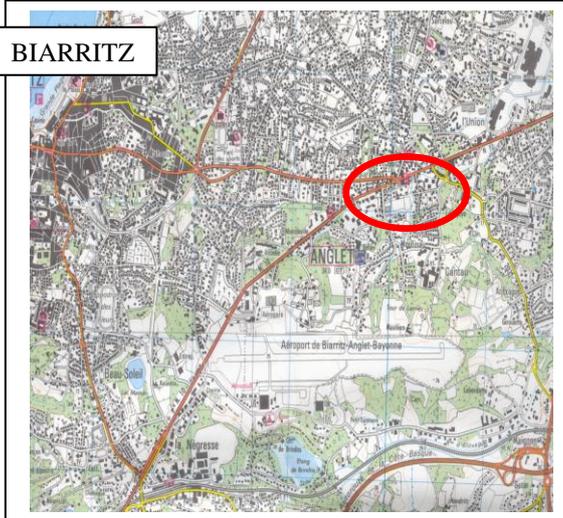
- sa réflectance due au matériau,
- sa couleur de surface,
- l'angle d'incidence de l'impulsion,
- la rugosité de surface,
- la température et l'humidité de surface.

Tous ces éléments évoqués nous pouvons désormais passer à une étude de cas réalisée sur le château du lycée CANTAU à l'aide d'un FARO Focus 3D.

A/ INTRODUCTION

Ce tutoriel va vous permettre d'aborder la numérisation 3D par scanner laser focus 130 de Faro. Vous suivrez une acquisition des données, son traitement dans le logiciel SCENE et vous pourrez mettre tout ceci en application avec votre jeu de données sur le même château du lycée Cantau d'Anglet

1/ Présentation du chantier :



2/ Présentation du FARO Focus 3D :



1/ Bouton de mise sous tension : ce bouton permet d'allumer le Focus3D. Si le Focus3D est allumé et en fonctionnement, appuyez sur ce bouton pour éteindre le Focus3D. Si vous appuyez sur le bouton en le maintenant plus de 4 secondes, vous éteindrez le Focus3D sans l'arrêter. N'utilisez cette option que dans des cas exceptionnels, par exemple si le mécanisme d'arrêt ne fonctionne pas ou si le Focus3D ne répond pas.



2/ Bouton DÉMARRER / ARRÊTER : ce bouton permet de démarrer ou d'arrêter l'enregistrement d'un scanning.

3/ Voyant en dessous du bouton DÉMARRER / ARRÊTER

4/ Écran tactile

5/ Voyant situé sur le côté miroir du scanner

6/ Cache du logement de la carte mémoire SD : ouvrez le cache pour introduire une carte dans le logement ou la retirer.



9/ Couvercle de la batterie
10/ Compartiment de la batterie
11/ Dispositif de fixation de la batterie : pousser le dispositif de fixation pour retirer la batterie.
12/ Voyant côté capteur



13/ Miroir du scanner : pour les instructions de sécurité et de nettoyage voir « Sécurité mécanique » à la page 16 et « Instructions de nettoyage des éléments optiques » à la page 18.
14/ Cadre de montage du scanner : voir Figure 4-5 pour plus d'informations.
15/ Connecteur
16/ Voyant du cadre de montage

Niveau de chargement	Comportement du voyant
0 – 25 %	Le voyant 2 est bleu et il clignote, les autres sont éteints
25 – 50 %	Le voyant 2 est bleu, le voyant 3 est bleu et clignote, les voyants 4 et 5 sont éteints
50 – 75 %	Les voyants 2 et 3 sont bleus le voyant 4 est bleu et clignote, le voyant 5 est éteint
75 – 99 %	Les voyants 2 et 4 sont bleus, le voyant 5 est bleu et clignote
Chargement terminé	Les voyants 2 à 5 sont bleus

Comportement des voyants en cas d'erreurs :

Erreur	Comportement du voyant
Température trop basse	Le voyant 2 est rouge et clignote
Température trop élevée	Le voyant 5 est rouge et clignote
Batterie défectueuse	Les voyants 2 à 5 sont rouges et clignent
L'alimentation est en situation de sous-tension ou de surtension	Le voyant 1 est rouge et clignote

3/ Présentation rapide du paramétrage du FARO Focus 3D :

Nous allons balayer les paramétrages essentiels de ce scanner, si vous ne trouvez pas réponse à vos questions il faudra se référer au [manuel constructeur du FARO Focus 3D](#).



Toutes les fonctions du Focus3D sont accessibles par simple effleurement de l'écran tactile avec vos doigts.

1/ **Bouton Démarrer le scanning** : démarre un scanning. Voir « Démarrer un scanning » à la page 56.

2/ **Bouton Paramètres** : ouvre la boîte de dialogue pour pouvoir sélectionner un autre profil de scanning et pour modifier les paramètres de scanning actuels.

3/ **Bouton Afficher les scanings** : affiche un aperçu des scanings enregistrés sur la carte SD. Voir « Afficher les scanings » à la page 99.

4/ **Bouton Gestion** : gérer les profils de scanning, les projets, les opérateurs et le scanner.

- Paramètres :



Profil sélectionné : affiche le nom du profil de scanning sélectionné.

Cliquez pour sélectionner un profil de scanning. Si les paramètres de scanning diffèrent du profil sélectionné, l'adjectif, modifié apparaît à côté de son nom. Si vous sélectionnez un profil de scanning, les paramètres de scanning sont remplacés par les paramètres du profil sélectionné.

Résolution et qualité : affiche la résolution sélectionnée en méga-points et le niveau de qualité sélectionné. Cliquez sur ce bouton pour modifier ces valeurs.

Portée de scanning horizontal et vertical : affiche la portée du scanning en degrés avec des angles délimitant la zone de scanning à l'horizontale et à la verticale. Cliquez pour les régler.

Sélectionner les capteurs : ouvre l'écran pour activer ou désactiver l'utilisation automatique des données des capteurs intégrés pour l'enregistrement du scanning dans SCENE.

ATTENTION : Les capteurs disponibles varient en fonction du modèle de scanner.

Scanning couleur : active ou désactive l'enregistrement du scanning. 1'30" de couleur par scan. il sera nécessaire de scanner parfois en N et B pour une question albédo.

Paramètres avancés : activent ou désactivent les filtres Clear contour et Clear Sky.

Distance de sécurité oculaire : les distances de sécurité oculaire axiale et radiale (DOCN).

Taille du scanning [Pt] : indique la taille du scanning en points horizontaux x points verticaux. La taille verticale ne peut être changée qu'en définissant une nouvelle résolution ou en en modifiant l'angle de la zone de scanning.

Durée du scanning, Taille du fichier de scanning : durée de scanning et taille en Mo attendues, en fonction de la résolution, la valeur de la qualité et la portée de scanning sélectionnées. Notez que les valeurs affichées ici sont des valeurs approximatives.



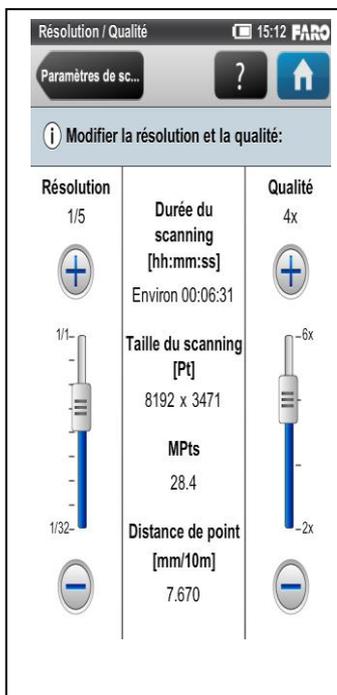
* Profils de scan :



Avant de capturer un scanning, vous pouvez sélectionner le profil de scanning adapté au besoin de la scène et à la qualité de scanning désirée.

Cet écran affiche une liste de tous les profils de scanning disponibles. Cette liste contient des profils prédéfinis qui sont en lecture seule et des profils personnalisés qui peuvent être créés et manipulés sous **Gestion des > profils**. Pour de plus amples informations, voir « Création d'un profil de scanning » à la page 74 du [manuel](#).

Il faudra bien prendre en compte ce profil dans le positionnement futur des cibles et ce afin que la reconnaissance géométrique des cibles soit possible (au moins 60 points levés sur chaque cible)



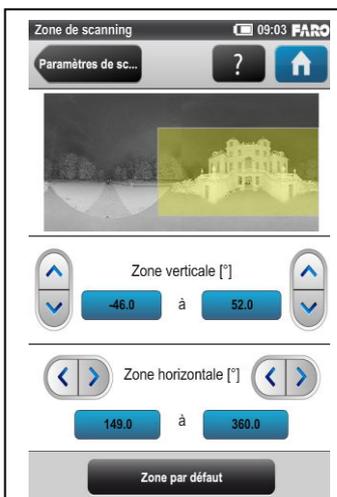
Résolution : la résolution du scanning résultante. Vous pouvez choisir parmi 1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 et 1/32. Utilisez la barre déroulante à gauche pour modifier la résolution du prochain scanning.

Qualité (puissance et repasse sur les points): affecte la qualité et le temps requis pour le scanning à des résolutions de scanning constantes. Il permet à l'utilisateur d'utiliser une simple barre de défilement pour jouer avec la qualité et la vitesse de scanning. Déplacer la barre de défilement vers le haut réduit le bruit dans les données de scanning. La qualité du scanning s'en trouve améliorée et le temps de numérisation est plus long. Déplacer la barre de défilement vers le bas réduit le temps de numérisation et augmente l'efficacité de votre projet de scanning. La barre de défilement Qualité définit les niveaux de qualité par le biais de différents taux de mesure ou en appliquant de la compression de bruit supplémentaire. Pour plus de détails sur les divers paramètres de qualité.

La **durée du scanning**, les points de scanning verticaux et horizontaux (**Taille du scanning [Pt]**), ainsi que la taille du scanning en méga-points (**MPts**) résultants sont affichés au milieu de l'écran. Le **Distance de point [mm/10 m] / [po/30 pi]** est la distance en mm entre les points du scanning capturés à une distance de scanning de 10 mètres (30 pieds).

Qualité maximale *4: 4 passage sur le même point et moyenne

* Définition de la portée de scanning:



Pour visualiser l'objet il faut réaliser tout d'abord un premier scan rapide.

Zone verticale : taille de la zone verticale en degrés. L'angle marquant le début de la zone verticale peut être modifié à l'aide des boutons de gauche. Les angles marquant la fin de la zone verticale peuvent être réglés avec les boutons de droite.

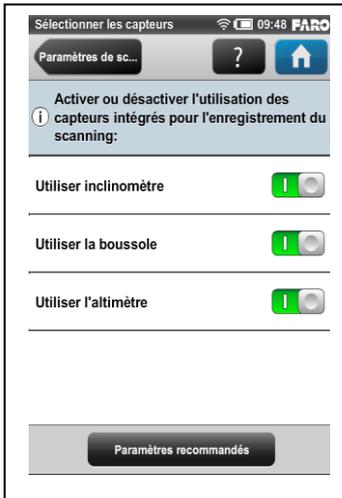
Zone horizontale : taille de la zone horizontale en degrés. L'angle marquant le début de la zone horizontale peut être modifié à l'aide des boutons de gauche. Les angles marquant la fin de la zone horizontale peuvent être réglés avec les boutons de droite.

Bouton Zone par défaut : cliquez sur ce bouton pour rétablir les valeurs à la zone de scanning par défaut (verticale -60° à 90° et horizontal de 0° à 360°). Le rectangle de cet écran représente la zone de scanning complète. S'il y a des scannings sur la carte SD insérée, l'image du dernier scanning enregistré s'affiche. Si aucune image de scanning n'est disponible, une grille s'affiche, dans laquelle l'espace entre les lignes horizontales et verticales est équivalente à 30°.

Le rectangle jaune illustre la zone de scanning sélectionnée.



*** Sélection des capteurs:**



Utiliser inclinomètre : activer ou désactiver l'utilisation automatique de la mesure de l'inclinaison du compensateur à deux axes intégré (inclinomètre) pour l'enregistrement de scanning dans SCENE. Cependant, quel que soient vos paramètres, les données de ce capteur sont toujours mesurées et associées à chaque scanning. Si l'utilisation des données de l'inclinomètre est activée, elles seront automatiquement utilisées pour enregistrer les scannings dans SCENE ; si elle est désactivée, les données seront ignorées. Il est toujours possible de modifier ce comportement plus tard dans SCENE. Consultez le manuel SCENE pour plus d'informations sur ce sujet. **ATTENTION** : pour obtenir les données du compensateur à deux axes les plus fiables, assurez-vous que l'inclinaison du scanner est inférieure à 5°.

Utiliser la boussole : activer ou désactiver l'utilisation automatique des données de la boussole intégrée pour l'enregistrement de scanning dans SCENE. Tout comme avec l'inclinomètre, les données de la boussole sont toujours mesurées et associées à chaque scanning lors du scanning et seront automatiquement utilisées pour l'enregistrement de scanning, si ce bouton est activé.

Utiliser l'altimètre : activer ou désactiver l'utilisation automatique des données de l'altimètre pour l'enregistrement de scanning dans SCENE. Tout comme avec l'inclinomètre, les données de l'altimètre sont toujours mesurées et associées à chaque scanning lors du scanning et seront automatiquement utilisées pour l'enregistrement de scanning, si ce bouton est activé. Vous pouvez également entrer une hauteur de référence avant de commencer votre projet de scanning. Cette hauteur de référence servira ensuite de base pour toutes les mesures prises

Utilité lorsque le levé se déroule sur plusieurs étages!!

ATTENTION : Les capteurs disponibles varient en fonction du modèle de scanner.

*** Paramètres avancés:**



Clear Contour : active le filtre de contour dynamique. Pendant le scanning, ce filtre matériel retirera les mesures incorrectes sur les bords des objets. Il retirera les points de scanning résultant des reflets sur deux objets avec le point du laser, ce qui se produit principalement sur les bords des objets.

Rappel sur l'"effet de pont".

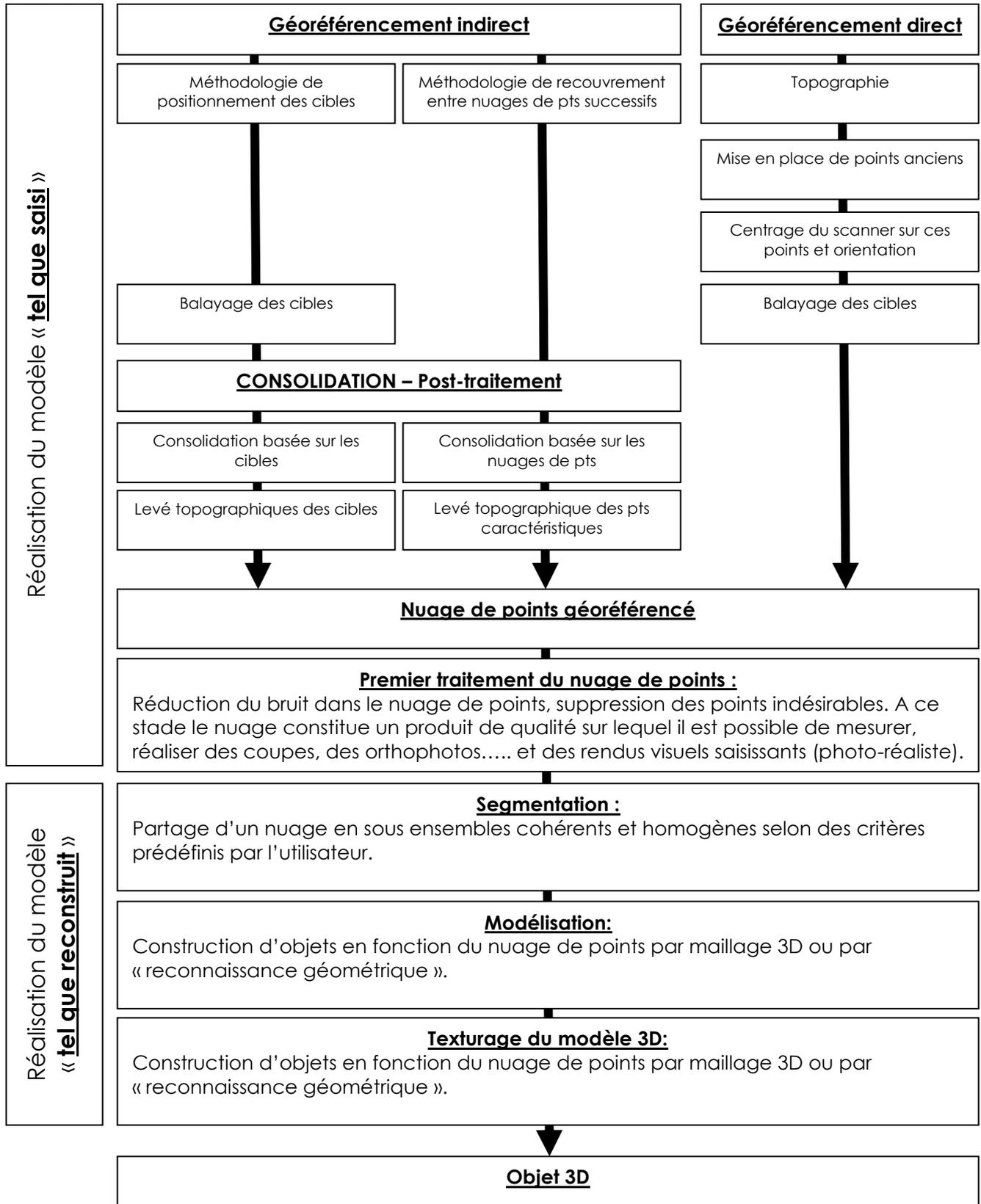
Clear Sky : active le filtre de ciel dynamique. Pendant le scanning, ce filtre matériel retirera les points de scanning résultant d'une absence de reflet sur des objets, ce qui se produit principalement en scannant le ciel.

Bouton Paramètres recommandés : active les deux filtres.



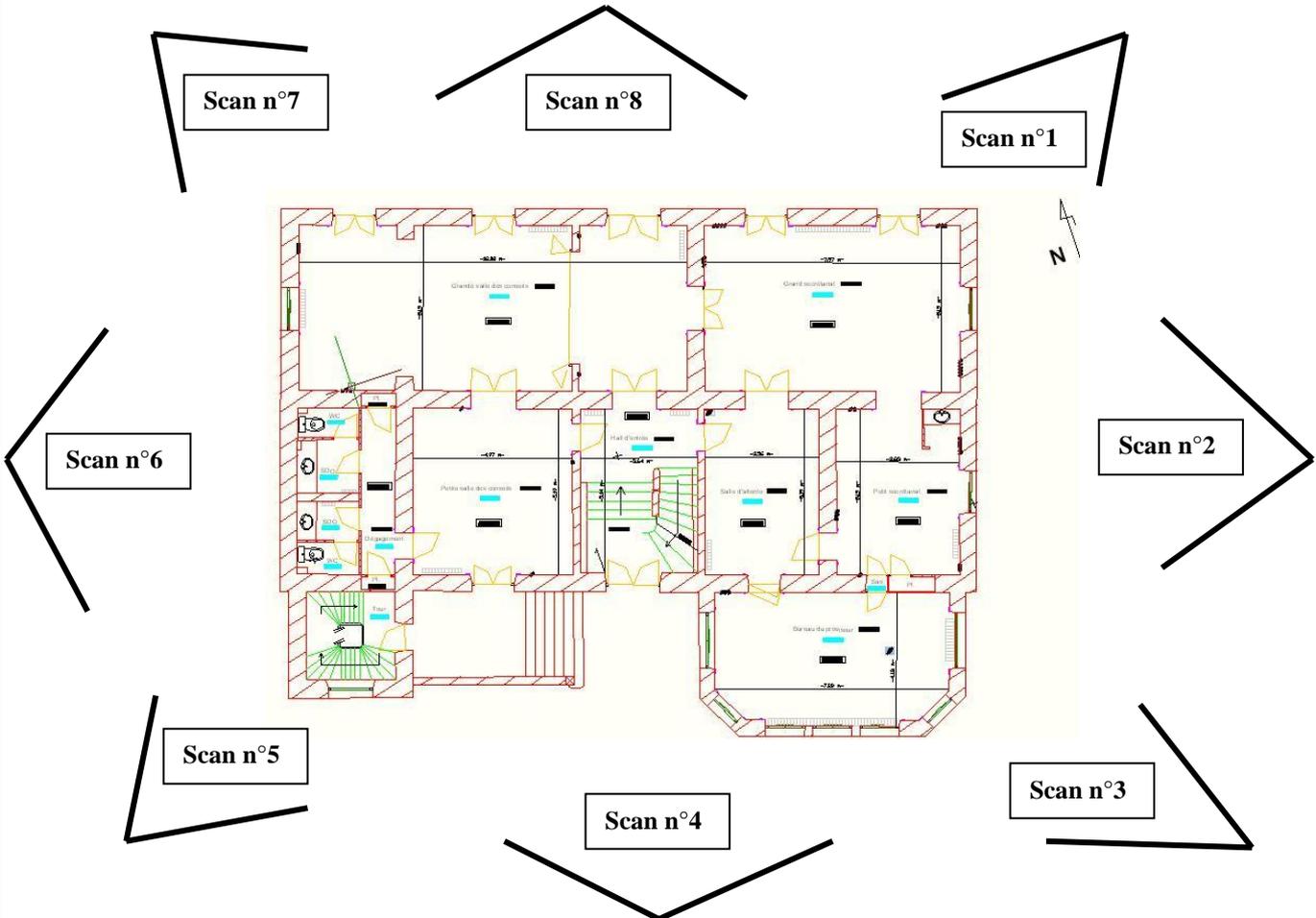
4/ Saisie des données :

Maintenant que nous connaissons le FARO Focus 3D, il va falloir appréhender la méthodologie à mettre en place afin de réaliser la saisie des données adéquates. Quelque soit l'objet à scanner l'organigramme suivant symbolise les différentes phases essentielles.



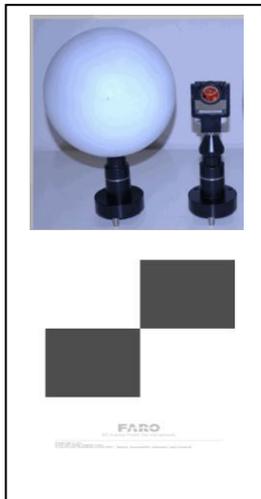
Pour scanner un objet il faudra réaliser plusieurs séries de mesures afin de pouvoir mesurer l'objet dans sa globalité (la façon future d'assembler engendrera une façon différente de scanner l'objet). Une fois ces différents scans accomplis il faut les assembler : cet assemblage est **la consolidation**.

- 4.1/ Consolidation basée sur cibles et damiers : exemple du château



Pour le château nous avons donc réalisé 8 scans différents, qu'il va falloir assembler par le biais de cibles qui seront utilisées comme des « **points doubles** ».

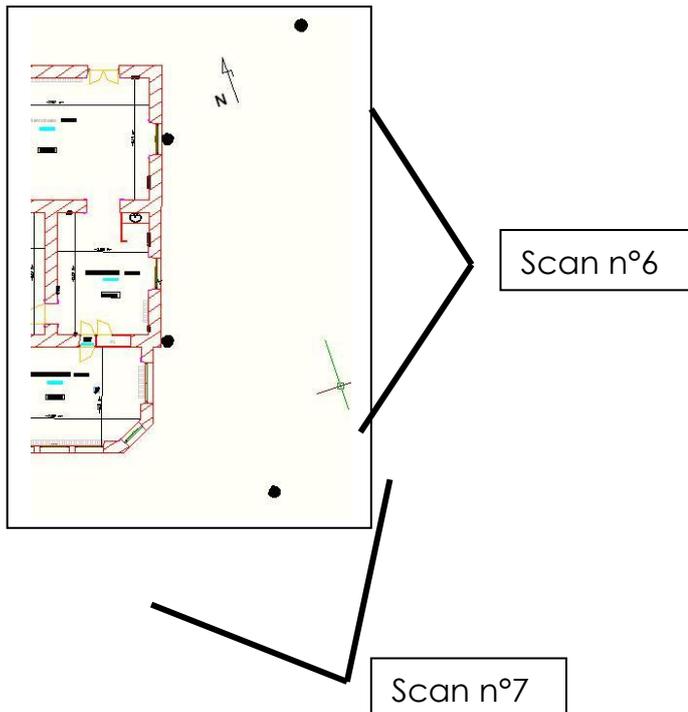
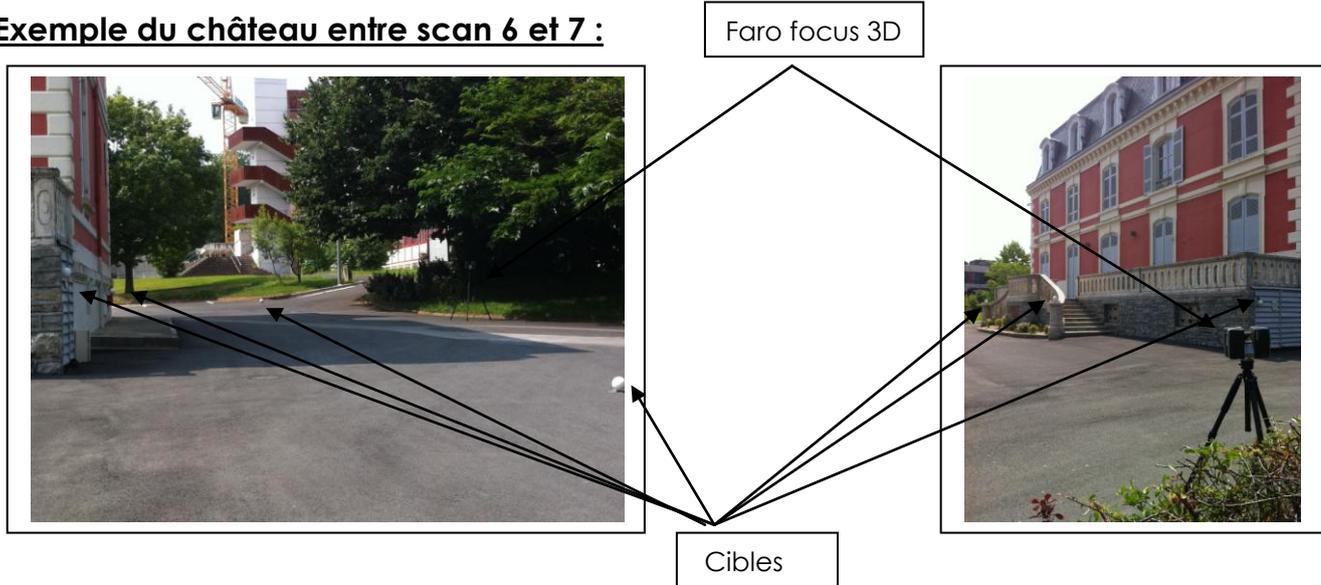
Types de cibles et conseils:



- Au moins 3 sphères/damiers par scans, pour recouvrement de scans successifs
- Etre sûr de voir la cible d'au moins un autre scan sinon elle ne sert à rien,
- Avoir une bonne résolution sur les sphères (60 points) et damier (4 points par cadrans),
- Si les sphères /damiers sont loin, augmenter la résolution ou augmenter la taille des cibles,
- Utiliser la boussole, l'inclinomètre et l'altimètre du scanner.
- Régler le bon rayon de sphère dans les options de SCENE.
- Ne pas placer les sphères ou damiers de façon régulière (le calage est basé sur la distance entre objets!)

- Eviter de mettre les références sur des surfaces réfléchissantes
- Pour que les damiers soient reconnus automatiquement, il faut un angle d'incidence supérieur à 45°
- Ne pas mettre le damier sur une surface curviligne
- Imprimer les damiers sur une imprimante laser

Exemple du château entre scan 6 et 7 :



Entre ces deux scans successifs, il y aura **4 cibles communes** qui serviront dans la phase de consolidation de l'ensemble. Cette méthodologie est employée à l'avancement entre les 8 scans. Certaines de ces cibles sont placées sur des points anciens qui eux permettront le géoréférencement futur.



Que ce soit une cible ou un damier le logiciel de traitement numérique (SCENE pour le FARO) va identifier le centre de chacun d'entre eux : ce centre sera un des points de correspondance de la consolidation. Il faudra au paravant les identifier comme tel. Cette identification s'effectuera à + ou - 2 mm à 50 m environ (en fonction des données constructeur). Quelques constructeurs précisent que dans certaines conditions uniquement deux cibles suffisent pour la consolidation, nous veillerons pour la redondance des contrôles à en utiliser au moins trois (mélange cibles et damiers, positions différentes...)

- 4.2/ Consolidation basée sur les nuages de points :

Ce principe, que nous utiliserons dans un second temps, consiste à trouver automatiquement un certain nombre de points « homologues » dans les différents nuages de points issus des divers scans relatifs à l'objet. Ce type de consolidation ne fonctionne que si les zones de recouvrement entre nuages sont importantes, qu'il n'y ait pas de mouvement, que la densité de points soit certaine.

Il existe différentes méthodes de recherche des point « homologues » comme [l'Iterative Closest Point](#) et la [méthode de recherche d'itéité géométrique](#).

Nous parlerons ici rapidement du principe de l'ICP car elle est la plus fréquemment utilisée par les logiciels de traitement de consolidation de nuages de points. Le principe est de minimiser la distance entre deux nuages (dont un fixe à déterminer) par itérations successives (méthode des moindres carrés).

Les progrès des logiciels de traitement de la donnée de scanner amènent les utilisateurs dans certaines configurations à assembler les nuages de points par cette méthode en ne se servant des cibles/ sphères ou damiers que pour le géoréférencement.

Pour que cette méthode soit efficace il faut veiller à un recouvrement entre scan très important, **il faut donc multiplier les positions de scan** mais le traitement sera plus aisé. Il faudra de même que le milieu numérisé soit adapté avec des formes géométriques certaines et reconnaissables entre positions.

En résumé en intérieur le « nuage à nuage » sera bien adapté mais attention pour l'extérieur, il faudra peut être jumeler les deux méthodes « basé sur cible » et « nuage à nuage ».

Rq :Certains utilisateurs de scanners n'utilisent que la méthode basée sur les cibles et damiers. Il semble néanmoins qu'une combinaison des deux pourrait être la solution à privilégier (article XYZ) :

« une première consolidation effectuée à base de cibles puis affinée sur la base des nuages, en effet la première fournit les paramètres d'initialisation du calcul de l'ICP. Cette solution est conseillée dans le cas d'utilisation des scanners à différence de phase ».

5/ Géoréférencement du levé :

Il est possible de réaliser ce géoréférencement de façon directe ou indirecte.

- **5.1/Géoréférencement direct** : La façon directe consiste à centrer le scanner sur un point ancien ou de déterminer sa position avec certains systèmes tels que suit :



La question de la consolidation ne se pose plus alors car le scanner est centré et orienté sur des points d'appuis, le nuage de points obtenu est alors directement géoréférencé au moment de l'acquisition et ainsi desuite pour tous les scans. Cette méthode plus proche des méthodes conventionnelles aura une qualité inhérente au canevas de points d'appuis, cependant si la qualité de ce dernier est correcte le chevauchement important des nuages ne sera plus nécessaire (atout en termes de temps et de quantité de données pour le traitement).

- 5.2/ Géoréférencement indirect :

Cette méthode consiste à déterminer et injecter les coordonnées de certains points caractéristiques du levé une fois ce dernier terminé.

Dans la cas du chateau de cantau, le géoréférencement se fera de façon indirecte, nous injecterons les coordonnées CC43 de certains points sur les quels nous avons positionné des cibles. Il seront au nombre de quatre dans l'exemple (partie B), ce qui permettra des contrôles de qualité de notre levé.

En ce qui concerne votre jeu de données (partie C) vous aurez une vingtaine de damiers géoréférencés.

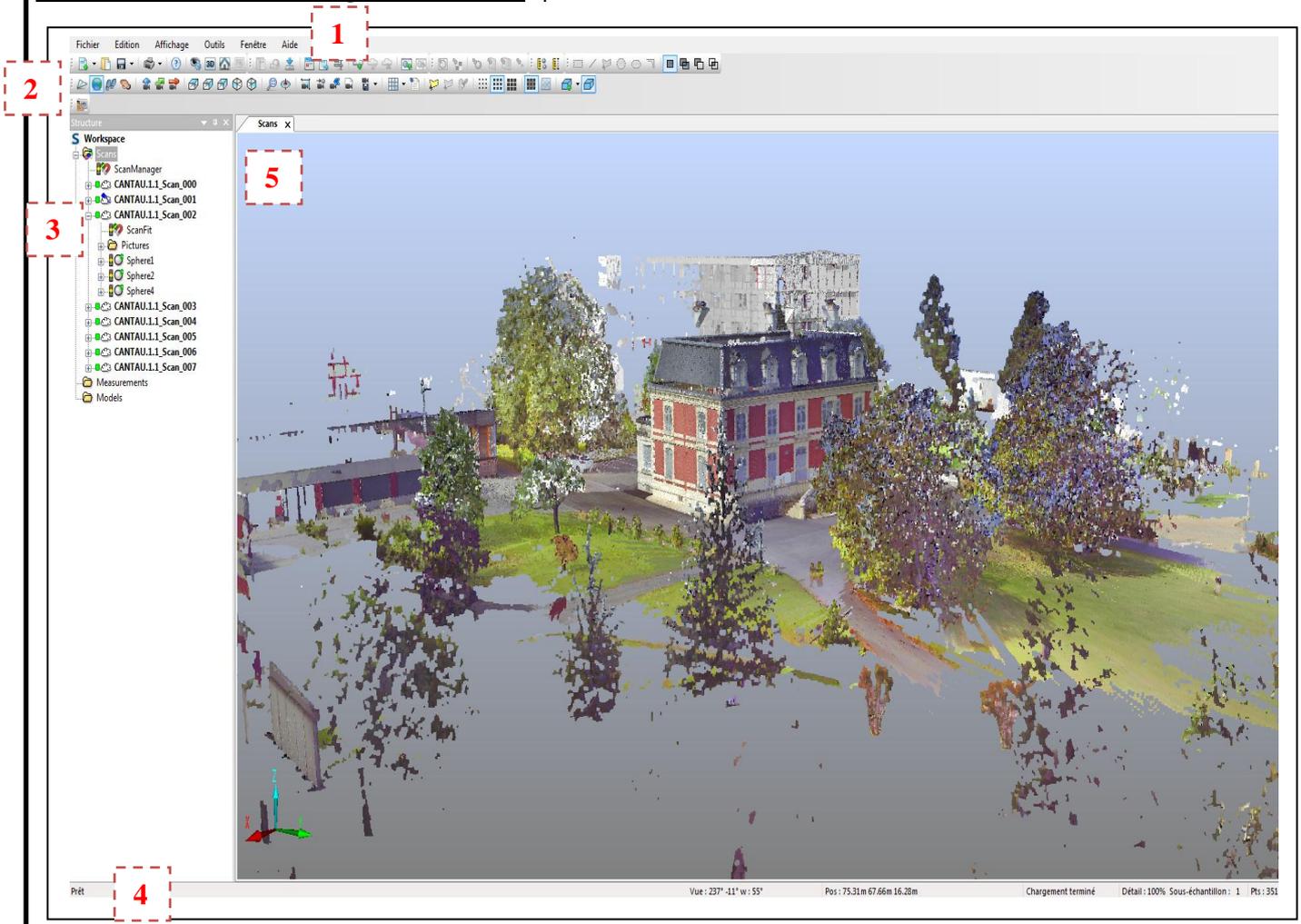
B/ PRISE EN MAIN DU LOGICIEL SCENE

La saisie des données terrain ayant été effectuée, il s'agit désormais de réaliser le traitement numérique et graphique de ce levé. Nous traiterons l'ensemble sous le logiciel SCENE qui est associé au scanner FARO focus 3D 130.



Nous allons réaliser pas à pas ce traitement sous le logiciel SCENE.

1/ Prise en main du logiciel SCENE: présentation de l'environnement

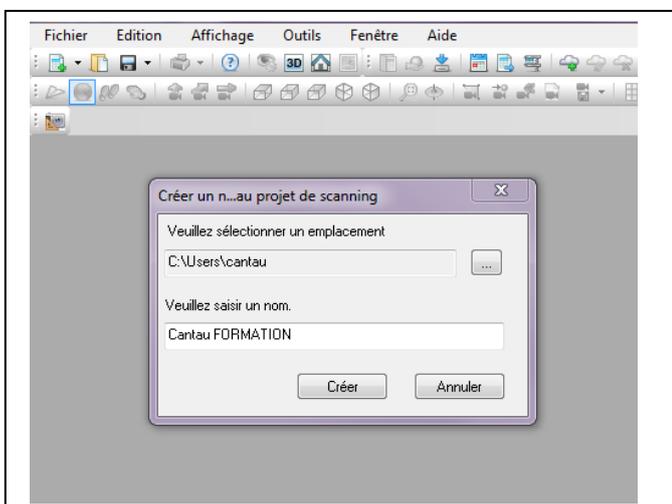


- 1 **Barre des menus** – contient tous les menus avec les commandes nécessaires au fonctionnement général.
- 2 **Barres d'outils** – permettent d'accéder rapidement et facilement avec la souris aux fonctionnalités communes aux menus.
- 3 **Vue structurelle** – affiche la structure de l'espace de travail, y compris tous les sous-dossiers et objets. La vue structurelle est déplacée sur le côté si vous n'en avez plus besoin. L'espace libéré sur l'écran permet à SCENE d'afficher davantage de données de scanning. Vous pouvez contrôler l'affichage ou le déplacement automatique de la vue structurelle grâce au bouton en forme d'épingle situé en haut à droite de la fenêtre de la vue structurelle.
- 4 **Barre d'état** – affiche des détails sur les données de points de scanning et les commandes, des astuces, ainsi que les réponses à la dernière commande exécutée.
- 5 **Vues du scanning et des objets** – la présentation visuelle des données de scanning et des autres objets. Les scanings et les objets peuvent être affichés dans une vue rapide, une vue planaire détaillée ou en 3D.
Les vues du scanning et des objets peuvent s'afficher
 - o sous forme d'onglets
 - o ou de fenêtre libres.Les fenêtres à onglets sont l'option d'affichage standard et permettent de naviguer entre plusieurs fenêtres en cliquant sur les onglets des fenêtres. Cette

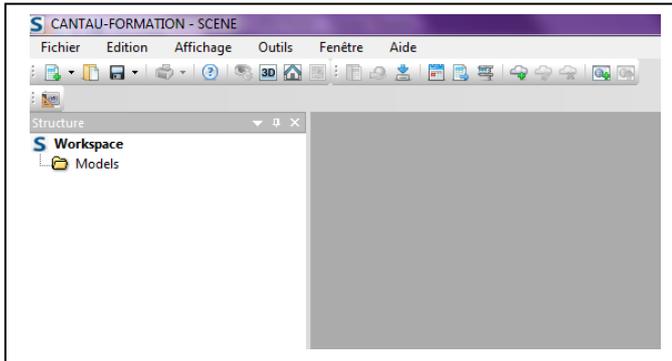
2/ Traitement numérique du levé (pas à pas):

Nous allons suivre les différentes phases importantes du traitement numérique, vous complétez les informations suite à votre pratique.

- 2.1/ Création du fichier:

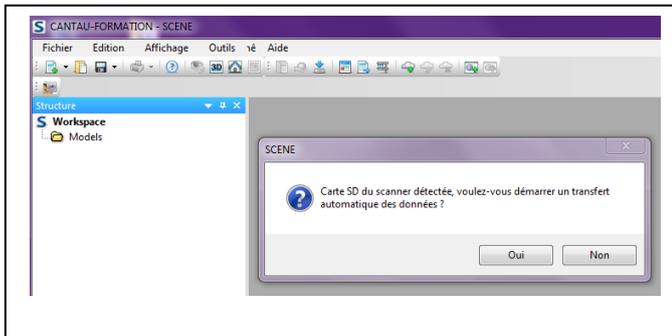


Dans la barre de menu fichier, choisir nouveau et créer votre fichier au nom désiré.

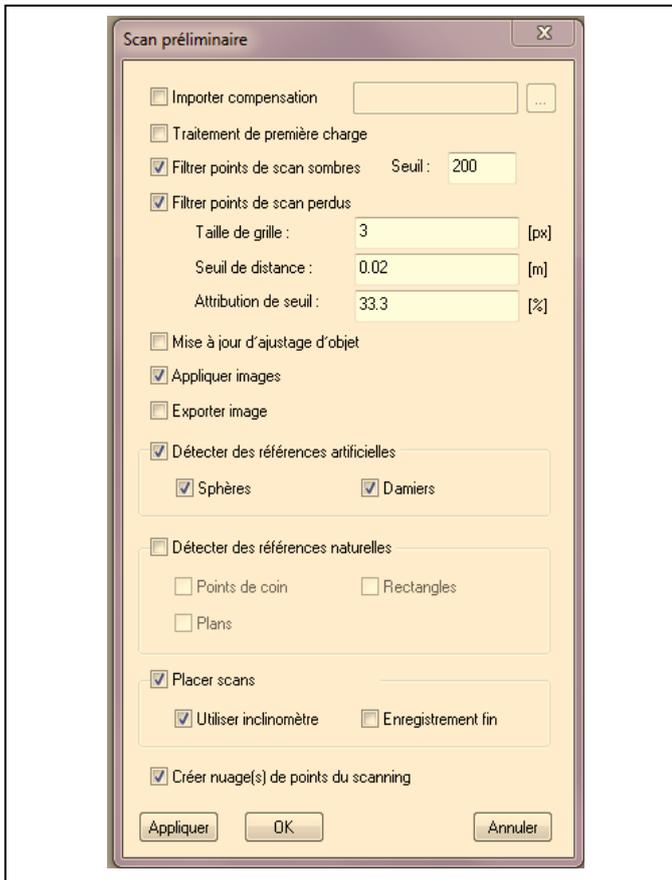


A ce stade votre fichier est crée, mais il est vide, il va falloir charger les scans réalisés sur le terrain. Ils sont contenus dans la carte SD du FARO Focus 3D.

- 2.2/ Récupération des données terrain: cette opération peut être réalisée de deux manières soit **automatiquement** lors de l'insertion de la carte SD, soit **manuellement** par le biais d'un glissé-collé (double fenêtrage SCENE et explorateur relatif au contenu de la carte SD).



La manière automatique est la plus utilisée lors du traitement.



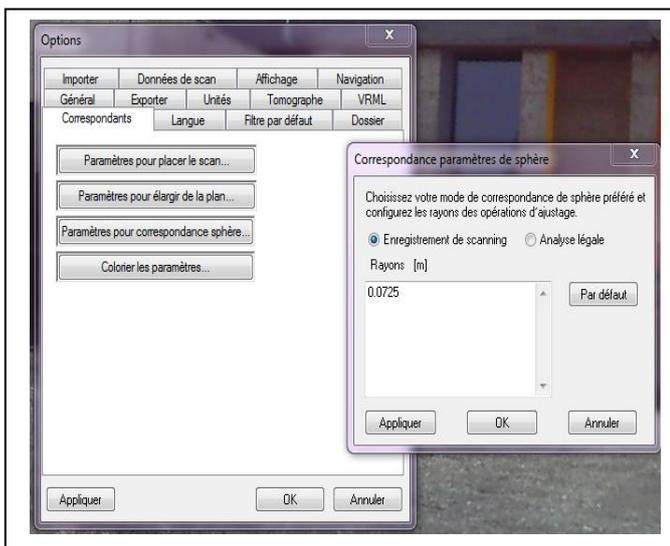
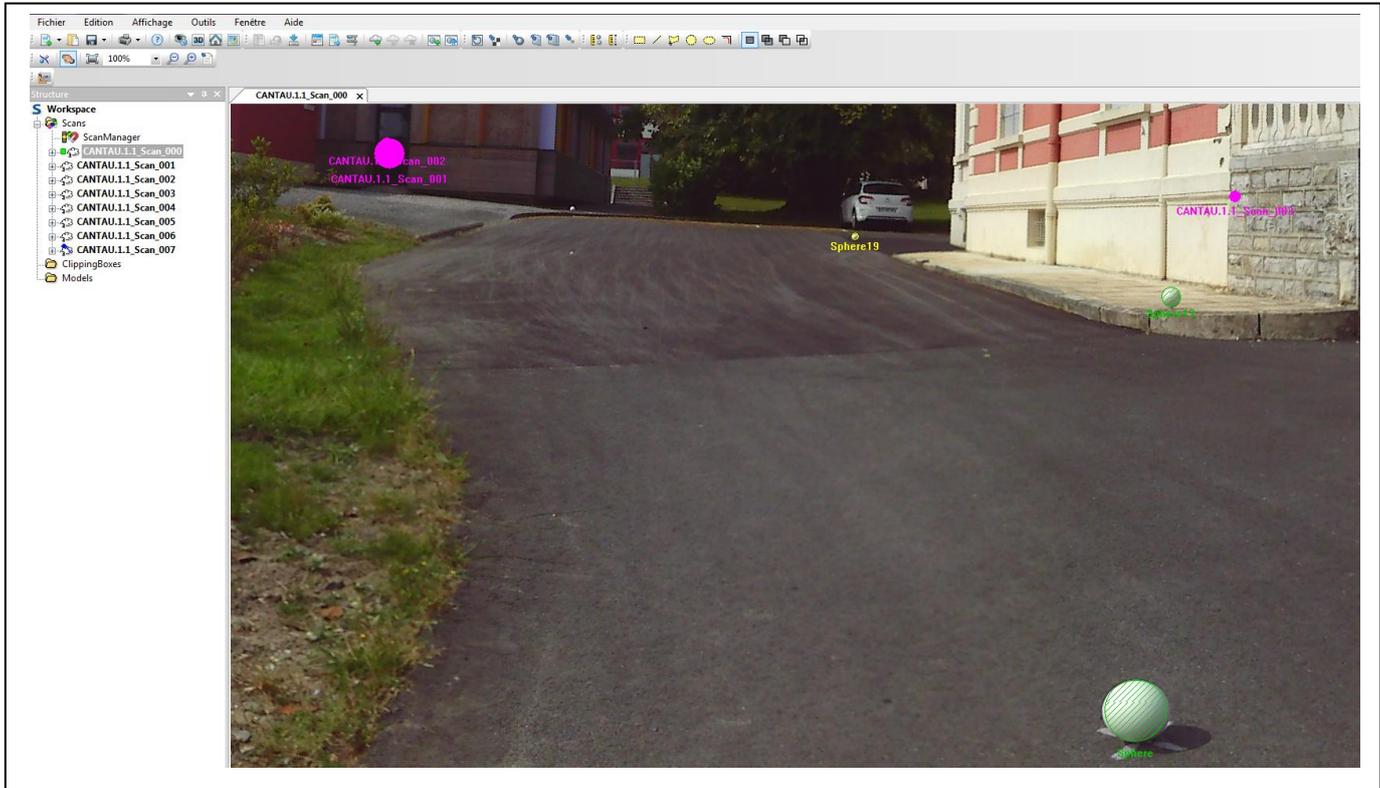
Voici le paramétrage qu'il est important de valider lors du prétraitement des scans.

Attention c'est une opération à réaliser UNE FOIS!

Explications:

- 2.3/ Vérification des données brutes des scans:

Par le biais d'un clic droit - affichage - vue planaire, SCENE affiche le scan sélectionné avec les objets de recherche qu'il a reconnus ici des sphères (damiers ou autres).



Pour cette reconnaissance soit correcte il faut vérifier au préalable les paramètres suivants.
Les sphères utilisées ont un rayon de **7.25 cm**, il sera possible de rentrer plusieurs rayons si différents types de sphères.

Quelques remarques à ce stade sur la reconnaissance automatique des sphères (damiers et autres..):

- une sphère sera reconnue si sa surface a été frappée au moins **par 60 points du scan** (cela permet de reconnaître la forme et donc de déterminer le centre de la sphère).

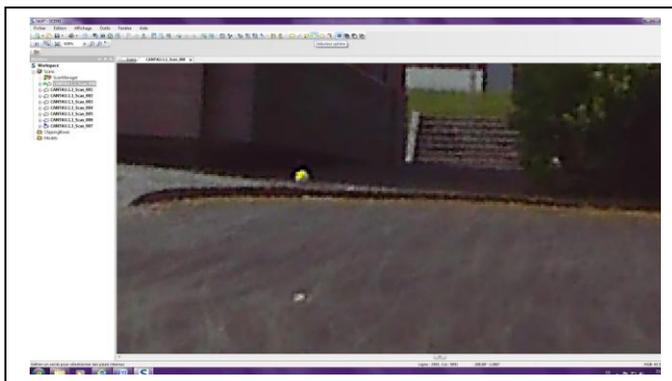
- les sphères sont identifiées dans les différents scans et numérotées par SCENE



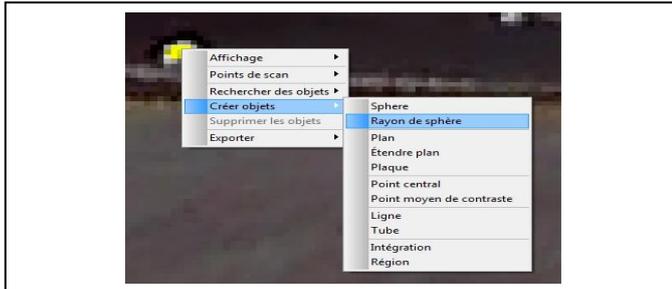
- les sphères, en fonction du nombre de points qui ont frappé la surface, sont plus ou moins bien reconnues. SCENE applique des couleurs afin de montrer la qualité de reconnaissance (VERT - JAUNE - BLEU...) et outre certaines sphères ne sont pas reconnues.



Il est possible à ce stade de relancer la reconnaissance comme suit (après avoir supprimé la sphère mal identifiée).



Dans la barre d'outils, cliquer sur sélecteur de sphère. Avec la molette encercler au mieux de la pixellisation la sphère.



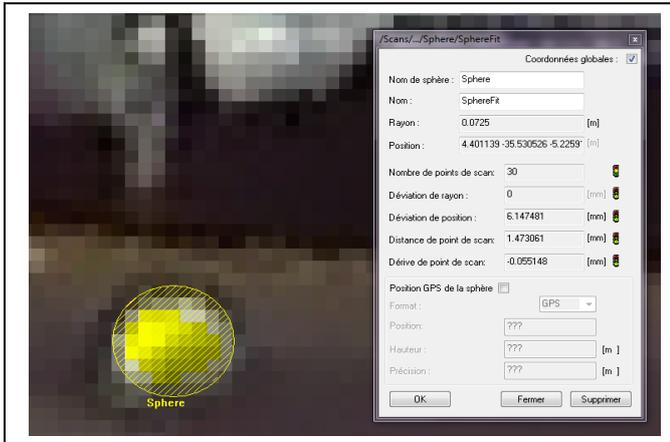
Clic droit sur la colorisation jaune qui apparait dans la sphère.

A ce stade SCENE comptabilise le nombre de points du scan qui ont balayé la sphère et détermine si il peut modéliser une sphère de rayon 7.25 cm.

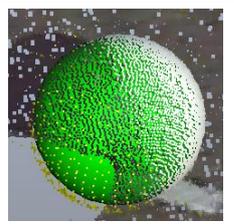
L'importance du paramétrage du scan est alors primordiale, en effet le gabarit choisi (extérieur moins de 20 m ou extérieur plus de 20 m) va engendrer ici la non reconnaissance de cette sphère.



Erreur 47: SCENE ne dispose pas d'assez de points sur la sphère pour la modéliser correctement et donc de déterminer son centre.

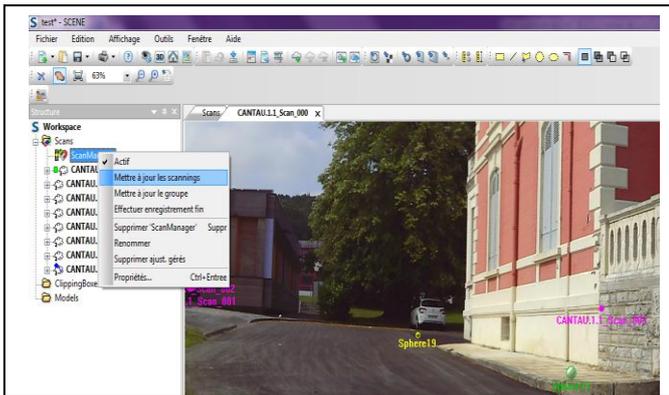


Voilà la fenêtre qui apparaît quand SCENE dispose du nombre de points suffisants pour modéliser la sphère.

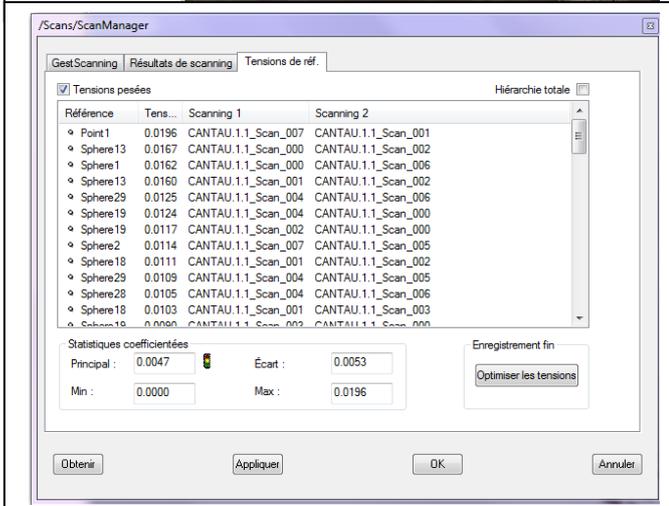


- 2.4/ Consolidation des nuages de points:

- **2.4.1 Assemblage « basé sur cibles »** à ce stade l'ensemble des scans sont vérifiés, le nombre de sphères entre scans semble être satisfaisant, même si certaines n'ont pas été reconnues du fait de la distance trop importante scan-sphère. Il est possible de lancer une première consolidation (pour voir).



Prise en compte des modifications des scans et première consolidation fondée sur les correspondances de sphères.



Une fois la mise à jour terminée, cette fenêtre résume la qualité de cette consolidation. L'ensemble des éléments de l'assemblage sont listés dans l'ordre croissant de qualité: **tension**
Les statistiques en bas de page sont importantes, pas seulement la moyenne qui peut être faussée par un problème sur une sphère ou plusieurs sphères.
Dans ce cas les résultats sont satisfaisants !

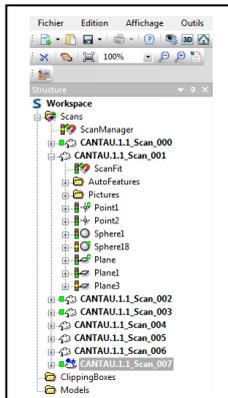
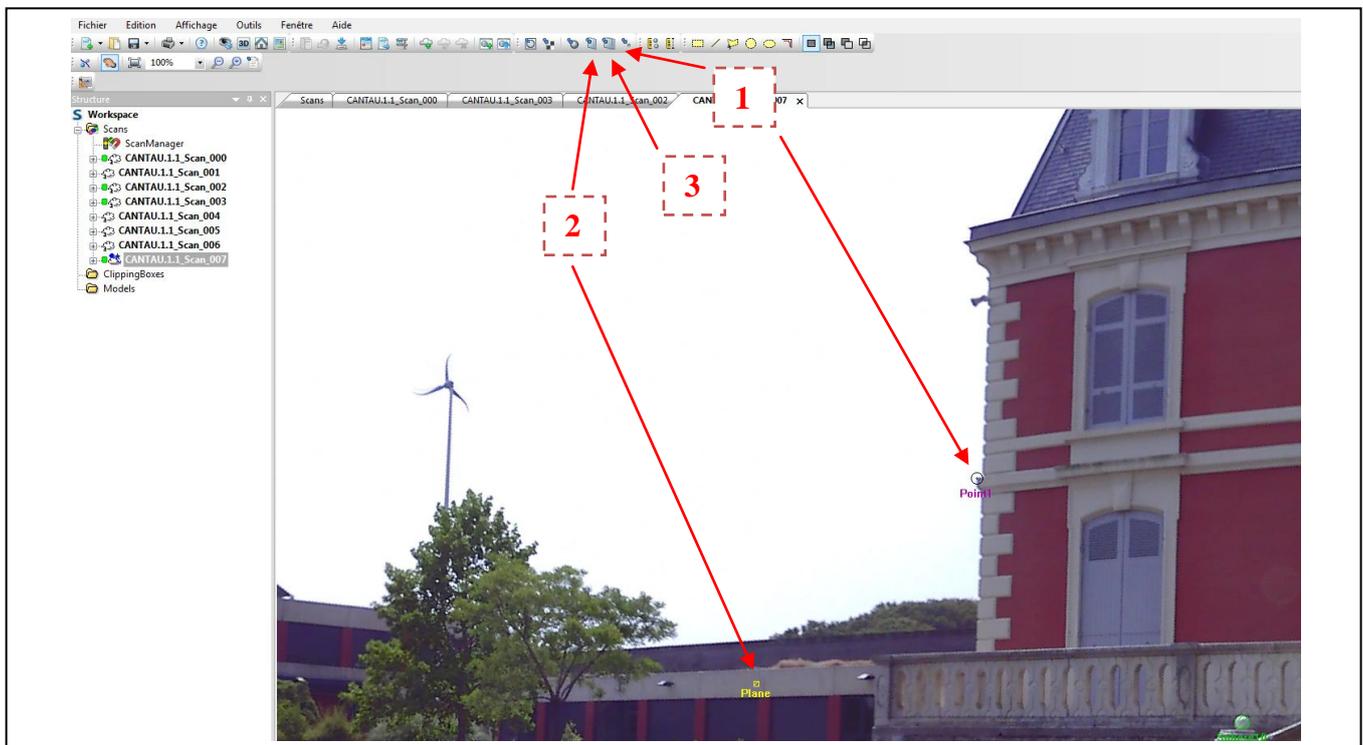
Attention : L'unité de ces tensions, pour ce type d'assemblage (cible à cible), n'est pas explicitement le mètre et doit être le mètre pondéré par FARO.....Dans le cas de l'assemblage « nuage à nuage » cette fois ci les tensions seront exprimées en mètre.

Il est évident que tous les assemblages ne se déroulent pas toujours comme cet exemple, il sera nécessaire de reprendre certains points en fonction du problème rencontré. Voici quelques exemples non exhaustifs bien évidemment.

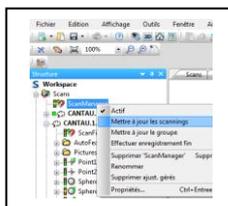
- la consolidation ne peut pas être réalisée par manque de correspondance (nombre de sphères insuffisant) ou autre.....

Il est alors possible de créer des éléments communs entre deux scans, ces derniers (les plus précis possibles) seront traités comme de nouvelles correspondances et pourront donc améliorer l'assemblage.

Ces éléments peuvent être de trois types: des **points (1)**, des **plans (2)** ou des **plaques (3)**.

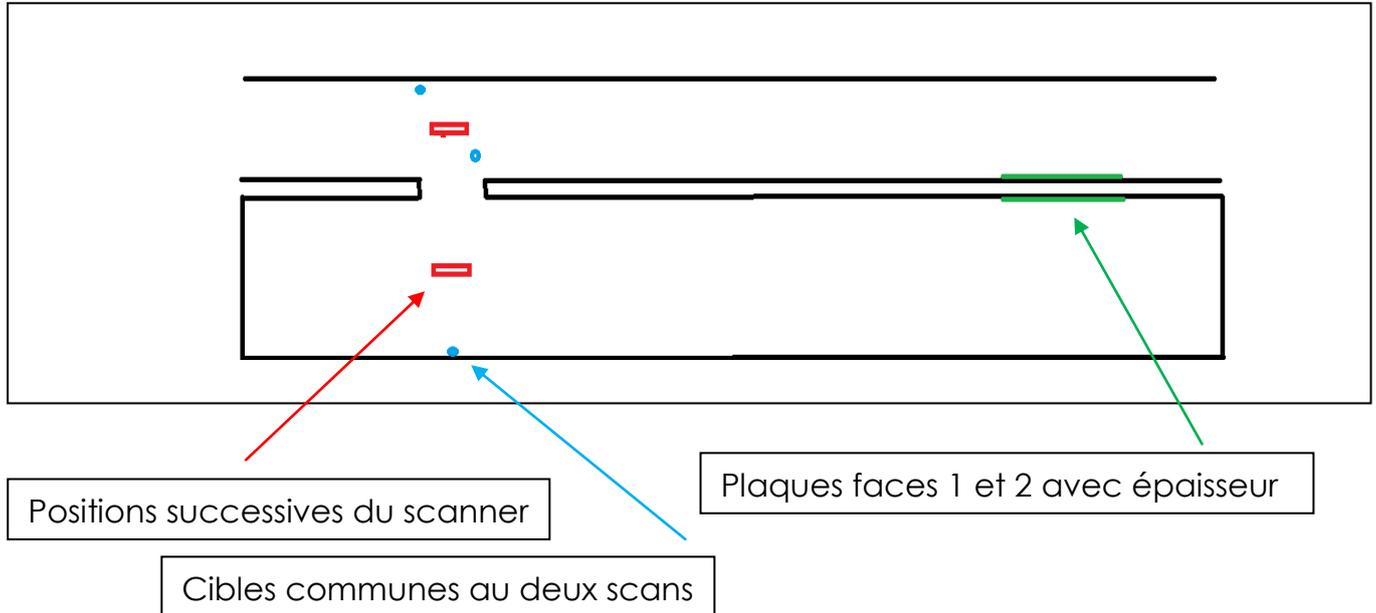


En ce qui concerne les points et les plans, la sélection doit être la plus précise possible sur des éléments clairement identifiables et ce sur les deux scans consécutifs. L'arborescence du scan-manager et des scans modifiés est à chaque fois complétée.



Il faut donc à ce stade relancer le traitement des scans avec les nouveaux éléments de correspondances, un nouveau rapport de "tensions" est édité il ne reste plus qu'à le vérifier.

En ce qui concerne les plaques, leur utilisation (proche du plan, même type de sélection mais sur deux faces) sera utile dans des cas proches de celui ci-dessous. Imaginons un levé d'intérieur.

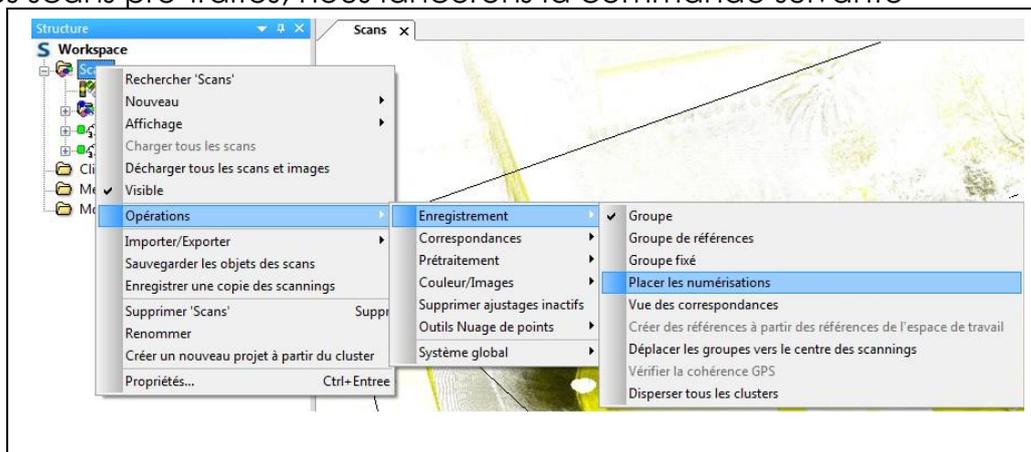


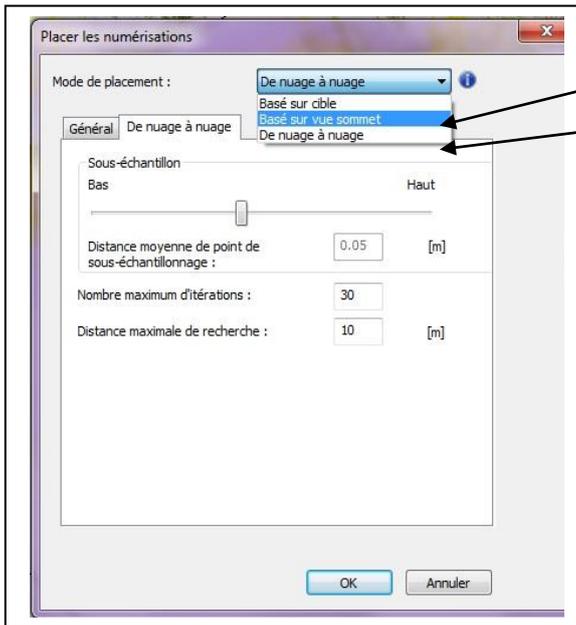
La plaque dans ce cas permettra de pouvoir assembler au mieux les scans et éviter, sur de grandes longueurs, qu'un décalage se produise.

Dans les trois cas d'éléments créés sur le nuage de points, il faudra relancer le traitement par la commande "**mise à jour des scannings**" du scan manager.

- le rapport de "tensions" donne des résultats non satisfaisants: il est possible d'utiliser la méthode ci-dessus en rajoutant des correspondances. Il est important aussi d'aller vérifier les sphères qui posent problème (les premières dans le listing de tensions). Il faut alors supprimer la ou les sphères incriminées et relancer la détection manuelle comme vu précédemment. Une fois ce travail réalisé il faudra relancer la mise à jour des scans.

-2.4.2 Assemblage « nuage à nuage »: si notre levé de terrain a été correctement réalisé, en multipliant les positions pour avoir le bon recouvrement nécessaire il sera possible d'assembler les scans par la méthode « nuage à nuage ». Une fois les scans pré-traités, nous lancerons la commande suivante





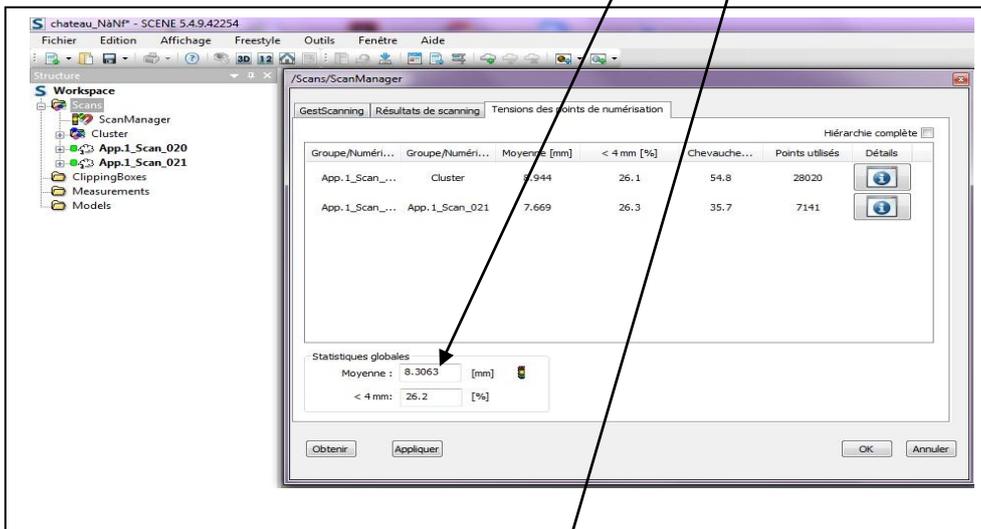
Tout d'abord il faut lancer la commande de pré-calage « **Basé sur vue sommet** ».

Ensuite il faut lancer le calage fin « **De nuage à nuage** ».

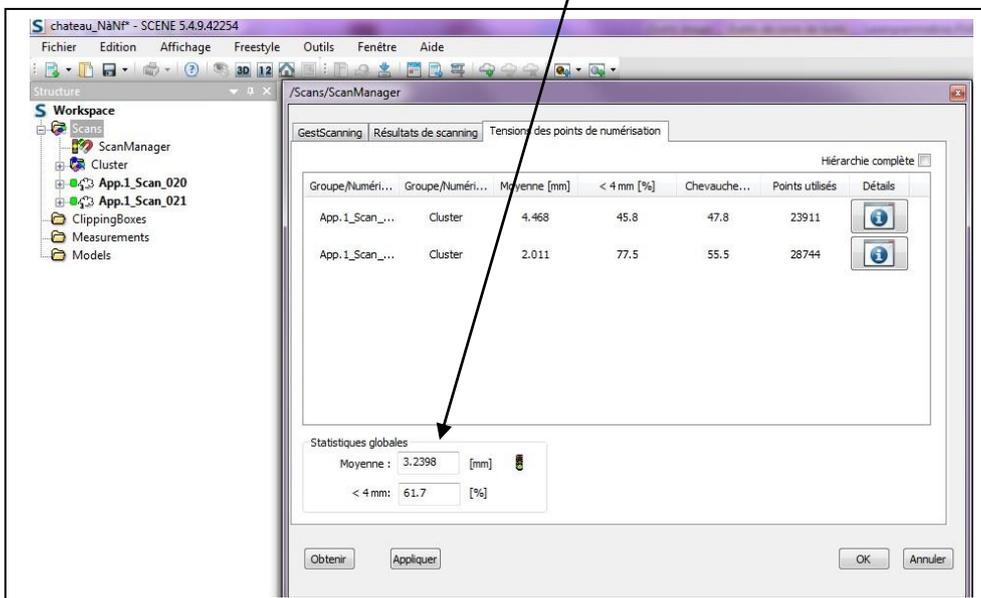
Ces deux commandes vont générer un listing de calage **avec cette fois ci des écarts moyens en mm et non des tensions** entre scans consécutifs.

La précision de calage des nuages va être croissante si tout se passe bien, dans notre cas :

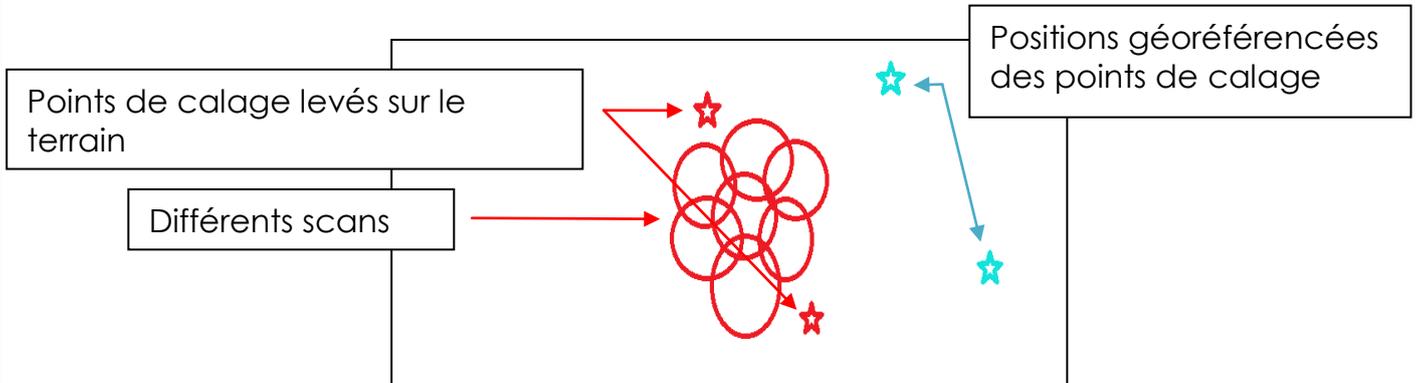
- « **Basé sur vue sommet** » : moyenne 8.3mm
- « **De nuage à nuage** » : moyenne 3.2 mm



Cette méthode fonctionne très bien si l'objet à numériser et la façon de lever sont adéquats. Néanmoins il sera possible de combiner l'ensemble des méthodes dans un but de certification de notre levé.



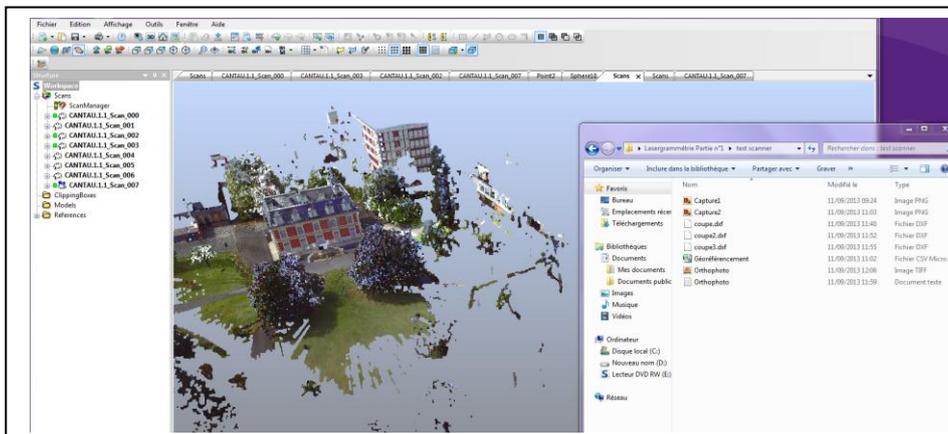
- 2.5/ Géoréférencement du nuage de points: en fait il existe différentes façons de réaliser cette phase, voici les deux prépondérantes. Il s'agira d'utiliser la manière adéquate en fonction de la qualité et la précision des points d'appuis du levé.



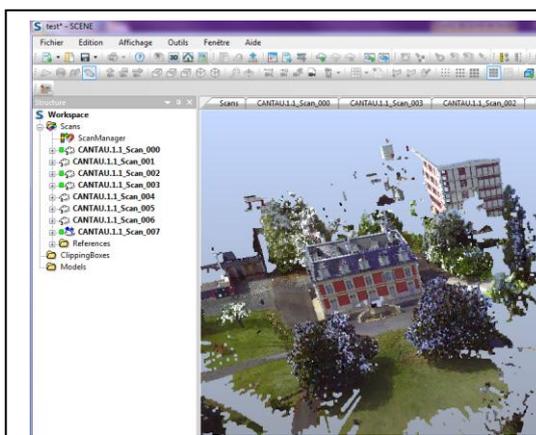
Le rapport de "tensions" éclaire sur la précision interne de la consolidation des différents scans réalisés.

De deux choses l'une, soit on considère que la **précision** du géoréférencement réalisé est **meilleure** et il faut le **prendre en compte dans la consolidation** elle même, soit la **précision** est **inférieure** et il ne faudra pas **dégrader la consolidation** mais l'adapter au mieux à la position des deux points (translation-rotation).

Pour ce faire il faut créer un **fichier .csv** des coordonnées des points de calage géoréférencés et l'importer dans l'étude. Cependant cette importation se fera de deux façons différentes en fonction de l'étude de qualité:



Le fichier .csv est glissé dans l'arborescence Worspace quand la qualité risque de dégrader la consolidation des scans.



Le fichier .csv est glissé dans l'arborescence Scans lorsque la qualité du géoréférencement est meilleure. Dans ce cas lorsqu'on relance la mise à jour des scans la position des points géoréférencés sera prépondérante dans le traitement numérique. Il est intéressant tout de même de vérifier les tensions finales après introduction du fichier.csv et les comparer avec celles de la consolidation seule.



Dans notre cas les sphères :Sphere, Sphere2 et Sphere 24 ont été positionnées sur trois spits topographiques dont les coordonnées sont connues en **Lambert 93 CC43** et **NGF IGN 69**.

Point 18 (Sphere24),	1335138.155,2262513.85,39.519	(39.6015)
Point 19 (Sphere2),	1335146.501,2262540.22,38.581	(38.6635)
Point 20 (Sphere),	1335177.152,2262532.458,38.592	(38.6745)

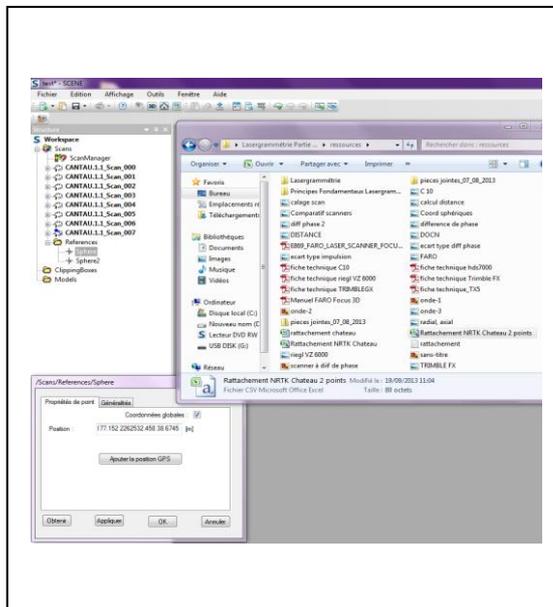
Rq: il faut pondérer les altitudes de **0.0725+0.01 m** pour prendre en compte la sphère et son support.

Les coordonnées de ces points sont issues de moyennes réalisées suite à une multi détermination GPS NRTK (15 secondes / point - 8 déterminations à des périodes différentes de la journée - écart-type moyen 2 cm).

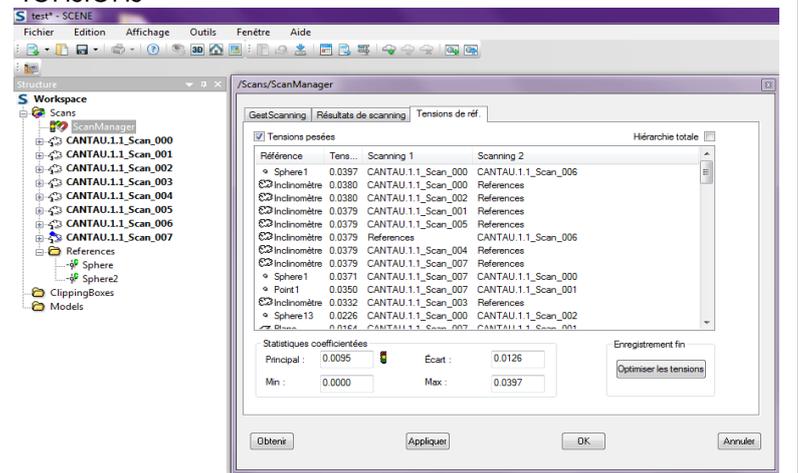
Nous considérerons que la précision du levé scanner est meilleure que celle du levé GPS, compte tenu de la méthode employée. Utilisons les deux méthodes de géoréférencement et analysons les résultats de "tensions".

Nous disposons de trois points d'appuis, il va être intéressant d'utiliser deux de ces points (Sphere et Sphere2) pour le géoréférencement et le troisième (Sphere24) comme point de contrôle.

-2.51/ Géoréférencement interne:



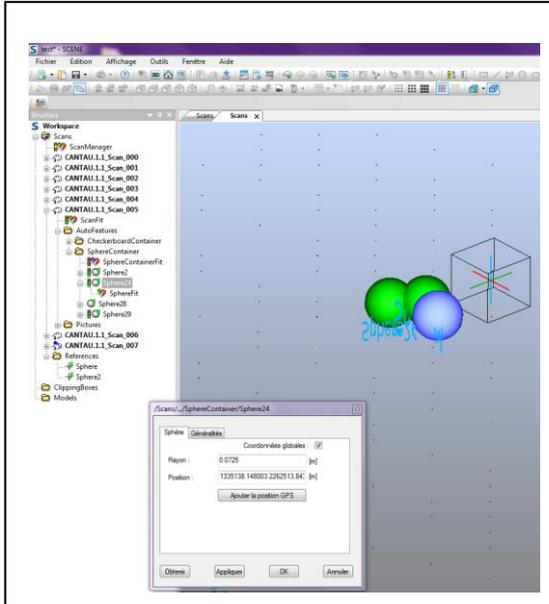
Il faut lancer la commande ScanManager-Mise à jour des scannings. Voici le tableau des "tensions"



Le tableau des "tensions" montre dans ce cas que le géoréférencement a dégradé la consolidation (les valeurs sont plus importantes): cela semble normal compte tenu de la précision GPS moins "bonne" que celle du levé scanner 3D.



Qu'en est il du point de contrôle Sphere24?



Scene a réalisé la consolidation en considérant le géoréférencement prépondérant. Il place donc les sphères au mieux en fonction de chaque scan consécutif.

Lci il y a donc trois sphères et voici les coordonnées de l'une d'entre elles:

1335138.148003, 2262513.843054, 39.607667

Les résidus sont:

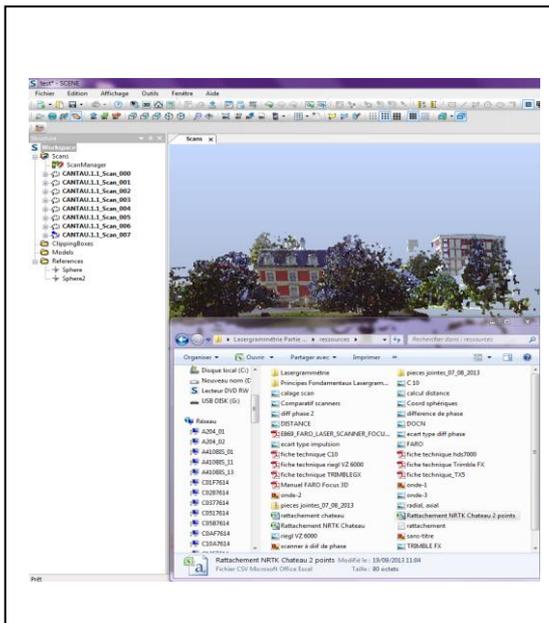
ΔE (m):0.007

ΔN (m):0.007

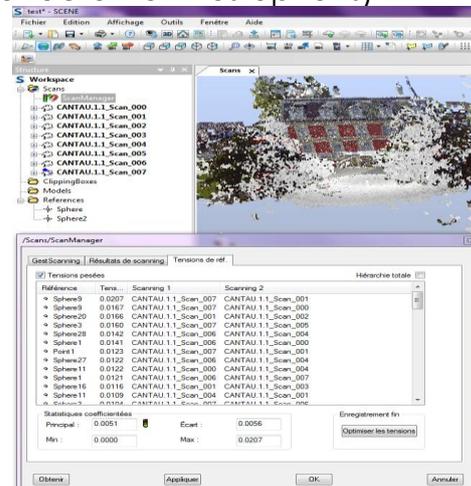
ΔZ (m):0.007

Ces résidus peuvent être considérés comme corrects, néanmoins la consolidation avec ce géoréférencement interne semble dégradée par rapport à la consolidation seule.

-2.52/ Géoréférencement externe:



il faut relancer le calcul-Scans-clic droit opérations- prétraitement (il faut à ce stade remplir correctement les options)



Dans ce cas il semble que le géoréférencement dégrade moins la consolidation, le rapport des tensions est le même que celui de la consolidation seule.

Et notre Sphere24?

Scene a réalisé la consolidation en considérant le géoréférencement secondaire par rapport à la consolidation elle même. Il place donc les scans consolidés au plus proche des points d'appuis. Voici les résidus sur la sphère de contrôle

ΔE (m):0.017

ΔN (m):0.012

ΔZ (m):0.007

A ce stade il est nécessaire, en fonction du cahier des charges du maître d'ouvrage, de vérifier la correspondance des résidus avec les tolérances fixées.



-2.6/ Certification du nuage de points consolidé : désormais il faudra veiller à mettre en place une méthode externe qui va nous permettre de calibrer notre résultat. Classiquement, lors de l'acquisition, nous complétons le levé scanner par un levé optique sur des damiers placés sur la périphérie de l'objet à numériser (échantillon). Ces points seront alors déterminés par l'assemblage du nuage de points et par le levé optique, nous n'aurons plus qu'à effectuer une comparaison des coordonnées et un écart moyen que nous analyserons.

Cette phase est essentielle pour notre approche de ces technologies car au final nous certifierons le nuage de points grâce à cet échantillon (ou pas).

BILAN ET REMARQUES

Cette application permet d'aborder un levé scan 3D de la saisie des données à consolidation finale géoréférencée du nuage de points.

Néanmoins ce projet complet reste simple quant au **nombre de scans à traiter**. L'expérience fait que des projets de levé intérieur et extérieur de bâtiment d'ampleur peuvent engendrer la gestion de centaines de scans, le principe restera le même mais il **faudra veiller à classifier** (cluster) ces scans par étages (altimètre), pièces et autres afin de naviguer au mieux dans cette multitude d'informations.

Les dernières versions de SCENE facilitent la consolidation par la méthode « nuage à nuage », il faut néanmoins maîtriser celle (un peu plus contraignante) du « cible à cible » car elle sera toujours nécessaire surtout en extérieur. Si l'ergonomie du logiciel change l'esprit restera le même.

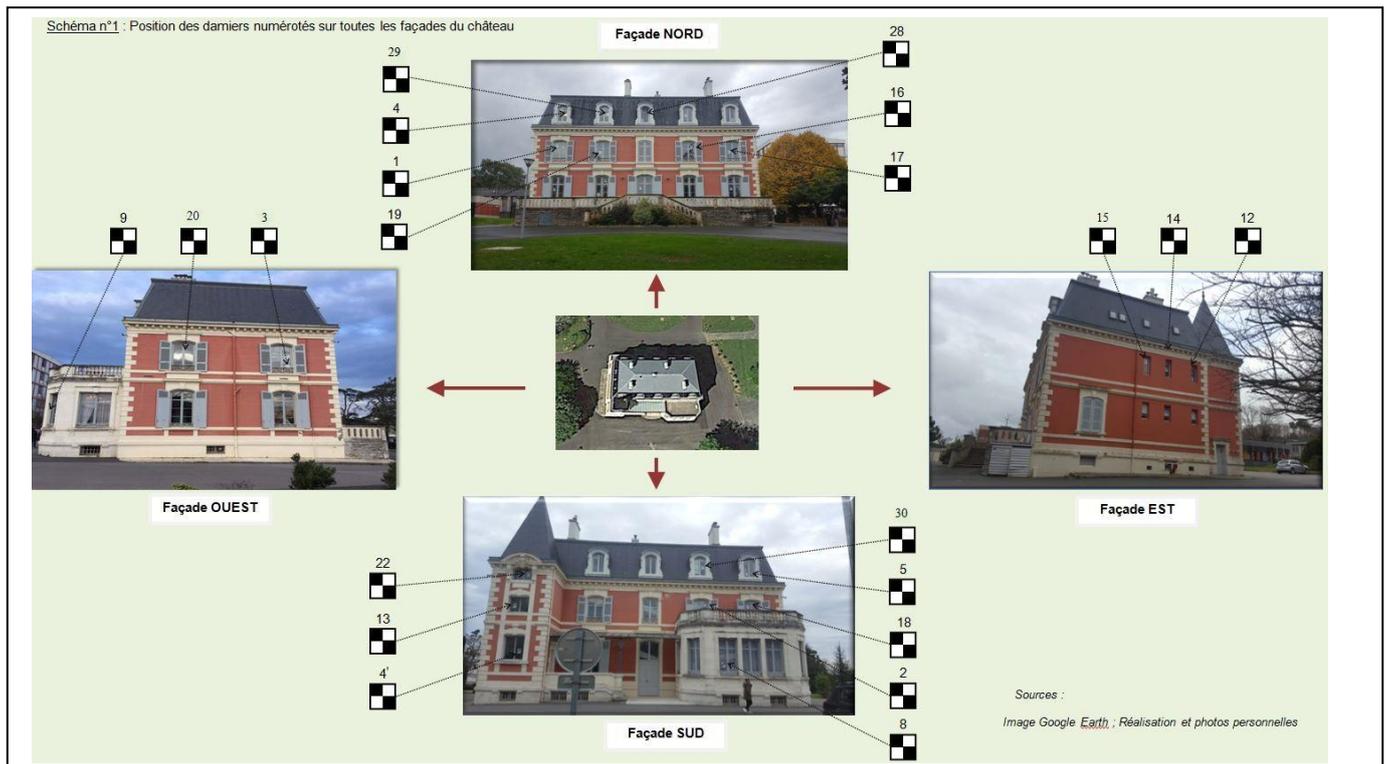
C/ VOTRE ETUDE DE CAS

Nous vous proposons désormais de réaliser **votre** traitement et **votre** assemblage grâce au levé suivant au FARO focus 3D 120.

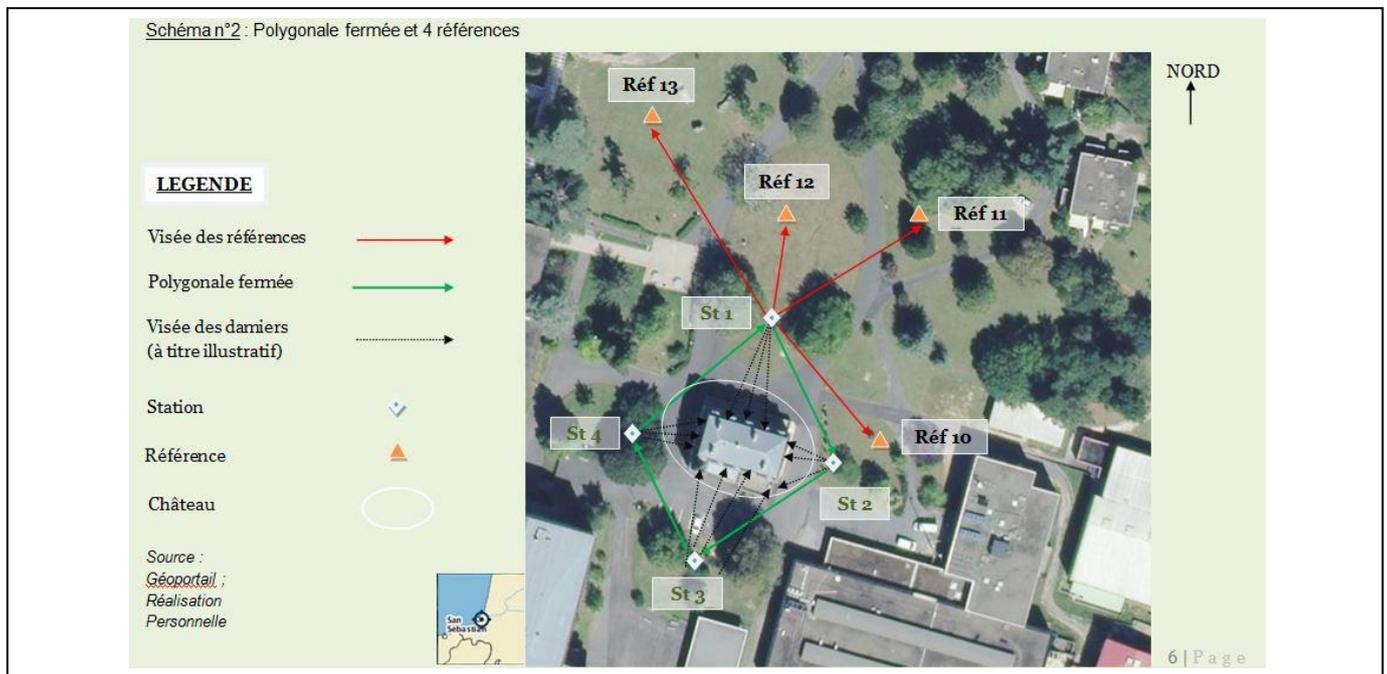
Nous avons mis en place sur notre célèbre château un échantillon de damiers sur les quatre façades qui nous serviront d'éléments de comparaison et de géoréférencement.

1/Présentation de la méthodologie de détermination des damiers:

1.1/Echantillon de damiers :



1.2/ Méthodologie de levé de l'échantillon :





Cet échantillon a été levé avec la méthode suivante :

- Orientation avec **Vo moyen sur 4 points anciens contrôlés.**
- **Polygonale fermée (double retournement)** avec méthode des trois trépieds
- Visée sur damiers en **double double retournement**

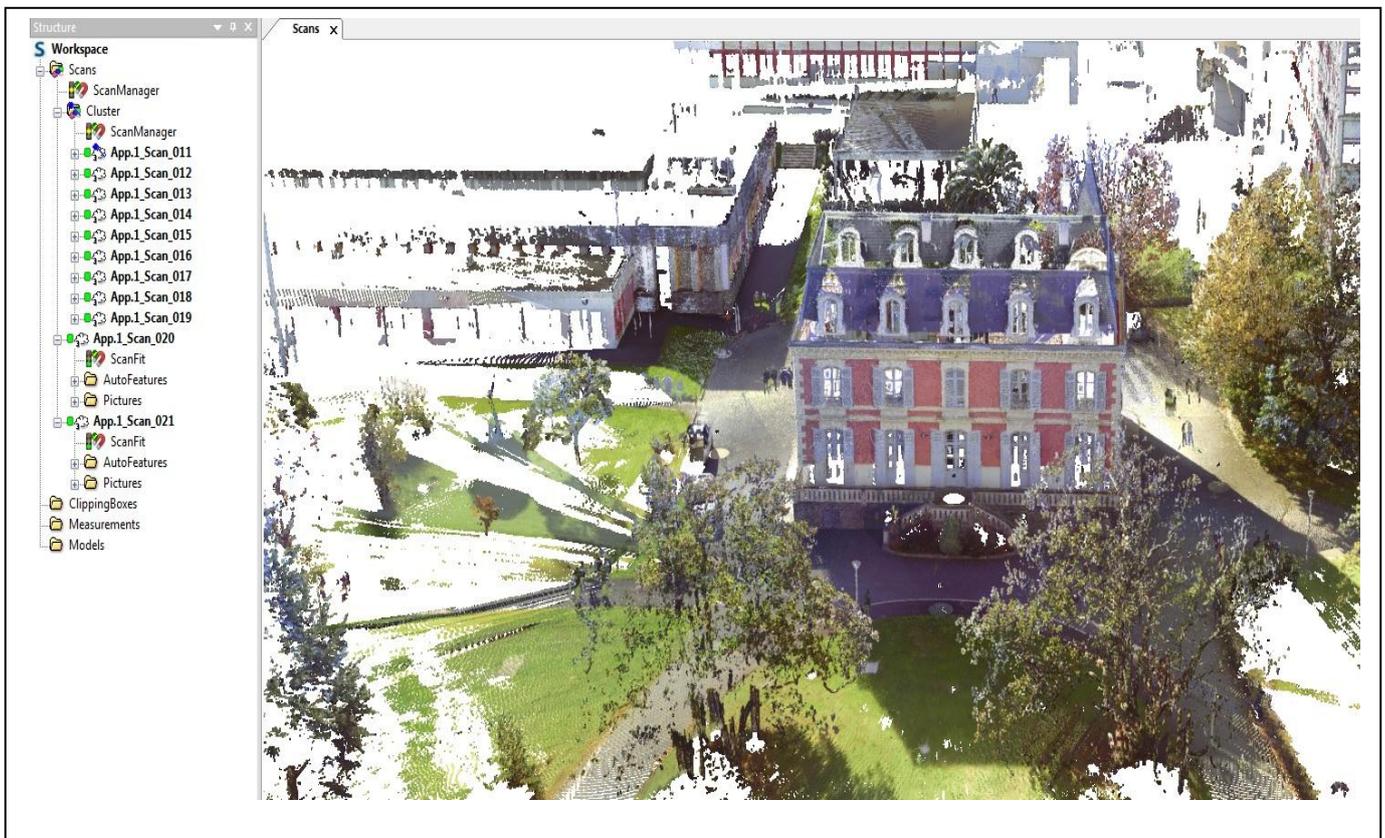
Rq : fermeture de la polygonale

Type de fermeture	Fermeture
Planimétrique (m)	0.0046
Angulaire (Gr)	0.0082
Altimétrique (m)	0.0024

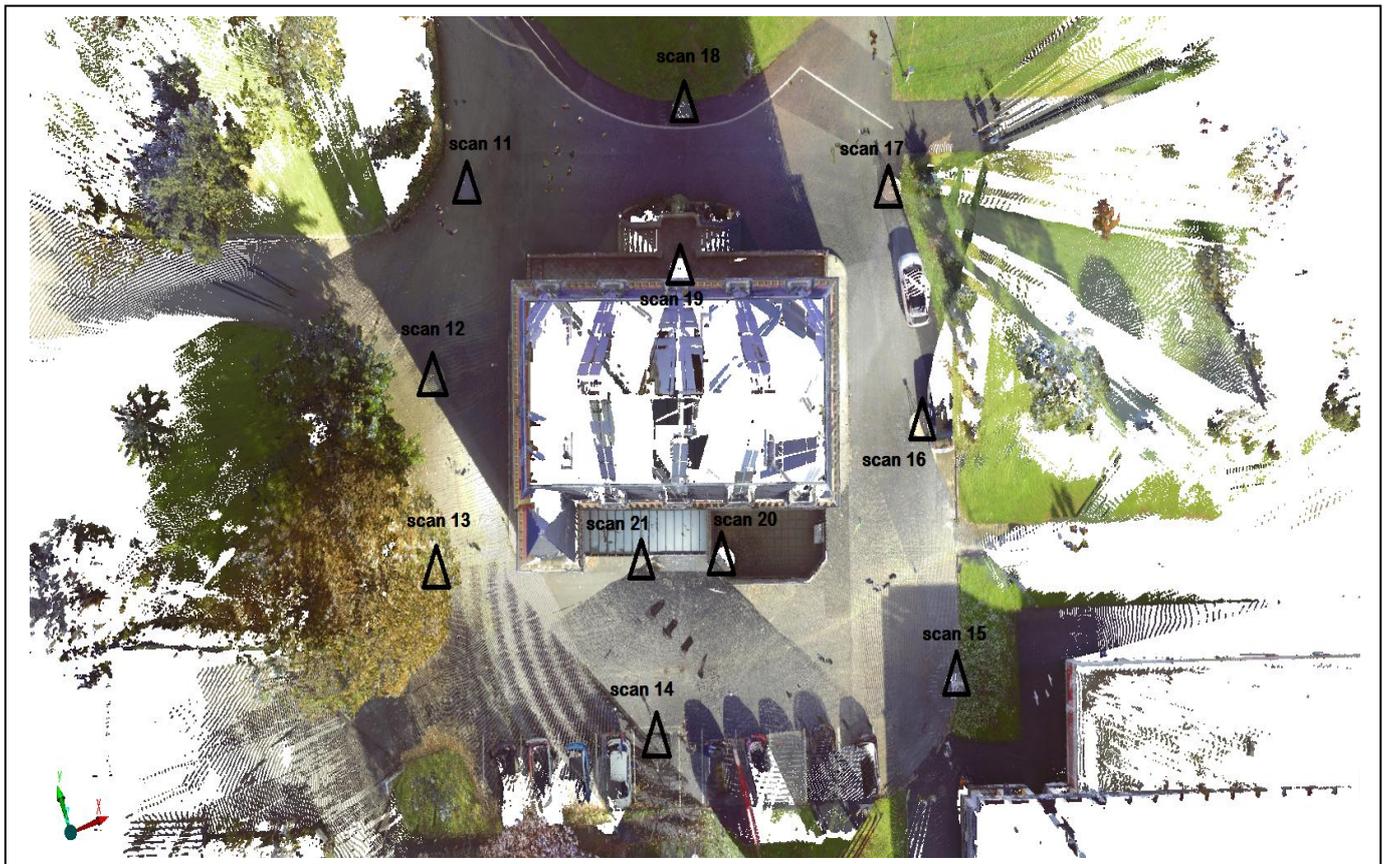
Vous trouverez en fichier joint les coordonnées des différents damiers.

2/ Présentation du levé scanner 3D (uniquement dans un premier temps l'extérieur) :

Après le pré-traitement des scans, vous devrez ouvrir chaque scan pour visualiser la zone observée et vérifier la détection des sphères et damiers.



Je vous conseille de respecter l'arborescence utilisée ci-dessus et la chronologie suivante



2.1/ Assemblage « basé sur cibles » pour les scans 011 à 019 :



2.2/ Assemblage « Basé sur vue sommet » et « De nuage à nuage » pour assembler le bloc 011-019 avec les scans 020 et 021.

Cet assemblage devra vous donner comme dans l'exemple traité en introduction des résultats de consolidation très correct.

Rq : vous pourrez tenter un assemblage total de tous les scans par la méthode vue en 2.2, avec un résultat très intéressant.



3/ Géoréférencement et certification de l'assemblage.

Compte tenu de la précision de l'échantillon de damiers, je vous propose de tenter différents types géoréférencements :

- direct,
- indirect ,
- avec la totalité de l'échantillon ou une partie avec les points restants

comme contrôle,

- en utilisant certains damiers du début et pas les autres :....danger de dérive du modèle...

Bref un joli terrain de jeu qui vous permettra de d'améliorer vos pratiques afin de pouvoir certifier vos nuages de points.

4/ Création de livrables :

A ce stade vous pourrez créer des livrables comme les orthophotos, exports de tanches (Clippingbox) pour dessin de vues en plan et coupes, export e57 pour REVIT et AutoCAD. L'aide vous aidera bien et cela est assez simple.

En outre cette étude comparative a été réalisée avec différents scanners lasers (Leica P30 et C10) et Trimble TX8, il est possible de réaliser l'assemblage avec d'autres logiciels type Cyclone ou Trimble Real Works vous constaterez les avantages de tous.

Si vous voulez échanger sur ces supports, n'hésitez pas.....

christophe.bagieu@wanadoo.fr